



LAPORAN MAGANG INDUSTRI – VM 191667

ANALISIS UNJUK KERJA AIR PREHEATER SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL DI PLTU PAITON UNIT 8

PT. PAITON OPERATION & MAINTENANCE

Jl. Raya Surabaya – Situbondo KM 141 Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. 67291

Penulis:

Dhewana Alnafis Han

NRP : 10211910010008

Dosen Pembimbing:

Giri Nugroho, ST., M.Sc

NIP. 19791029 201212 1 002

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022**



**LAPORAN
MAGANG**

PT. PAITON OPERATION & MAINTENANCE

Jl. Raya Surabaya – Situbondo KM 141 Paiton, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur.
67291

Penulis:

Dhewana Alnafis Han

NRP : 10211910010008

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022**



LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN PRAKTEK KERJA INDUSTRI PT. PAITON OPERATION & MAINTENANCE INDONESIA

ANALISIS UNJUK KERJA AIR PREHEATER SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL DI PLTU PAITON UNIT 8

Periode
4 April 2022 – 5 Mei 2022

Oleh :
Dhewana Alnafis Han

NRP :
10211910010008

**Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.**

Menyetujui,
Pembimbing Lapangan, Departemen
Production

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Hamam Suhaily".

Hamam Suhaily

Mengetahui,
FCS Manager

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ferry Nugraha". To the right of the signature is the POMI logo.

Ferry Nugraha



LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Magang di

PT. PAITON OPERATION & MAINTENANCE

**Jl. Raya Surabaya – Situbondo KM 141 Paiton, Kabupaten Probolinggo,
Jawa Timur. 67291**

Surabaya, 19 Mei 2022

Peserta Magang

Peserta


Dhewana Alnafis Han
NRP. 10211910010008



Menyetujui,
Pembimbing Akademik

Giri Nugroho, ST., M.Sc
NIP. 19791029 201212 1 002

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat , rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan magang yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Air Preheater Sebelum dan Sesudah Overhoul di PLTU Paiton Unit 8 PT POMI”.

Laporan magang ini, disusun berdasarkan hasil Magang yang telah penulis laksanakan pada PT. Paiton Operation & Maintenance mulai tanggal 5 April 2022 hingga 5 Mei 2022.. Pada dasarnya, magang merupakan salah satu mata kuliah wajib di program studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. mata kuliah Magang Industri bertujuan untuk mengenalkan dunia kerja kepada mahasiswa, serta mengetahui aplikasi dari ilmu yang telah diperoleh selama di bangku kuliah.

Pada kesempatan ini, penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama masa pelaksanaan kerja praktik maupun dalam penyusunan laporan. Untuk itu, melalui pengantar ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Giri Nugroho, ST., M.Sc.. selaku Dosen pembimbing yang memberikan bimbingan kepada penulis dalam pembuatan laporan ini.
2. Bapak Hamam Suhaily selaku pembimbing lapangan dan Performance Engineer yang telah banyak membantu dalam membimbing mahasiswa dalam pelaksanaan magang industri di Divisi Production PT. POMI.
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri
4. Seluruh karyawan PT. POMI khususnya tim karyawan Divisi Production PT.POMI yang telah banyak memberi pengalaman, ilmu dan masukkan untuk penulis.
5. Orang tua dan keluarga, yang selalu memberikan doa serta dukungan.
6. Pihak-pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu namun dengan tidak mengurangi rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna. Karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun guna memperbaiki isi laporan ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membaca laporan

ini. Akhir kata penulis mohon maaf apabila dalam penulisan terdapat kata-kata yang kurang tepat, penulis berharap Laporan Magang Industri ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca.

Surabaya, 20 Mei 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	1
1.3 Manfaat	2
BAB II PROFIL PERUSAHAAN	3
2.1 Gambaran Umum PT POMI	3
2.2 Pemegang Saham PT. POMI	5
2.3 Struktur Organisasi PT. POMI	6
2.4 Personalia Perusahaan	7
2.5 Visi, Misi, dan Company Values	7
2.5.1 Visi	7
2.5.2 Misi	7
2.5.3 Company Values	7
BAB III PELAKSANAAN MAGANG	9
3.1 Pelaksanaan dan Ketentuan Magang Industri	9
3.1.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	9
3.1.2 Ketentuan Pelaksanaan Magang Industri	9
3.2 Jadwal dan Kegiatan Magang	9
3.3 Metodologi Penyelesaian Tugas Khusus	11
3.3.1 Survei Lapangan	11

3.3.2 Studi Literatur	11
3.3.3 Pengambilan Data	11
3.3.4 Pengolahan Data	11
3.3.5 Melakukan Analisis Terkait Unjuk Kerja Air Preheater.....	12
BAB IV HASIL MAGANG	13
4.1 Tinjauan Pustaka.....	13
4.1.1 Komponen Utama PLTU	16
4.1.2 Komponen Alat Bantu PLTU	17
4.1.3 Sirkulasi Udara dan Gas Buang	19
4.1.4 Air & Gas System pada PLTU Paiton Unit 8	20
4.1.5 Peralatan pada Sistem Pembakaran Udara dan Gas Buang	20
4.2 Perpindahan Panas	21
4.2.1 Konduksi	21
4.2.2 Konveksi	22
4.2.3 Radiasi.....	22
4.3 Air Preheater	22
4.3.1 Jenis-Jenis Air Preheater.....	23
4.3.2 Prinsip Kerja Air Preheater.....	24
4.3.3 Komponen Air Preheater	25
4.3.4 Perhitungan Kinerja pada Air Preheater	27
4.4 Pengumpulan Data	33
4.4.1 Data Sebelum Overhaul	33
4.4.2 Data Setelah Overhaul	35
4.4.3 Data Desain Air Preheater	37
4.5 Perhitungan Unjuk Kerja Air Preheater Sebelum Overhaul	37
4.5.1 Perhitungan Efektivitas Primary Air Preheater.....	37
4.5.2 Perhitungan X-Ratio Primary Air Preheater	40

4.6 Perhitungan Unjuk Kerja Air Preheater Setelah Overhaul	41
4.6.1 Perhitungan Efektivitas Primary Air Preheater.....	41
4.6.2 Perhitungan X-Ratio Primary Air Preheater	43
4.7 Hasil Perhitungan.....	44
4.7.1 Hasil Perhitungan Kinerja Air Preheater Sebelum Overhaul	44
4.7.2 Hasil Perhitungan Kinerja Air Preheater Setelah Overhaul.....	46
4.8 Analisis Data.....	48
4.8.1 Efektivitas Air Preheater Sebelum dan Sesudah Overhaul.....	48
4.8.2 X-Ratio Air Preheater Sebelum dan Sesudah Overhaul	49
4.8.3 Hubungan Antara Air Leakage dan Efektivitas Air Preheater.....	51
BAB V PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1 Siklus PLTU	13
Gambar 4. 2 Diagram Siklus Pada Komponen Utama	14
Gambar 4. 3 Siklus Rankine Ideal	14
Gambar 4. 4 Layout Khusus Siklus Rankine.....	16
Gambar 4. 5 Air & Gas System PLTU Paiton Unit 8.....	20
Gambar 4. 6 Tubular Air Preheater	23
Gambar 4. 7 Rotating Plate Regenerative Air Preheater	24
Gambar 4. 8 Komponen Air Preheater	27
Gambar 4. 9 Ilustrasi Kebocoran.....	32

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Primary APH Sebelum Overhaul.....	34
Tabel 4. 2 Data Secondary APH A Sebelum Overhaul.....	34
Tabel 4. 3 Data Secondary APH B Sebelum Overhaul	35
Tabel 4. 4 Data Primary APH Sesudah Overhaul	35
Tabel 4. 5 Data Secondary APH A Sesudah Overhaul	36
Tabel 4. 6 Data Secondary APH B Sesudah Overhaul.....	36
Tabel 4. 7 Data Desain Air Preheater	37
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Primary APH Sebelum Overhaul	44
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Secondary APH A Sebelum Overhaul.....	45
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Secondary APH B Sebelum Overhaul	45
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Primary APH Setelah Overhaul.....	46
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Secondary APH A Setelah Overhaul.....	47
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Secondary APH B Setelah Overhaul	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Magang merupakan suatu keharusan bagi setiap mahasiswa Fakultas Vokasi Program Diploma IV Institut Teknologi Sepuluh Nopember dalam mencapai gelar Sarjana Terapan. Kegiatan magang dilaksanakan karena dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa sebab kegiatan magang merupakan pengaplikasian ilmu yang telah diperoleh selama di bangku perkuliahan dan bagaimana penerapannya di dunia kerja.

Melalui kegiatan magang ini diharapkan adanya suatu kecocokan materi yang telah dipelajari mahasiswa di bangku kuliah dengan pelaksanaan kegiatan sesungguhnya di dunia kerja. Di sisi lain akan diperlukan suatu kerjasama antara dunia kerja khususnya dalam jasa perbankan dengan lembaga pendidikan dalam meningkatkan kualitas sumber daya manusia.

Magang bertujuan untuk melatih mahasiswa agar terbiasa dengan lingkungan kerja, sehingga dari Magang tersebut mahasiswa dilatih cara kerja yang baik dan benar. Sebelum mahasiswa memasuki dunia kerja, mahasiswa bisa memahami betapa sulitnya bekerja dan perlu banyak latihan sebelum memasuki dunia kerja dan disiplin merupakan salah satu kunci keberhasilan bagi mahasiswa.

Alasan penulis memilih Magang di PT. Paiton Operation & Maintenance adalah untuk menambah ilmu dan pengalaman bekerja di perusahaan yang memiliki kesamaan bidang kejuruan dengan penulis yaitu Teknik Mesin. Memiliki pengalaman magang di perusahaan besar seperti PT. Paiton Operation & Maintenance adalah suatu kebanggaan, karena tidak semua mahasiswa yang melaksanakan magang berkesempatan untuk merasakan magang di perusahaan besar.

1.2 Tujuan

Maksud dan tujuan Magang adalah untuk meningkatkan kualitas mahasiswa untuk bisa terampil dan mempunyai pengalaman dalam dunia kerja, terlebih untuk menumbuhkan karakter kerja yang tinggi dan sifat dewasa agar lebih profesional. Adapun tujuan yang ingin dicapai dari kegiatan magang ini:

1. Memberikan pengalaman Magang Industri dan penyelesaian masalah pekerjaan yang timbul di lapangan sekaligus mengukur implementasi keilmuan dan keterampilan di dunia kerja

2. Meningkatkan wawasan dan pengetahuan baik dalam hardskill (kemampuan teknis) maupun softskill (kemampuan beradaptasi, bekerja sama dalam tim, dan berkomunikasi dengan orang lain dalam lingkungan kerja).
3. Membandingkan dan mengaplikasikan teori yang telah didapat di bangku perkuliahan dengan penerapannya di dunia kerja, serta hubungannya dengan teknologi yang sedang berkembang.
4. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Magang Industri pada Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

1.3 Manfaat

Adapun manfaat yang akan di dapat oleh Mahasiswa yang melaksanakan Magang adalah sebagai berikut:

1. Mahasiswa terbiasa mempunyai sikap disiplin, tanggung jawab dan kreatif terhadap apa yang dikerjakan.
2. Mahasiswa mampu mempunyai alternatif pemecahan masalah sesuai dengan program studi yang dipilihnya secara luas mendalam.
3. Meningkatkan dan memahami manfaat pengembangan pelajaran yang didapat dari kampus serta menerapkan dalam dunia kerja sebagai perbandingan teori dan aplikasinya.

BAB II

PROFIL PERUSAHAAN

2.1 Gambaran Umum PT POMI

Kebutuhan energi listrik adalah hal yang paling vital dalam seluruh aktivitas kehidupan manusia guna meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran hidup. Untuk menghasilkan energi listrik harus melalui suatu proses yang panjang dan rumit. Energi listrik sangat mempermudah dalam pemenuhan kebutuhan manusia, mengingat sifat dari energi listrik yang mudah disalurkan dan dikonversikan ke dalam bentuk energi yang lain, seperti energi cahaya, energi mekanik, energi kalor, dan sebagainya.

Perkembangan penduduk yang semakin pesat, mengakibatkan peningkatan konsumsi teknologi serta dunia usaha, sehingga kebutuhan akan energi listrik terus meningkat. Kebutuhan ini bahkan belum mampu dipenuhi secara optimal oleh PLN, oleh karena itu sejak diberlakukannya UU No. 15 Tahun 1985, PP No. 10 Tahun 1989 dan Keputusan Presiden Nomor 37 Tahun 1992 memberikan ijin kepada pihak swasta untuk ikut berpartisipasi dalam usaha ketenagalistrikan di bidang Pembangkit Transmisi dan Distribusi.

Sesuai dengan PERPRES 71/Thn 2006, pemerintah telah menugaskan kepada PT. PLN untuk melakukan Percepatan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik yang menggunakan bahan bakar Batubara. Pembangunan PLTU Batubara dibagi 2 tahap yaitu Tahap I kapasitas sekitar 10,000 MW untuk menggantikan PLTU berbahan bakar minyak dan 10,000 MW tahap II untuk menjaga sebagian besar permintaan beban khususnya di Pulau Jawa Madura Bali yang akan dibangun baik oleh PT. PLN maupun Swasta.

Salah satu perusahaan listrik swasta adalah PT. Paiton Energy. PT. Paiton Energy adalah Perusahaan Pembangkit Swasta (Independent Power Producer) pertama di Indonesia. PT. Paiton Energy didirikan pada tahun 1994. Dalam mengoperasikan dan memelihara PLTU Paiton Unit 7 dan 8. PT. Paiton Energy mengikat kerjasama dengan PT. Edison Mission Operation and Maintenance Indonesia yang mengoperasikan dan memelihara PLTU Paiton Unit 7 dan 8. Namun sejak Desember 2004, PT. Edison Mission Operation and Maintenance Indonesia (PT. EMOMI) digantikan oleh PT. International Power Mitsui Operation and Maintenance Indonesia (PT. IPMOMI). Dan pada akhir tahun 2016, PT. International Power Mitsui Operation and Maintenance Indonesia (PT. IPMOMI) digantikan oleh PT. Paiton Operation and Maintenance Indonesia (PT. POMI).

Pada proses pembangkitan tenaga listrik diperlukan kontinuitas produksi energi listrik. Hal ini disebabkan karena PT. POMI sendiri merupakan salah satu Pembangkit Listrik yang mensuplai listrik untuk wilayah Jawa dan Bali. Dengan kapasitas total 1230 MW net atau 615 MW net untuk per unitnya, PLTU Paiton Unit 7 dan 8 diharapkan mampu memenuhi kebutuhan listrik masyarakat wilayah Jawa dan Bali. Dalam mensuplai listrik untuk kebutuhan wilayah Jawa dan Bali tersebut, PLTU Paiton Unit 7 dan 8 dilengkapi dengan peralatan yang mendukung dalam sistem PLTU secara keseluruhan.

Untuk memenuhi target pemerintah / PLN dalam hal penyedian tenaga listrik di Jawa Madura Bali pada percepatan pembangunan pembangkit listrik Tahap II maka PT. Paiton Energy ditunjuk pemerintah untuk proyek perluasan / Expansion Project PLTU di Paiton dengan membangun PLTU Unit 3 berkapasitas 1 x 815 NMW. Sehingga total PLTU Batubara yang dikelola oleh PT. Paiton Energy adalah 2035 NMW di Paiton, Probolinggo. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton unit 7 dan 8 merupakan 2 unit pembangkit listrik yang menggunakan Turbo Generator berbaian bakar Batubara sebagai penghasil uap panas (steam) dengan kapasitas maksimum 2 x 645 NMW(net) atau 2 x 670 GMW (gross).

Kedua unit ini beroperasi dengan faktor kemampuan rata-rata 85% per tahun. Dengan memproduksi energi listrik rata-rata 9,158,580 MWH per tahun dan mengkonsumsi batubara kira-kira 4,6 juta ton pertahun. Batubara tersebut didatangkan dari tambang batubara Adaro dan Kideco di Kalimantan Timur dengan menggunakan tongkang maupun kapal. Batubara tersebut ditampung di penimbunan Batubara (Coal Stock Pile) di lokasi PLTU Paiton. PLTU Paiton unit 7 dan 8 ini dimiliki oleh Paiton Energy Company yang dioperasikan oleh PT. Paiton Operation and Maintenance Indonesia (PT. POMI). Pembangunan proyek ini ditujukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik Jawa dan Bali. Proyek ini adalah implementasi dari kebijaksanaan pemerintah Indonesia dalam pertumbuhan diversifikasi energi. Dalam hal ini, kandungan batubara yang ada di Indonesia akan dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit tenaga listrik, dan mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi.

PLTU Unit 3 Paiton merupakan salah satu proyek percepatan pembangunan pembangkit listrik tahap II dengan kapasitas 1 x 815 NMW yang berbaian bakar batubara. Bilamana kemampuan beroperasi 90% dalam setahun maka perkiraan total energi yang dihasilkan adalah : 6,425,460 MWH / tahun dan mengkonsumsi batubara sebesar 3,06 Juta Ton pertahun.

Dalam pengoperasian PLTU Paiton Unit 3, 7 & 8, PT. Paiton Energy mengikat kerjasama Operations & Maintenance dengan PT. Paiton Operations & Maintenance Indonesia (PT. POMI). Dalam hal ini, PT. POMI mengoperasikan PLTU milik Paiton Energy untuk memenuhi ketentuan yang diatur dalam Power Purchase Agreement dengan PLN.



Gambar 2. 1 Project Structure PT POMI (Sumber: PT POMI)

2.2 Pemegang Saham PT. POMI

Hingga saat ini Perusahaan konsorsium dari PT Paiton Energi yang memiliki saham dari proyek PLTU Paiton unit 7 dan 8 serta unit 3, antara lain : Mitsui & Co dari Jepang, Nebras dari Qatar, Tokyo Electric Power Co. dari Jepang dan Batu Hitam Perkasa dari Indonesia.



Gambar 2. 2 Pemegang Saham PT. POMI (Sumber: PT POMI)

2.3 Struktur Organisasi PT. POMI

Organisasi merupakan sarana dalam tercapainya suatu tujuan. Dalam pengertian dinamis, organisasi adalah tempat dan alat dari sekelompok badan usaha milik swasta maupun instansi pemerintah yang lebih menekankan pada subjek atau pelaku, yaitu interaksi antara orang-orang yang berada dalam organisasi tersebut. Dengan adanya struktur organisasi akan memberikan suatu penjelasan terhadap pendeklasian tugas dan wewenang pada anggota organisasi, dengan demikian akan membantu kelancaran aktivitas organisasi tersebut.

Struktur organisasi PT. POMI adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 3 Struktur Organisasi PT POMI (Sumber: PT POMI)

Struktur organisasi di PT. POMI, PLTU Paiton unit 3, 7 dan 8 di bagi atas 9 Departemen yaitu :

1. Fuel & Ash Departemen,
2. Production Departemen,
3. CSR Facility Security Departemen,
4. Human Resources Departemen,
5. Healthy Safety Environment & Compliance Departemen,
6. Purchasing & Contract Departemen,
7. Engineering Departemen,
8. Maintenance Departemen,
9. Finance & Corporate Service Departemen

Masing – masing departemen dipimpin oleh seorang Manager yang membawahi Supervisor atau Shift Supervisor, Engineering, Senior Optech, Teknisi, Sekretaris serta

beberapa 5 Adimistrasi. Keseluruhan Department dipimpin oleh President Director dan Plant Manager.

2.4 Personalia Perusahaan

PT. POMI adalah perusahaan yang tergolong besar ditinjau dari modal dan jumlah karyawan yang dimiliki. Hal ini dikarenakan operasi rutin perusahaan sangat banyak dan harus ditangani dengan sungguh-sungguh. Sebagian besar karyawan tetap perusahaan ini berpendidikan Sarjana dan Diploma.

Disamping itu, ada juga karyawan kontrak yang berasal dari kontraktor yang dibawahi PT. POMI dengan level jabatan dan tingkat pendidikan yang berbeda-beda sesuai dengan latar belakang pendidikannya. PT. POMI mempunyai sumber daya manusia yang terlatih dan berpengalaman dari berbagai disiplin ilmu sebanyak 411 karyawan tetap termasuk 3 expatriate/orang asing sebagai President Director & Senior Manager.

2.5 Visi, Misi, dan Company Values

2.5.1 Visi

“Paiton Operations & Maintenance Indonesia (POMI) will be recognized as a World Class operator of Power Plants”. Dalam Bahasa Indonesia : Paiton Operations & Maintenance Indonesia (POMI) akan dikenal sebagai Operator Power Plant kelas dunia.

2.5.2 Misi

“Paiton Operations & Maintenance Indonesia (POMI) operates and maintains the Paiton Energy Power Plant by promoting safety and environmental best practices, offering sustained financial returns for its Owners and achieving excellence in all that it does”. Dalam Bahasa Indonesia : Paiton Operations & Maintenance Indonesia (POMI) mengoperasikan dan memelihara Power Plant Paiton Energi dengan mengutamakan standar terbaik di aspek keselamatan dan lingkungan, memberikan keuntungan finansial yang berkelanjutan kepada pemiliknya dan pencapaian terbaik di semua bidang.

2.5.3 Company Values

Nilai-nilai perusahaan yang ada di PT. POMI adalah sebagai berikut:

- **Trust** - Kepercayaan
- **Empowerment** - Pemberdayaan
- **Teamwork** - Kerjasama
- **Continuous Improvement** – Perbaikan yang berkelanjutan

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III

PELAKSANAAN MAGANG

3.1 Pelaksanaan dan Ketentuan Magang Industri

3.1.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Magang Industri dilakukan pada waktu dan tempat sebagai berikut:

Waktu : 5 April 2022 – 3 Mei 2022

Tempat : Divisi Production, PT. POMI, Lt. 4

Jl. Raya Surabaya – Situbondo KM 141 Paiton,
Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. 67291

3.1.2 Ketentuan Pelaksanaan Magang Industri

Pelaksanaan Magang Industri di PT. POMI dilakukan dengan sistem hybrid yaitu peserta melakukan pertemuan melalui platform online disertai dengan kunjungan ke tempat magang selama satu (1) minggu kerja. Dalam kondisi pandemi ini, praktikan harus mematuhi protokol kesehatan yang ketat. Selain itu peserta magang wajib menaati peraturan dan *Safety Induction* yang telah ditentukan oleh PT. POMI.

3.2 Jadwal dan Kegiatan Magang

Tabel 3. 1 Jadwal dan Kegiatan Magang

No	Tanggal	Waktu	Kegiatan	Keterangan
1	Senin, 4 April 2022	16.00-17.00	Pengenalan dan penjelasan mekanisme magang	Pertemuan online pertama dengan pembimbing
2	Selasa, 5 April 2022	15.30-17.00	Pengenalan PT. POMI	Pertemuan online pemaparan pengenalan PT.POMI, dan komponen Boiler
3	Rabu, 6 April 2022	-	Belajar Mandiri Terkait Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
4	Kamis, 7 April 2022		Belajar Mandiri Terkait Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
5	Jum'at, 8 April 2022		Belajar Mandiri Terkait Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
6	Senin, 11	16.00-	Diskusi dengan	Pertemuan online, pemaparan

	April 2002	17.00	pembimbing	komponen-komponen pada unit pembangkit subcritical
7	Selasa, 12 April 2022		Belajar Mandiri Terkait Komponen Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical
8	Rabu, 13 April 2022	16.00-17.00	Diskusi dengan pembimbing	Membahas perihal komponen pada unit pembangkit subcritical
9	Kamis, 14 April 2022		Belajar Mandiri Terkait Komponen Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical
10	Jum'at, 15 April 2022		Belajar Mandiri Performansi Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical
11	Senin, 18 April 2022	07.00-16.00	Administrasi	Mengurus administrasi akses masuk dan jumpa pertama dengan pembimbing (WFO)
12	Selasa, 19 April 2022	07.00-16.00	Pengenalan PT. POMI	Melihat proses kontrol water treatment, mengunjungi drum screen (WFO)
13	Rabu, 20 April 2022	07.00-16.00	Pengenalan PT. POMI	Mengunjungi plant komponen-komponen pada boiler, soot blower, melihat pneumatic close-open actuator pada windbox boiler (WFO)
14	Kamis, 21 April 2022	07.00-16.00	Pengenalan PT. POMI	Mengunjungi plant komponen turbin, boiler feedwater pump, dan condenser (WFO)
15	Jumat, 22 April 2022	07.00-16.00	Diskusi bersama pembimbing	Mendiskusikan opsi tema laporan bersama pembimbing (WFO)
16	Senin, 25 April 2022	-	Pengerjaan Tugas Khusus	Pencarian Studi Literatur Terkait Air Preheater
17	Selasa, 26 April 2022		Pengerjaan Tugas Khusus	Pencarian Studi Literatur Terkait Air Preheater

18	Rabu, 27 April 2022		Pengerjaan Tugas Khusus	Perhitungan Performa Air Preheater
19	Kamis, 28 April 2022		Pengerjaan Tugas Khusus	Perhitungan Performa Air Preheater
20	Jum'at, 29 April 2022	15.30-17.00	Penyusunan Laporan Akhir Magang Industri	Penyusunan Laporan serta pemaparan hasil perhitungan Air Preheater

3.3 Metodologi Penyelesaian Tugas Khusus

3.3.1 Survei Lapangan

Survei Lapangan dilakukan di lingkungan PLTU Unit 8 Paiton untuk mengetahui terkait Air preheater dan cara kerjanya

3.3.2 Studi Literatur

Studi literature dilakukan untuk mencari dan mempelajari referensi-referensi yang berkaitan dengan perhitungan performa air preheater untuk mendapatkan hasil perhitungan yang ilmiah.

3.3.3 Pengambilan Data

Setelah dilakukan Studi Literatur maka dapat diketahui data parameter apa saja yang dibutuhkan untuk melakukan peritungan performa Air Preheater. Beberapa parameter yang telah ditentukan antara lain:

1. Temperatur Gas Buang Masuk
2. Temperatur Gas Buang keluar
3. O₂ Inlet
4. O₂ Outlet
5. Temperatur Udara Masuk
6. Temperatur Udara Keluar
7. Laju Masa Aliran Udara
8. Luas Plat Elemen

3.3.4 Pengolahan Data

Setelah data didapatkan maka pengolahan data dapat dilakukan. Pengolahan data dilakukan untuk menghitung Rata-Rata Temp Udara, Rata-Rata Temp Gas, Kalor Spesifik gas, Kalor Spesifik udara, Laju aliran gas, Kapasitas panas gas,

Kapasitas panas udara, Kaju aliran panas, LMTD, Konduktansi Termal, NTU, Kapasitas panas, Efektifitas, Air leakage, Temperatur gas no leakage, Gas side efficiency, Air side efficiency, dan X-ratio pada masing masing Air Preheater.

3.3.5 Melakukan Analisis Terkait Unjuk Kerja Air Preheater

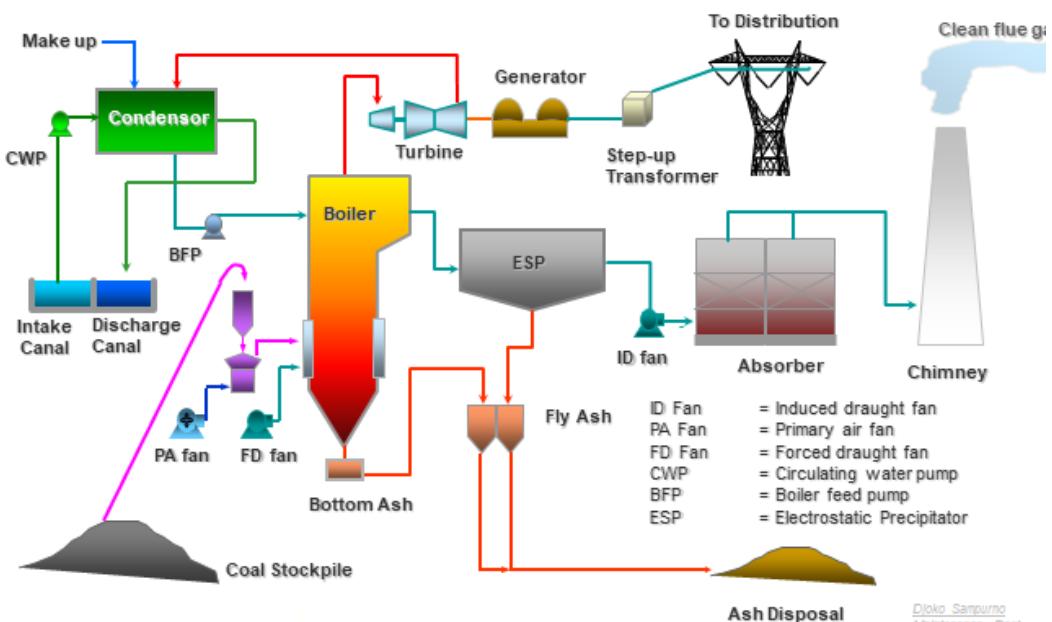
Setelah didapatkan hasil perhitungan, maka dapat dilakukan analisis terkait perubahan efektifitas sebelum dan sesudah overhaul, perubahan nilai x-ratio sebelum dan sesudah overhaul, hubungan efektifitas dan air leakage, serta pengaruh Air Preheater setelah overhoul terhadap efisiensi boiler

BAB IV

HASIL MAGANG

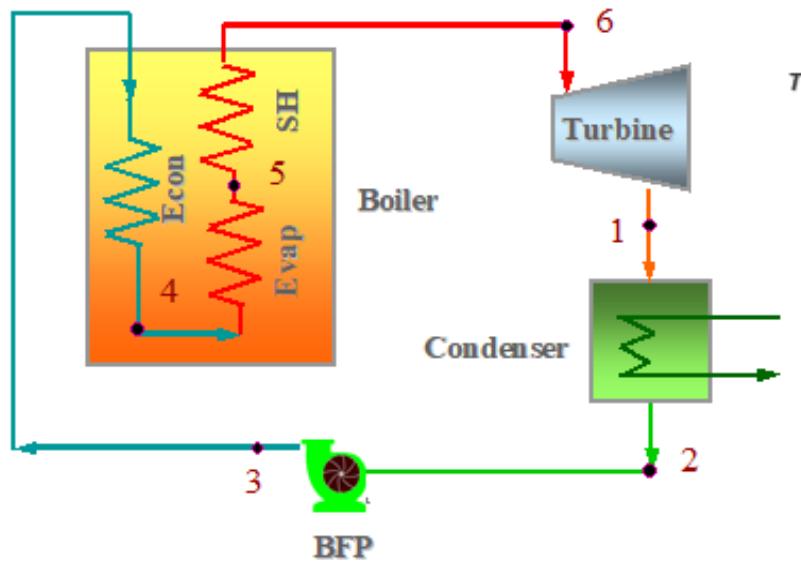
4.1 Tinjauan Pustaka

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah jenis pembangkit listrik yang memerlukan bahan bakar (energi kimia). Kemudian melalui proses pembakaran, bahan bakar dapat menghasilkan energi panas yang digunakan untuk merubah fasa air menjadi uap di boiler. Selanjutnya uap panas diubah menjadi energi mekanik di turbin. Setelah itu energi mekanik diubah menjadi energi listrik di generator. Gambar 4.1 berikut merupakan siklus PLTU.



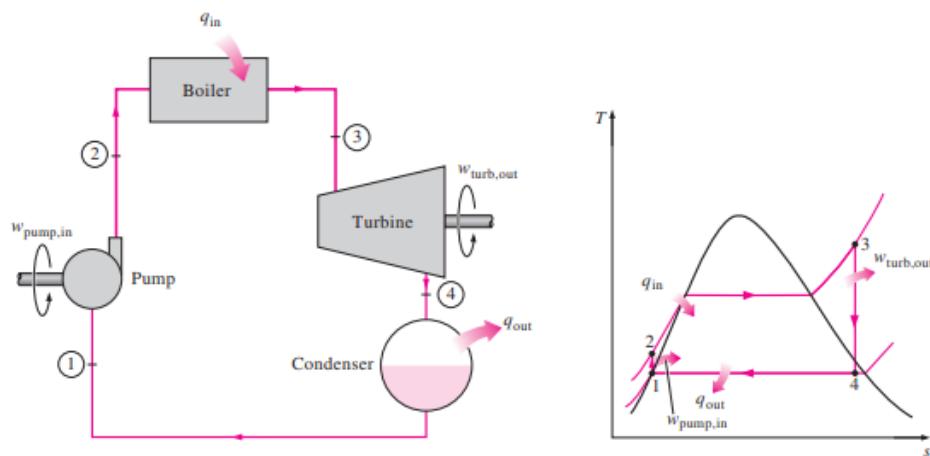
Gambar 4. 1 Siklus PLTU
(Sumber: PT POMI)

PLTU merupakan salah satu jenis pembangkit yang banyak digunakan karena biaya bahan bakarnya lebih terjangkau serta dapat menghasilkan energi listrik yang besar. Komponen utama PLTU meliputi *boiler*, *turbin*, *condenser*, dan *generator*. Gambar 4.2 di bawah ini ditunjukkan siklus yang terjadi pada komponen utama PLTU.



Gambar 4. 2 Diagram Siklus Pada Komponen Utama
(Sumber: PT POMI)

Proses yang terjadi pada PLTU dapat digambarkan pada siklus Rankine, yaitu siklus tenaga uap paling sederhana yang merupakan modifikasi dari siklus Carnot, dimana proses pemanasan dan pendinginan pada siklus ini terjadi pada tekanan yang tetap. Siklus Rankine Ideal diperlihatkan pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4. 3 Siklus Rankine Ideal

(Sumber: Thermodynamics An Engineering Approach)
Siklus Rankine ideal tidak melibatkan *irreversible internal* dan terdiri dari 4 tahapan proses sebagai berikut:

- 1) Tahap 1 (proses 1 – 2)

Proses kompresi *isentropic* dalam kompresor, kondisi 1 adalah udara atmosfer dimana temparatur udara adalah hasil kompresi (proses pengisian drum).

2) Tahap 2 (proses 2 – 3)

Proses penambahan panas pada tekanan konstan dalam ruang bakar dimana panas yang ditambahkan dalam ruang bakar (proses pembakaran dalam *boiler*).

3) Tahap 3 (proses 3 – 4)

Proses ekspansi *isentropic* dalam turbin, selanjutnya temperature gas keluaran pada proses ekstraksi *steam* dari turbin.

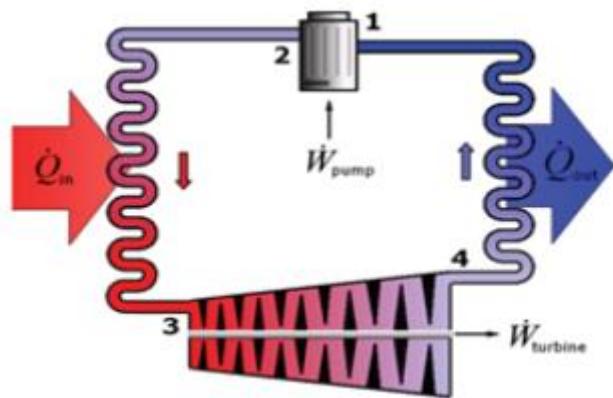
4) Tahap 4 (proses 4 – 5)

Proses pelepasan kalor (*heat rejection*) ke lingkungan pada tekanan konstan (proses di dalam *condenser*).

Air yang masuk ke pompa pada kondisi 1 sebagai cairan jenuh kemudian dikompresi sampai tekanan operasi *boiler*. Temperatur air akan meningkat selama kompresi *isentropic* melalui sedikit pengurangan dari volume spesifik air. Pada gambar 1, jarak vertical antara 1 – 2 pada diagram T – s biasanya dilebihkan untuk menjaga agar proses lebih aman. Air yang memasuki *boiler* sebagai cairan terkompresi pada kondisi 2 dan akan menjadi uap *superheated* pada kondisi 3, dimana panas yang diberikan oleh *boiler* ke air pada temperatur yang tetap.

Boiler dan seluruh bagian yang menghasilkan uap ini disebut sebagai generator uap. Uap *superheated* pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin untuk diekspansi secara *isentropic* dan akan menghasilkan kerja untuk memutar *shaft* yang terhubung dengan generator listrik sehingga dihasilkan listrik. P dan T dari uap akan turun selama proses ini menuju keadaan 4 dimana uap akan masuk *condenser* dan biasanya sudah berupa uap jenuh. Uap ini akan dicairkan pada P konstan di dalam *condenser* dan akan meninggalkan *condenser* sebagai cairan jenuh yang masuk pompa untuk melengkapi siklus *Rankine*.

Data di bawah kurva proses pada diagram T – s menunjukkan transfer panas untuk proses reversibel internal. Area di bawah kurva proses 2 – 3 menunjukkan panas yang ditransfer ke *boiler* dan area di bawah kurva 4 – 1 menunjukkan panas yang dilepaskan di *condenser*. Perbedaan dari kedua aliran ini adalah kerja *netto* yang dihasilkan selama siklus. Gambar 4.4 di bawah ini ditunjukkan *layout* khusus siklus Rankine.



Gambar 4.4 Layout Khusus Siklus Rankine

(Sumber: Pasra, N, Pengoperasian Water Treatment Plant Di PT PJB Unit Pembangkitan Paiton)

4.1.1 Komponen Utama PLTU

1. Boiler

Merupakan sebuah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap atau steam. Uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses pada turbin dan komponen lainnya. Boiler berfungsi untuk merubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi panas pada uap. Tiga bagian utama di dalam boiler yaitu economiser sebagai pemanas awal air sampai pada titik perpindahan fase, evaporator (downcomer dan walltube) untuk merubah phasa air menjadi uap (dalam kondisi ini uap masih terdiri dari uap basah dan kering) dan superheater sebagai pemanas lanjut uap kering tersebut sampai pada suhu tertentu.

2. Turbin

Turbin uap adalah turbin yang berfungsi untuk mengkonversi energi panas dalam uap menjadi energi putar (energi mekanik) ketika dikopel dengan generator, pada saat turbin berputar generator juga berputar. Sistem kerja turbin uap yaitu ketika uap panas kering masuk ke turbin, akan menabrak sudu-sudu turbin sehingga menggerakkan rotor atau shaft dari turbin dikarenakan adanya perbedaan tekanan yang terjadi.

3. Kondenser

Kondensor merupakan terdiri dari susunan pipa-pipa spiral kecil yang berisi cooling water yang termasuk sebagai alat penukar kalor atau heat

exchanger. Fungsi kondensor sendiri adalah mengkondensasikan uap yang keluar dari turbin menjadi air. Air hasil kondensasi ini dipompa oleh CEP (Condensate Extraction Pump) menuju Boiler dan akan digunakan kembali untuk proses pemanasan ulang.

4. Generator

Merupakan komponen utama sebagai penghasil listrik dari turbin pada PLTU dengan proses induksi elektromagnetik. Komponen utama generator ada dua yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Pengaturan output yang dihasilkan/dibutuhkan dari generator mempengaruhi kerja dari semua sistem dalam PLTU.

4.1.2 Komponen Alat Bantu PLTU

1. Economizer

Economizer merupakan salah satu peralatan yang meningkatkan efisiensi boiler karena memanfaatkan kalor yang terkandung dalam flue gas sebelum terbuang ke atmosfer melalui stack. Dengan kata lain dengan adanya ekonomiser maka unit PLTU telah menghemat konsumsi bahan bakar. Economizer terdiri dari pipa - pipa air yang ditempatkan pada lintasan gas asap sebelum meninggalkan boiler. Transfer panas yang terjadi pada economizer adalah secara konveksi. Artinya flue gas memberikan panas pada pipa - pipa economizer sehingga temperatur air yang ada di dalam pipa - pipa naik dari 180 °C sampai 250 °C. Pipa - pipa economizer terbuat dari bahan baja yang sanggup menahan panas dan tekanan tinggi. Pada pipa - pipa economizer sering sekali terjadi kerusakan. Beberapa penyebab kerusakan yang sering terjadi pada pipa - pipa economizer adalah acid attack, shortthermoverheat, mechanical fatigue, slagging, scaling. Apabila temperatur flue gas melalui economizer terlalu tinggi maka dapat terjadi overheat pada pipa - pipa economizer yang mengakibatkan pipa economizer pecah. Dan apabila temperatur flue gas melalui economizer terlalu rendah maka dapat terjadi slagging yang mengakibatkan pipa economizer bocor akibat diferensial temperatur. Kerusakan pipa economizer pada bagian dalam pipa (sisi air) dapat dihindarkan dengan jalan melunakkan air pengisi terlebih dahulu, dan kerusakan pipa economizer pada bagian luar pipa

(sisi gas asap) diatas dengan mempertahankan temperatur flue gas diatas titik embun gas sulfur dan melakukan soot blowing secara berkala.

2. Steam Drum

Tempat penampungan air dan uap dari economiser dan wall tube. Volume yang ada pada steam drum diperkirakan setengah bagian dari bejana tersebut. Pengaturan level di dalam steam drum menggunakan flow control valve dimana akan terkontrolnya air dan uap. Apabila level air terlalu rendah akan mengakibatkan overheating dan jika level air di steam drum sangat tinggi maka memungkinkan kerusakan pada turbin dikarenakan butir-butir air yang masuk ke dalam turbin dan menyebabkan turbin rusak.

3. Air Preheater

Salah satu alat yang digunakan untuk memanaskan udara yang di supply menuju boiler, dimana mendapatkan panas dari gas panas sisa pembakaran dengan perantara element dengan metode cross flow.

4. Deaerator

Alat untuk menghilangkan kandungan O₂ di air dan memanaskan air kondensat dengan menggunakan uap ekstraksi intermediate pressure turbine.

5. Low Pressure Heater

Adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air kondesat, dimana LPH satu, dua dan tiga menggunakan uap ekstraksi dari Low pressure turbine sebagai mendia pemanas.

6. High Pressure Heater

Setelah dipompa dari boiler feed pump (BFP), HPH adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air kondesat, dimana HPH lima, enam dan tujuh menggunakan uap ekstraksi dari High pressure turbine.

7. Mill Pulverizer

Mill Pulverizer merupakan alat bantu boiler dengan bahan bakar batubara yang berfungsi sebagai penggiling batu bara agar bahan bakar tersebut menjadi bubuk untuk dikirimkan menuju furnace melalui windbox.

4.1.3 Sirkulasi Udara dan Gas Buang

Sistem udara terutama berfungsi sebagai suplai kebutuhan udara pada proses pembakaran di ruang bakar, karena proses pembakaran itu berlangsung secara terus-menerus selama boiler beroperasi maka suplai udara untuk pembakaran pun harus dipasok secara berkelanjutan. Selain itu juga sistem udara berfungsi sebagai pemasok udara yang membawa batubara dari pulverizer ke ruang bakar.

1. Udara Primer

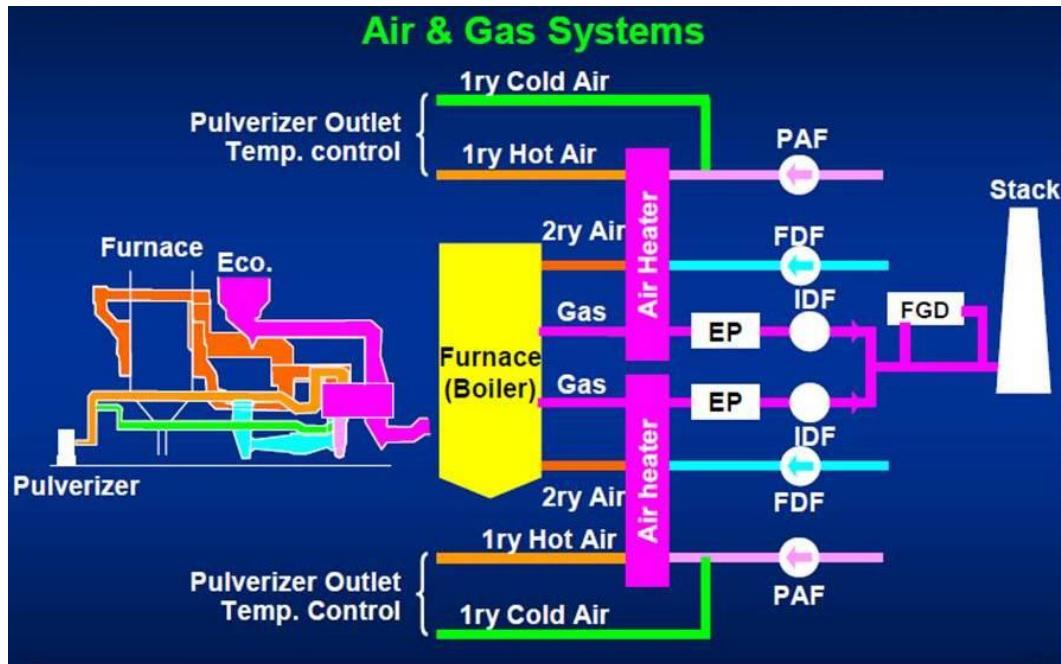
Udara primer adalah udara yang berasal dari Primary Air Fan. Udara primer berfungsi untuk membawa serbuk batubara yang telah dihaluskan di pulverizer menuju ke ruang bakar boiler. Selain itu udara primer juga digunakan untuk mengeringkan serbuk batubara di dalam pulverizer. Untuk memenuhi fungsi ini temperatur udara primer harus cukup tinggi, maka sebelum masuk ke pulverizer, udara primer dilewatkan melalui primary air heater, pemanas yang memanfaatkan panas gas buang sebagai media pemanas.

2. Udara Sekunder

Udara sekunder adalah udara yang berasal dari force draft fan yang digunakan sebagai udara pembakaran di ruang bakar boiler. Udara sekunder dialirkan ke steam coil untuk pemanasan awal kemudian dialirkan ke primary air heater selanjutnya dialirkan ke wind box dan masuk ke ruang bakar.

Gas buang yang merupakan gas sisa pembakaran dari boiler dihisap oleh induced draft fan (IDF) yaitu kipas hisap paksa melalui ekonomiser, air preheater dan elektrostatic precipitator (ESP). Panas yang terkandung dari gas buang tersebut dimanfaatkan untuk memanaskan air pengisi boiler di ekonomizer dan memanaskan udara sekunder serta udara primer yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi boiler. Gas buang tersebut sebelum keluar ke cerobong temperaturnya dijaga ± 150 °C untuk keamanan lingkungan.

4.1.4 Air & Gas System pada PLTU Paiton Unit 8



Gambar 4. 5 Air & Gas System PLTU Paiton Unit 8 (Sumber: PT POMI)

4.1.5 Peralatan pada Sistem Pembakaran Udara dan Gas Buang

1. Air Preheater

Air Pre-Heater adalah peralatan yang sistem kerjanya berputar dengan putaran rendah dan berfungsi untuk memanasi udara pembakaran sebelum dikirim ke Furnace dan menurunkan temperatur/suhu udara keluaran flue gas. Air Pre-Heater dibagi dua partisi (sisi panas dan dingin). Pemanas Udara pembakaran tersebut diambil dari gas buang hasil pembakaran dari Furnace (Flue Gas) yang dialirkan melalui Air Pre-Heater sebelum dibuang ke Chimney disebut sisi panas. Sebelah lagi udara atmosfir (temperatur ruang) sisi dingin akan menyerap udara panas hasil pertukaran panas dan selanjutnya ditransfer ke furnace sebagai udara Primary & Secondary.

2. Windbox

Windbox berfungsi sebagai jalur udara dari secondary air yang di dalamnya terdapat damper untuk pengaturan jumlah aliran udara pembakaran yang dibutuhkan pada setiap tingkatan burner serta sebagai wadah atau kotak penampung dari udara pembakaran yang di suplai oleh FD Fan.

3. Kipas (Fan)

Ada tiga jenis Fan yang biasa digunakan pada PLTU, yaitu Induced Draught fan (ID fan) berfungsi menarik atau mempertahankan tekanan di ruang bakar (Pengendali tekanan ruang bakar) juga berfungsi untuk menarik sisa gas hasil pembakaran menuju cerobong dan keluar ke lingkungan, Forced Draught fan (FD fan) yang berfungsi sebagai suplai udara pembakaran kedalam ruang bakar, Primary Air fan (PA fan) berfungsi sebagai suplai udara untuk sarana transportasi serbuk batubara serta untuk mengeringkan batubara didalam pulverizer. Namun ada pula PLTU yang dilengkapi dengan Gas Recirculating fan (GR fan) yang berfungsi menarik kembali sisa gas panas yang dikembalikan ke ruang bakar, yang bertujuan meningkatkan efisiensi boiler .

4. Electrostatic Precipitator (ESP)

Abu yang dihasilkan ketika proses produksi pembakaran ada dua jenis yaitu abu fly ash dan bottom ash. Abu fly ash adalah abu yang sangat halus dan ringan terbang dan terbawa menuju cerobong dan keluar ke udara luar yang biasanya menyebabkan polusi, sedangkan abu bottom ash adalah abu yang berat dan akan tertinggal di bagian bawah boiler. Untuk mengatur dan menangkap abu agar mengurangi polusi digunakan alat yang disebut Electrostatic Precipitator, dengan cara kerjanya menggunakan sepasang electrode arus DC disetiap unit boiler akan menangkap partikel ion-ion debu dari gas buang yang lewat mencapai 99%.

4.2 Perpindahan Panas

Pada dasarnya perpindahan panas terjadi dikarenakan adanya perbedaan temperatur. Perbedaan temperature dibagi menjadi 3 yaitu:

4.2.1 Konduksi

Proses perpindahan panas secara konduksi terjadi antara benda-benda yang berkontak langsung, menempel satu dengan yang lainnya, dan tidak ada pergerakan diantara benda-benda tersebut. Misalnya batang logam yang salah satu ujungnya dipanaskan, panas tersebut akan merambat/berpindah ke ujung logam yang tidak dipanaskan

4.2.2 Konveksi

Proses perpindahan panas secara konveksi terjadi pada sebuah benda padat dengan fluida (cair atau gas) yang saling berinteraksi. Misalnya fluida yang dipanaskan yang mengalir melewati wadah logam, dinding wadah logam tersebut akan terasa panas.

4.2.3 Radiasi

Proses perpindahan panas secara radiasi terjadi diantara dua permukaan tanpa yang kejadianya tanpa media perantara. Misal perpindahan panas antara matahari dengan orang yang sedang berjemur di tempat yang terik. Orang tersebut akan langsung merasakan panas dari matahari, hal ini terjadi karena temperatur di tempat orang yang sedang berjemur temperaturnya lebih rendah. Udara bukan merupakan perantara dalam perpindahan panas.

4.3 Air Preheater

Air Preheater (APH) merupakan salah satu alat bantu pada boiler. Air Preheater (APH) adalah alat yang berfungsi sebagai penukar panas (heat exchanger) antara gas buang (flue gas) dengan udara pembakaran. Sumber panas berasal dari flue gas yang dimanfaatkan untuk memanaskan udara pembakaran yang diambil dari udara atmosfer dengan bantuan alat yaitu primary air fan (PA Fan) dan force draft fan (FD Fan). Udara pembakaran ada dibedakan menjadi 2, yaitu

1. Udara Primer/Primary Air

Udara primer dihisap dari udara atmosfer menggunakan primary air fan (PA Fan). Udara primer ini digunakan untuk membawa / mentransfer batubara yang telah dihaluskan di pulverizer / mill ke coal burner melalui coal pipe. Udara primer juga berfungsi untuk memanaskan batubara yang ditransfer sehingga mempercepat proses pembakaran batubara di furnace.

2. Udara Sekunder/Secondary Air

Udara sekunder dihisap dari udara atmosfer menggunakan secondary air fan (SA Fan). Udara sekunder ini digunakan untuk memasok/mensuplai udara pembakaran di furnace sehingga dihasilkan pembakaran sempurna, kesesuaian volume udara dan bahan bakar.

Heat Transfer APH dalam PLTU mempunyai 2 fungsi :

- 1. Meningkatkan efisiensi pembakaran**

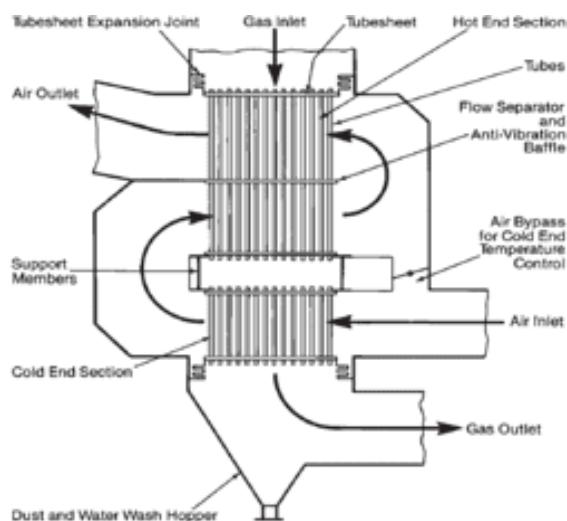
2. Menurunkan temperatur gas buang

Semakin baik kinerja heat transfer APH semakin baik pula efisiensi PLTU, demikian pula temperatur keluaran gas buang juga dikendalikan agar aman untuk lingkungan dan komponen APH

4.3.1 Jenis-Jenis Air Preheater

Jenis-jenis air preheater yang sering digunakan di PLTU terdapat 2 jenis :

1. Tubular Air Preheater



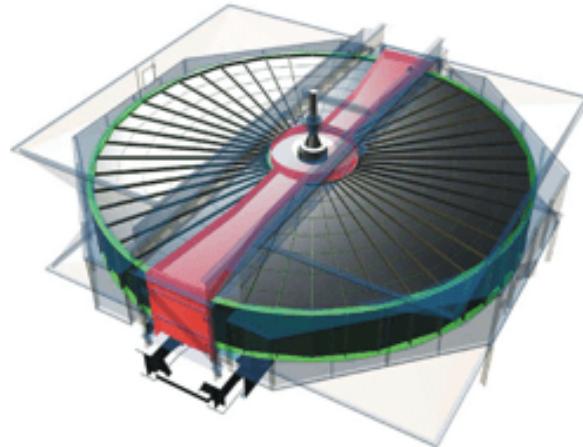
Gambar 4. 6 Tubular Air Preheater

(Sumber: Swart, D.E., Performance assessment and mass energy balance for regenerative type air heaters.)

Tubular air heater secara fisik berbentuk sebagai struktur kumpulan pipa-pipa dengan tube sheet di kedua ujungnya. Pemanasan terjadi melalui heat transfer antara fluida yang mengalir didalam pipa dengan fluida yang mengalir tegak lurus diluar pipa. Pada boiler heat transfer antara boiler flue gas dengan temperature yang lebih tinggi (sekitar 300C) kepada fresh air dari forced draft fan dengan temperature lingkungan. Tubular air heater adalah static equipment tanpa adanya mekanisme apapun. Sehingga untuk gas side efisiensi air heater bisa dihitung dengan membandingkan temperature pemanasanya, secara sederhana tanpa menghitung leakage air heater maka gas side efisiensi tubular air heater adalah seperti formula berikut;

$$\text{Gas Side Effisiensi} = \frac{\text{Temperature gas inlet} - \text{temperature gas outlet}}{\text{Temperatur gas inlet} - \text{temperature air inlet}} \times 100\%$$

2. Rotating-Plate Regenerative Air Preheater



Gambar 4. 7 Rotating Plate Regenerative Air Preheater

(Sumber: Swart, D.E. Performance assessment and mass energy balance for regenerative type air heaters.)

Jenis Rotating-Plate Regenerative Air Preheater (RAPH) merupakan air preheater yang komponennya berputar (Rotary Equipment). Rotary equipment berupa plat-plat elemen yang disusun vertikal diletakkan dalam basket elemen radial dan dikaitkan pada poros sebagai pusat putaran. Plat-plat elemen merupakan media perpindahan panas pada Rotating Plate Regenerative Air Preheater (RAPH). Secara vertikal, ruang-ruang dalam Rotating-Plate Regenerative Air Preheater (RAPH) dibagi menjadi beberapa sektor yang tersekat untuk memisahkan antara laluan flue gas dan udara pembakaran. Jumlah sektor dalam Rotating-Plate Regenerative Air Preheater (RAPH) bisa 2 (bi-sector), 3 (trisector) atau 4 (quad-sector), dan dilengkapi dengan seal di seputar elemen dan di setiap antar sektor. Flue Gas mengalir melalui sisi laluan gas melewati celah-celah/rongga-rongga sekaligus memanaskan elemen RAPH, elemen RAPH yang 21 merupakan bagian dari Rotary Equipment RAPH diputar dan mentransfer panas ke sisi laluan udara pembakaran. Siklus (putaran) perpindahan panas berulang dan berlanjut sehingga RAPH disebut Regenerative. PLTU Paiton unit 8 menggunakan air preheater jenis bi-sector.

4.3.2 Prinsip Kerja Air Preheater

Konstruksi RAPH bi-Sectors berbentuk silindris/tubung vertikal dan penampang horisontalnya berbentuk lingkaran. Sisi atas dan bawahnya terdapat

Sector Plate yang merupakan komponen statis/tidak berputar sebagai pengarah aliran Gas dan Udara Pembakaran, Sector Plate pada RAPH bi-Sectors membagi Ruang Laluan (Path) menjadi 2: input Laluan PA dan Laluan SA, dan output Laluan Gas.

Di dalam RAPH terdapat Rotary Equipment yang berbentuk silindris vertikal terdiri rotor sebagai poros/pusat putaran dan modulmodul Elemen RAPH yang dikaitkan ke rotor. Dimana Flue Gas masuk dari sisi atas RAPH melalui Laluan Gas (Gas Path) dan memaparkan panas pada Elemen APH, aliran Flue Gas dimungkinkan karena hisapan dari Induce Draft Fan (ID Fan) yang mempertahankan tekanan negatif relatif (terhadap Ruang Bakar/Furnace). Elemen RAPH yang berputar mentransfer/ memindahkan panas ke sisi Laluan SA. Udara SA masuk dari sisi bawah APH menyerap panas dari Elemen RAPH. Aliran udara SA terjadi oleh hembusan FD Fan. Dengan arah putaran yang searah jarum jam dan susunan Laluan/ path berurutan Flue Gas – SA path, maka sisi atas RAPH disebut ‘hot end’ dan sisi bawahnya disebut ‘cold end’.

4.3.3 Komponen Air Preheater

Air Preheater tersusun dari beberapa komponen, berikut komponen utama pada air preheater :

1. Motor

Berfungsi sebagai pemutar APH, terdiri dari Main dan Auxiliary motor. Main motor berfungsi sebagai penggerak utama sedangkan auxiliary motor hanya digunakan jika terjadi gangguan pada main motor

2. Gearbox

Berfungsi sebagai menaikkan / menurunkan putaran motor APH.

3. Rotor

Berfungsi sebagai poros yang diputar oleh motor dengan kecepatan yang telah diatur oleh Gearbox.

4. Radial Bearing dan Trust Bearing

Guide / Radial Bearing, berfungsi sebagai bantalan Rotor sisi atas. sedangkan Support / Block / Trust Bearing, berfungsi sebagai Rotor sisi bawah.

5. Elemen Air Heater

Susunan plat yang berfungsi sebagai media perpindahan panas antara flue gas dengan udara pembakaran yang dipanaskan sebelum ke pemakaian. Plat-plat tersebut disusun pada suatu proses dalam bentuk kompartmen silindris yang terbagi-bagi secara radial.

6. Sector Plate APH

Berfungsi sebagai pemisah antara sisi gas dan sisi udara.

7. Leakage Control System

LCS melalui rotor position sensor secara periodik akan mendekripsi gap yang terjadi antara sector plate dengan radial seal pada rotor, untuk mengurangi kebocoran pada sisi hot end. Jika gap yang ada lebih besar dari set point, maka LCS akan menggerakkan sector plate mendekati (tetapi tidak menyentuh) radial seal sehingga jarak minimum tercapai. Kebocoran tersebut terjadi karena adanya kenaikan temperatur yang tidak seimbang antara sisi hot end dan cold end. Bagian hot end dari rotor memiliki temperatur yang lebih tinggi dari sisi cold end sehingga ekspansi rotor tidak merata.

8. Seal Air System

Berfungsi untuk mengurangi kebocoran udara / air leakage.

a) Seal Radial

Seal radial dipasang pada setiap diafragma rotor elemen penamas pada bagian hot end maupun cold end. Seal ini dapat diatur dengan jarak tertentu terhadap sector plate, saat beroperasi jarak tersebut harus dipertahankan dengan menggerakkan sector plate mendekati rotor air preheater.

b) Seal Axial

Seal axial dipasang pada bagian sisi luar dari rotor, memanjang dari sisi hot end ke cold end. Plate seal axial dapat dirubah posisinya dalam pedestal yang menjadi bagian dari rotor housing.

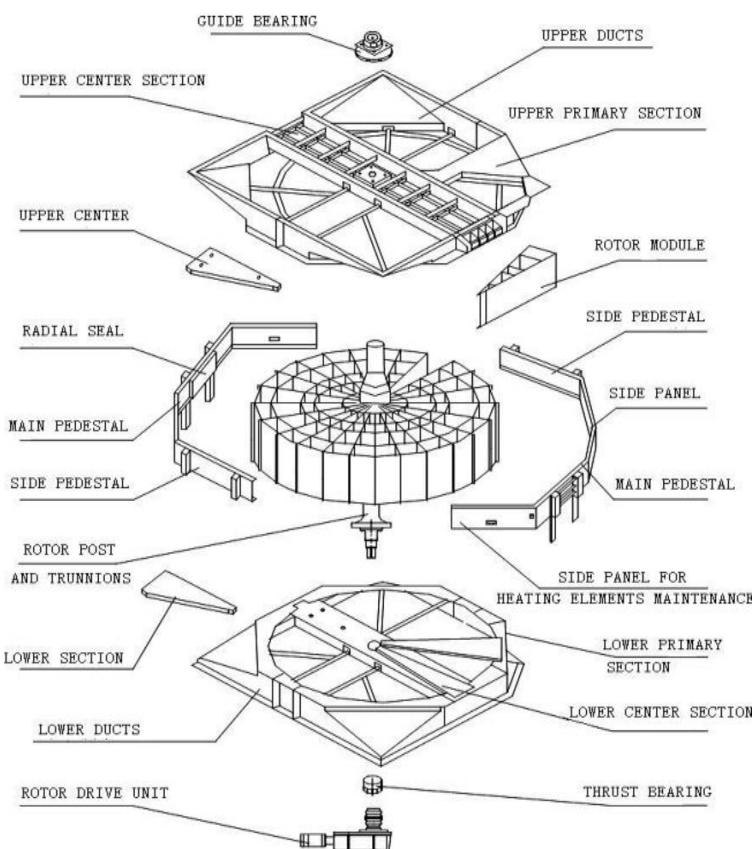
9. Thermocouple Temperature Monitoring Device (TTMD)

Berfungsi untuk mengukur temperatur udara keluar dari air heater dan mengirimkan sinyal ke control room jika terjadi temperatur lokal udara terlalu tinggi.

10. Air Preheater Cleaning

Berfungsi untuk menjaga elemen pemanas air dari penumpukan slag pada elemen pemanas yang dapat menyebabkan turunnya nilai heat transfer, air heater dilengkapi dengan:

- a) Soot Blower, berfungsi sebagai pembersih jelaga yang menempel pada elemen APH dengan menggunakan Auxiliary Steam.
- b) Water Wash, berfungsi sebagai pembersih elemen APH dengan menggunakan air / water



Gambar 4. 8 Komponen Air Preheater

(Sumber: Manivel, J. Analysis of Air Preheater in 210MW Thermal Power Station)

4.3.4 Perhitungan Kinerja pada Air Preheater

Baik atau buruknya kinerja Air Preheater dipengaruhi oleh berbagai faktor, berikut adalah faktor yang memperengaruhi kinerja air preheater antara lain:

1. Kesetimbangan Energi

Hukum termodinamika 1, dikenal sebagai konservasi prinsip energi, menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau

dimusnahkan melainkan hanya bisa diubah bentuknya. Untuk itu selama perhitungan energi harus diperhitungkan setiap prosesnya.

$$\left(\frac{\text{Total Energi}}{\text{Masuk Sistem}} \right) - \left(\frac{\text{Total Energi}}{\text{Keluar Sistem}} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Perubahan Total} \\ \text{Energi} \\ \text{Dalam sistem} \end{array} \right)$$

Sehingga rumus kesetimbangan energi didapat

$$Q = \dot{m} \times C_p x (T_{In} - T_{Out})$$

Keterangan:

Q : Laju aliran panas (kJ/s)

\dot{m} : Laju aliran masa (kg/s)

C_p : Panas jenis pada tekanan konstan (kJ/kg°C)

T_{Out} : Temperatur outlet (°C)

T_{In} : Temperatur inlet (°C)

2. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Perbedaan Temperatur Rata-rata Log atau yang biasa disebut dengan LMTD, LMTD adalah rata-rata logaritmik dari perbedaan temperatur antara fluida panas(gas buang) dan fluida dingin(udara). Semakin besar nilai LMTD, semakin banyak panas yang ditransfer/dipindahkan. Log Mean Temperature Difference(LMTD) digunakan dalam analisis penukar panas (Heat Exchanger) jika diketahui temperatur saluran masuk dan keluar fluida panas dan dingin. Persamaan untuk menghitung LMTD sebagai berikut

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2})}$$

$$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$$

Keterangan:

LMTD : Log Mean Temperature Difference (°C).

$T_{h,in}$: Temperatur inlet flue gas (°C).

$T_{h,out}$: Temperatur outlet flue gas (°C).

$T_{c,in}$: Temperatur inlet udara (°C).

$T_{c,out}$: Temperatur outlet udara (°C).

3. Luas Permukaan

Untuk menghitung luas permukaan dapat ditentukan secara tepat menggunakan dimensi dari heat exchanger, maka harus mengetahui dimensi radius atau diameter (diameter=2 kali radius) dan tinggi dari air preheater. Persamaan untuk menghitung luas permukaan air preheater yang berbentuk silinder sebagai berikut

$$A = \pi \times r^2 \times h$$

Keterangan:

A : Luas permukaan (m²).

R : Jari-jari (m).

h : Ketinggian (m).

4. Number Transfer Unit (NTU)

Metode Number of Transfer Unit (NTU) digunakan untuk menghitung laju perpindahan panas pada penukar panas (Heat Exchanger) jika tidak ada informasi yang cukup Log Mean Temperature Difference (LMTD). Dalam analisis penukar panas, jika temperatur masukan dan keluaran fluida diketahui dengan menggunakan keseimbangan energi sederhana, maka metode LMTD dapat digunakan. Jika temperatur tersebut tidak diketahui, maka digunakan metode NTU atau Efektivitas. Persamaan untuk menghitung efektivitas pada udara dengan aliran counter flow (Cappenberg, 2017) :

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}}$$

Keterangan:

NTU : Number Transfer Unit.

U : Konduktansi termal (W/m² °C).

C_{min} : Laju kapsitas panas udara (kJ/s°C).

A : Luas Permukaan (m²)

Nilai konduktansi termal dapat dihitung dengan persamaan\

$$U = \frac{Q_{max}}{A \times LMTD}$$

Keterangan:

U : Konduktansi termal (W/m² °C).

Q : Laju aliran panas (kJ/s).

A : Luas Permukaan (m²).

LMTD : Log Mean Temperature Difference (°C)

5. Efektivitas - NTU Methode

Metode efektivitas digunakan untuk menganalisa kemampuan penukar kalor untuk memindahkan sejumlah kalor tertentu. Untuk mengetahui nilai efektivitas dari penukar kalor maka perlu diketahui suhu masuk dan keluar penukar kalor, luas permukaan, jumlah aliran kalor dan koefisien perpindahan kalor. Efektivitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\epsilon = \frac{1 - \exp^{(-NTUX(1-c))}}{1 - (C \times \exp^{(-NTUX(1-c))})}$$

Laju perpindahan panas maksimum (Q) dipengaruhi oleh nilai laju aliran massa pendingin dikali dengan panas spesifik minimum, hasil dari perkalian disebut laju kapasitas panas (Ch dan Cc). Dalam menentukan nilai laju kapasitansi panas untuk fluida panas dan dingin yang bernilai paling kecil diantara laju kapasitas panas disebut laju kapasitansi panas minimum (Cmin). Nilai laju perpindahan panas maksimum (Q) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{max} = (\dot{m} \times Cp)_{min} \times (T_{h,in} - T_{c,out})$$

Dalam menentukan laju aliran panas flue gas diketahui persamaan sebagai berikut :

$$Q_c = (\dot{m} \times Cp)_{max} \times (T_{c,in} - T_{c,out})$$

Dalam menentukan laju aliran panas udara diketahui persamaan sebagai berikut :

$$Q_h = (\dot{m} \times Cp)_{min} \times (T_{h,in} - T_{h,out})$$

Dalam menentukan laju aliran kapasitas kalor per detik dari fluida panas diketahui persamaan sebagai berikut :

$$C_h = (\dot{m} \times Cp)_h$$

Dalam menentukan laju aliran kapasitas kalor per detik dari fluida dingin diketahui persamaan sebagai berikut :

$$C_c = (\dot{m} \times Cp)_c$$

Sehingga kapasitas panas dapat dihitung dengan rumus :

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

6. XR Ratio

Merupakan perbandingan kapasitas kalor (perpindahan panas) antara gas buang (fluida panas) dan udara (fluida dingin) yang melewati Air Preheater. Nilai X-Ratio bergantung pada laju alir massa udara dan gas. Kondisi ini berlaku jika diasumsikan tanpa adanya kebocoran udara (Air Leakage). Jika X-Ratio tinggi mengindikasikan bahwa berat gas buang yang melewati Air Preheater tidak mengalami kebocoran udara. Nilai XRatio (XR) yang rendah mengindikasikan adanya kelebihan aliran massa udara atau gas pada Air Preheater. Berikut ini persamaan yang diperlukan untuk menentukan X-Ratio (XR).

a) Gas Side Efficiency

Menyatakan energi panas yang dapat dipindahkan dari sisi gas buang ke udara yang melewati air heater dibandingkan dengan kondisi idealnya. Kondisi ideal merupakan kondisi dimana tidak terjadi air leakage. Persamaan gas side efficiency adalah

$$GSE = \left(\frac{(T_{h,out} - T_{c,in})}{(100 \times Cp_h)} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

GSE : Gas Side Efficiency (%).

Th in : Temperatur gas entering (°C).

Tgnl : Temperatur gas no leakage (°C).

Tc in : Temperatur udara masuk (°C).

Untuk menentukan temperatur Gas No Leakage yaitu menggunakan pesamaan berikut:

$$Tg, nl = \left(Al(\%) \times Cp_c \times \frac{(T_{h,out} - T_{c,in})}{(100 \times Cp_h)} \right) + T_{h,out}$$

Keterangan

Tgnl : Temperatur gas no leakage (°C)

% AL : % kebocoran air leakage (%)

Th out : Temperatur gas keluar (°C)

Tc in : Temperatur udara masuk (°C)

b) Air Side Efficiency

Menyatakan energi panas yang dapat diserap oleh udara dari panas gas buang. Persamaan air side efficiency adalah

$$\text{ASE} = \left(\frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \right) \times 100\%$$

Keterangan

Tc(in) : Temperature Udara Masuk (°C)

Tc(out) : Temperatur Udara Keluar (°C)

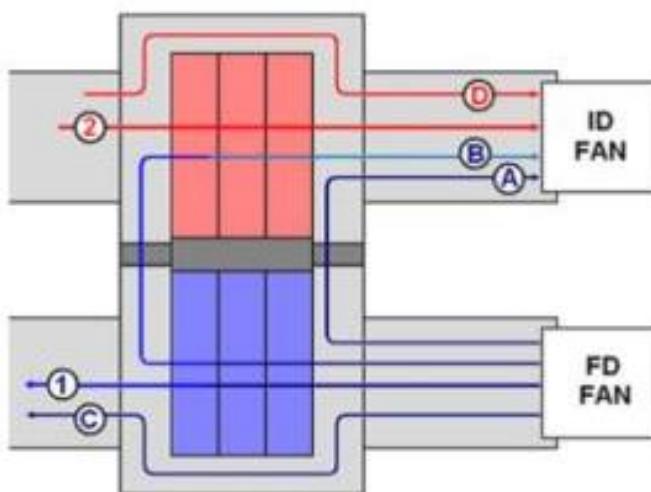
Th(in) : Temperatur Gas Masuk (°C)

Sehingga Persamaan XR Ratio adalah

$$X - \text{Ratio (Xr)} = \left(\frac{\text{Gas Side Efficiency}}{\text{Air Side Efficiency}} \right) \times 100\%$$

7. Air Leakage

Kebocoran udara atau Air leakage adalah berat atau jumlah udara pembakaran yang ikut terbawa keluar dari sisi udara bakar (air side) ke sisi gas buang (gas side). Seluruh kebocoran diasumsikan terjadi di antara sisi udara masuk (air inlet) dan sisi keluar gas buang (gas outlet). Ilustrasi kebocoran yang terjadi pada air heater dapat dilihat pada gambar



Gambar 4.9 Ilustrasi Kebocoran

(Sumber: Storm, S.K., Experiences with Regenerative Air Heater Performance Evaluations & Optimization.)

Keterangan:

- 1: Aliran udara dingin
 - 2: Aliran flue gas buang
- A: Udara dingin yang keluar bersama gas buang sebelum masuk ke elemen pemanas
- B: Udara dingin yang keluar bersama gas buang setelah melalui elemen pemanas
- C: Udara dingin yang lolos tanpa melalui elemen pemanas
- D: Flue gas yang lolos tanpa melalui elemen pemanas

Biasanya udara bocor ke gas di air preheater udara karena perbedaan tekanan, kebocoran udara ini mengurangi suhu gas buang tanpa mengekstraksi panas, untuk mengurangi kebocoran kebocoran udara disediakan seal pada air preheater. Kebocoran udara yang terjadi pada air heater dapat dihitung dengan membandingkan nilai persentase oksigen yang terkandung pada gas buang pada sisi masuk air heater dan juga persentase oksigen gas buang pada sisi keluar dari air heater dengan persamaan berikut ini

$$\text{Air Leakage (\%)} = \frac{\text{O}_2,\text{out} - \text{O}_2,\text{in}}{21 - \text{O}_2,\text{out}} \times 0,9 \times 100\%$$

Keterangan

AL : Air Leakage (%).

O₂out : Persentase O₂ keluar (%).

O₂ge : Persentase O₂ masuk (%).

21 : Konstanta, persentase oksigen di udara bebas (%).

0.9 : Konstanta empiris

4.4 Pengumpulan Data

4.4.1 Data Sebelum Overhaul

Data yang diambil merupakan rata-rata kinerja masing-masing air preheater selama tanggal 17-24 February 2022 dengan rata rata Net Generation sebesar 602,12 MW. Berikut adalah data dari masing-masing air preheater.

- a) Primary Air Preheater

Tabel 4. 1 Data Primary APH Sebelum Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Temperatur Gas Buang Masuk	Th in	°C	385,6299928
Temperatur Gas Buang keluar	Th out	°C	166,7372019
O ₂ Inlet	O ₂ in	%	2,409078153
O ₂ Outlet	O ₂ out	%	3,186595948
Temperatur Udara Masuk	Tc in	°C	42,24291114
Temperatur Udara Keluar	Tc out	°C	348,7371619
Laju Masa Aliran Udara	mc	Ton/h	970,5019577
Luas Plat Elemen	A	m ²	63612

b) Secondary Air Preheater A

Tabel 4. 2 Data Secondary APH A Sebelum Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Temperatur Gas Buang Masuk	Th in	°C	390,0865651
Temperatur Gas Buang keluar	Th out	°C	166,1045299
O ₂ Inlet	O ₂ in	%	4,599
O ₂ Outlet	O ₂ out	%	4,991
Temperatur Udara Masuk	Tc in	°C	32,85159701
Temperatur Udara Keluar	Tc out	°C	359,6235979
Laju Masa Aliran Udara	mc	Ton/h	972,1868885
Luas Plat Elemen	A	m ²	130394

c) Secondary Air Preheater B

Tabel 4. 3 Data Secondary APH B Sebelum Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Temperatur Gas Buang Masuk	Th in	°C	381,171138
Temperatur Gas Buang keluar	Th out	°C	166,1119091
O ₂ Inlet	O ₂ in	%	4,599
O ₂ Outlet	O ₂ out	%	4,991
Temperatur Udara Masuk	Tc in	°C	32,21903473
Temperatur Udara Keluar	Tc out	°C	355,4488577
Laju Masa Aliran Udara	mc	Ton/h	995,4758589
Luas Plat Elemen	A	m ²	130394

4.4.2 Data Setelah Overhaul

Data yang diambil merupakan rata-rata kinerja masing-masing air preheater selama tanggal 17-24 February 2022 dengan rata rata Net Generation sebesar 602,12 MW. Berikut adalah data dari masing-masing air preheater.

a) Primary Air Preheater

Tabel 4. 4 Data Primary APH Sesudah Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Temperatur Gas Buang Masuk	Th in	°C	374,4434751
Temperatur Gas Buang keluar	Th out	°C	156,0038306
O ₂ Inlet	O ₂ in	%	2,81041723
O ₂ Outlet	O ₂ out	%	2,643755923
Temperatur Udara Masuk	Tc in	°C	42,60539842
Temperatur Udara Keluar	Tc out	°C	349,162288
Laju Masa Aliran Udara	mc	Ton/h	792,4517784
Luas Plat Elemen	A	m ²	63612

b) Secondary Air Preheater A

Tabel 4. 5 Data Secondary APH A Sesudah Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Temperatur Gas Buang Masuk	Th in	°C	371,9212602
Temperatur Gas Buang keluar	Th out	°C	155,1812929
O ₂ Inlet	O2 in	%	4,599
O ₂ Outlet	O2 out	%	4,991
Temperatur Udara Masuk	Tc in	°C	32,92026162
Temperatur Udara Keluar	Tc out	°C	350,4187444
Laju Masa Aliran Udara	mc	Ton/h	959,4993451
Luas Plat Elemen	A	m ²	130394

c) Secondary Air Preheater B

Tabel 4. 6 Data Secondary APH B Sesudah Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Temperatur Gas Buang Masuk	Th in	°C	376,9654427
Temperatur Gas Buang keluar	Th out	°C	155,1789948
O ₂ Inlet	O2 in	%	4,599
O ₂ Outlet	O2 out	%	4,991
Temperatur Udara Masuk	Tc in	°C	32,67519295
Temperatur Udara Keluar	Tc out	°C	355,0118631
Laju Masa Aliran Udara	mc	Ton/h	987,0276947
Luas Plat Elemen	A	m ²	130394

4.4.3 Data Desain Air Preheater

Tabel 4. 7 Data Desain Air Preheater

PRIMARY AIR PREHEATER	
General	
Equipment No.	BF-HTR-600
P&ID No.	P101-51-700-BF-0002
TCD No.	P101-15-1701.00-0101
Manufacturer	ABB Air Preheater (Lungstrom)
Equipment Data	
Type	Regenerative Rotating
Speed	1,04
Electric Motor	
Manufacturer	Reliance
Speed	1500 rpm
Rated Power	14,9 kW
Voltage	380
SECONDARY AIR PREHEATERS	
General	
Equipment No.	BG-HTR-510A/B
P&ID No.	P101-51-700-BG-0001
TCD No.	P101-15-1701.00-0101
Manufacturer	ABB Air Preheater (Lungstrom)
Equipment Data	
Type	Regenerative Rotating
Speed	92 rpm
Electric Motor	
Manufacturer	Reliance
Speed	1500 rpm
Rated Power	22,4 kW
Voltage	380

4.5 Perhitungan Unjuk Kerja Air Preheater Sebelum Overhaul

4.5.1 Perhitungan Efektivitas Primary Air Preheater

1) Kesetimbangan Energi

$$q_h = q_c$$

$$\dot{m}_h \times Cp_h \times (T_{h,in} - T_{h,out}) = \dot{m}_c \times Cp_c \times (T_{c,in} - T_{c,out})$$

- Mencari Cp_h , dengan menggunakan parameter gas pada table gas-ideal

Diketahui: $T = 276,18^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = 549,1835973\text{ K}$

Interpolasi terhadap table:

$$\frac{550 - 549,18}{549,18 - 500} = \frac{1,048 - Cp_h}{Cp_h - 0,978}$$

$$Cp_h = 1,045 \text{ kJ/kg.K}$$

- Mencari Cp_c , dengan menggunakan parameter gas pada table gas-ideal

Diketahui: $T = 195,49 \text{ }^\circ\text{C} + 273 \text{ }^\circ\text{C} = 468,49 \text{ K}$

Interpolasi terhadap table:

$$\frac{550 - 486,49}{486,49 - 450} = \frac{1,048 - Cp_c}{Cp_c - 0,978}$$

$$Cp_c = 0,9906 \text{ kJ/kg.K}$$

- Mencari \dot{m}_h , didapatkan setelah mensubtitusikan nilai Cp_c dan Cp_h .

$$\dot{m}_h = \frac{\dot{m}_c \times Cp_c \times (T_{c,in} - T_{c,out})}{Cp_h \times (T_{h,in} - T_{h,out})}$$

$$\dot{m}_h = \frac{970,5 \frac{\text{Ton}}{\text{H}} \times 0,9906 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times (42,24 - 348,37) \text{K}}{1,045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times (385,62 - 166,73)}$$

$$\dot{m}_h = 1287,538494 \text{ Ton/h}$$

2) Menghitung Laju Kapasitas Panas Gas (C_h)

$$C_h = (\dot{m} \times Cp)_h$$

$$C_h = 1287,53 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \times 1,045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{Ton}}$$

$$C_h = 373,9136965 \text{ kJ/s}^\circ\text{C}$$

3) Menghitung Laju Kapasitas Panas Udara (C_c)

$$C_c = (\dot{m} \times Cp)_c$$

$$C_c = 970,50 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \times 0,9906 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{Ton}}$$

$$C_c = 267,0425705 \text{ kJ/s}^\circ\text{C}$$

4) Menghitung Laju Aliran Panas (Q_{max})

$$Q_{max} = (\dot{m} \times Cp)_c \times (T_{h,in} - T_{c,in})$$

$$Q_{max} = 267,0425705 \text{ kJ/s}^\circ\text{C} \times (385,62 - 42,24) \text{ K}$$

$$Q_{max} = 91698,96 \text{ kJ/s}$$

5) Menghitung *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2})}$$

- $\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$
 $= (385,62 - 348,37)^\circ\text{C}$
 $= 36,892^\circ\text{C}$
- $\Delta T_1 = T_{h,out} - T_{c,in}$
 $= (166,73 - 42,24)^\circ\text{C}$
 $= 124,494^\circ\text{C}$

$$LMTD = \frac{36,892^\circ\text{C} - 124,494^\circ\text{C}}{\ln(\frac{36,892^\circ\text{C}}{124,494^\circ\text{C}})}$$

$$LMTD = 72,026^\circ\text{C}$$

6) Luas Permukaan Air Preheater

$$A = 63612 \text{ m}^2$$

7) Menghitung Konduktansi Termal (U)

$$U = \frac{Q_{max}}{A \times LMTD}$$

$$U = \frac{91698,96 \text{ kJ/s}}{63612 \text{ m}^2 \times 72,026^\circ\text{C}}$$

$$U = 0,020014017 \frac{W}{m} \cdot ^\circ\text{C}$$

8) Menghitung *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU)

$$NTU = \frac{U \times A}{C_h}$$

$$NTU = \frac{0,020014017 \frac{W}{m} \cdot ^\circ\text{C} \times 63612 \text{ m}^2}{373,9136965 \text{ kJ/s}^\circ\text{C}}$$

$$NTU = 4,7675232$$

9) Menghitung Kapasitas Panas (C)

$$C = \frac{C_c}{C_h}$$

$$C = \frac{267,0425705 \text{ kJ/s}^\circ\text{C}}{373,9136965 \text{ kJ/s}^\circ\text{C}}$$

$$C = 0,714182372$$

10) Menghitung Efektivitas Air Preheater (ε)

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp^{(-NTUX(1-c))}}{1 - (C x \exp^{(-NTUX(1-c))})}$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp^{(-4,7675x(1-0,7141))}}{1 - (0,7141 x \exp^{(-4,7675x(1-0,7141))})}$$

$$\varepsilon = 0,9104$$

$$\varepsilon = 91,04 \%$$

4.5.2 Perhitungan X-Ratio Primary Air Preheater

1) Menghitung Kebocoran Udara (Air Leakage)

$$\text{Air Leakage (\%)} = \frac{O_{2,out} - O_{2,in}}{21 - O_{2,out}} \times 0,9 \times 100\%$$

$$\text{Air Leakage (\%)} = \frac{3,1865 - 2,409}{21 - 1,2865} \times 0,9 \times 100\%$$

$$\text{Air Leakage (\%)} = 3,9383 \%$$

2) Gas Outlet Temperature Corrected for No Leakage

$$T_{g,nl} = \left(Al(\%) \times Cp_c \times \frac{(T_{h,out} - T_{c,in})}{(100 \times Cp_h)} \right) + T_{h,out}$$

$$T_{g,nl} = \left(3,93\% \times 0,9906 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times \frac{(166,73 - 42,24)^\circ\text{C}}{\left(100 \times 1,045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)} \right) + 166,73^\circ\text{C}$$

$$T_{g,nl} = 171,627^\circ\text{C}$$

3) Gas Side Efficiency

$$GSE = \left(\frac{(T_{h,out} - T_{c,in})}{(100 \times Cp_h)} \right) \times 100\%$$

$$GSE = \left(\frac{(166,73 - 42,24)^\circ\text{C}}{\left(100 \times 1,045 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)} \right) \times 100\%$$

$$GSE = 62,321 \%$$

4) Air Side Efficiency

$$ASE = \left(\frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \right) \times 100\%$$

$$ASE = \left(\frac{(348,73^\circ\text{C} - 42,24^\circ\text{C})}{(385,62^\circ\text{C} - 42,24^\circ\text{C})} \right) \times 100\%$$

$$ASE = 89,25\%$$

5) X-Ratio

$$X - \text{Ratio (Xr)} = \left(\frac{\text{Gas Side Efficiency}}{\text{Air Side Efficiency}} \right)$$

$$X - \text{Ratio (Xr)} = \left(\frac{62,321 \%}{89,256 \%} \right)$$

$$X - \text{Ratio (Xr)} = 0,69822$$

4.6 Perhitungan Unjuk Kerja Air Preheater Setelah Overhaul

4.6.1 Perhitungan Efektivitas Primary Air Preheater

1. Kesetimbangan Energi

$$q_h = q_c$$

$$\dot{m}_h \times Cp_h \times (T_{h,in} - T_{h,out}) = \dot{m}_c \times Cp_c \times (T_{c,in} - T_{c,out})$$

- Mencari Cp_h , dengan menggunakan parameter gas pada table gas-ideal

Diketahui: $T = 263,551^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = 536,551\text{ K}$

Interpolasi terhadap table:

$$\frac{550 - 536,551}{536,551 - 500} = \frac{1,048 - Cp_h}{Cp_h - 0,978}$$

$$Cp_h = 1,037392817 \text{ kJ/kg.K}$$

- Mencari Cp_c , dengan menggunakan parameter gas pada table gas-ideal

Diketahui: $T = 191,66^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C} = 464,67\text{ K}$

Interpolasi terhadap table:

$$\frac{550 - 464,67}{464,67 - 450} = \frac{1,048 - Cp_c}{Cp_c - 0,978}$$

$$Cp_c = 0,9885624 \text{ kJ/kg.K}$$

- Mencari \dot{m}_h , didapatkan setelah mensubtitusikan nilai Cp_c dan Cp_h .

$$\dot{m}_h = \frac{\dot{m}_c \times Cp_c \times (T_{c,in} - T_{c,out})}{Cp_h \times (T_{h,in} - T_{h,out})}$$

$$\dot{m}_h = \frac{792,4 \frac{\text{Ton}}{\text{H}} \times 0,9885 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times (42,6 - 349,16)\text{K}}{1,037 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times (374,44 - 156,003)\text{K}}$$

$$\dot{m}_h = 1061,928054 \text{ Ton/h}$$

2.Menghitung Laju Kapasitas Panas Gas (C_h)

$$C_h = (\dot{m} \times Cp)_h$$

$$C_h = 1061,92 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \times 1,037 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{Ton}}$$

$$C_h = 306,3258721 \text{ kJ/s}^{\circ}\text{C}$$

3.Menghitung Laju Kapasitas Panas Udara (C_c)

$$C_c = (\dot{m} \times Cp)_c$$

$$C_c = 792,45 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \times 0,988 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{Ton}}$$

$$C_c = 218,2750311 \text{ kJ/s}^{\circ}\text{C}$$

4.Menghitung Laju Aliran Panas (Q_{max})

$$Q_{max} = (\dot{m} \times Cp)_c \times (T_{h,in} - T_{c,in})$$

$$Q_{max} = 218,2750311 \text{ kJ/s}^{\circ}\text{C} \times (374,44 - 42,6)\text{K}$$

$$Q_{max} = 72431,96649 \text{ kJ/s}$$

5.Menghitung *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2})}$$

- $\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$
 $= (374,44 - 349,16)^{\circ}\text{C}$
 $= 25,281 ^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$
 $= (156,003 - 42,6)^{\circ}\text{C}$
 $= 113,398 ^{\circ}\text{C}$

$$LMTD = \frac{25,281 ^{\circ}\text{C} - 113,398 ^{\circ}\text{C}}{\ln(\frac{25,281 ^{\circ}\text{C}}{113,398 ^{\circ}\text{C}})}$$

$$LMTD = 58,71167 ^{\circ}\text{C}$$

6.Luas Permukaan Air Preheater

$$A = 63612 \text{ m}^2$$

7.Menghitung Konduktansi Termal (U)

$$U = \frac{Q_{max}}{A \times LMTD}$$

$$U = \frac{72431,96649 \text{ kJ/s}}{63612 \text{ m}^2 \times 58,71167 ^{\circ}\text{C}}$$

$$U = 0,019393971 \frac{W}{m} \cdot ^\circ C$$

8.Menghitung *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU)

$$NTU = \frac{U \times A}{C_h}$$

$$NTU = \frac{0,019393971 \frac{W}{m} \cdot ^\circ C \times 63612 m^2}{306,3258721 kJ/s^\circ C}$$

$$NTU = 5,651994622$$

9.Menghitung Kapasitas Panas (C)

$$C = \frac{C_c}{C_h}$$

$$C = \frac{218,2750311 kJ/s^\circ C}{306,3258721 kJ/s^\circ C}$$

$$C = 0,712558262$$

10. Menghitung Efektivitas Air Preheater (ε)

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp^{(-NTUx(1-c))}}{1 - (C \times \exp^{(-NTUx(1-c))})}$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp^{(-5,655x(1-0,7125))}}{1 - (0,7125 \times \exp^{(-5,65x(1-0,7125))})}$$

$$\varepsilon = 0,9341$$

$$\varepsilon = 93,41 \%$$

4.6.2 Perhitungan X-Ratio Primary Air Preheater

6) Menghitung Kebocoran Udara (Air Leakage)

$$\text{Air Leakage (\%)} = \frac{O_{2,out} - O_{2,in}}{21 - O_{2,out}} \times 0,9 \times 100\%$$

$$\text{Air Leakage (\%)} = \frac{2,8104 - 2,6437}{21 - 2,8104} \times 0,9 \times 100\%$$

$$\text{Air Leakage (\%)} = 0,82462 \%$$

7) Gas Outlet Temperature Corrected for No Leakage

$$T_{g,nl} = \left(Al(\%) \times Cp_c \times \frac{(T_{h,out} - T_{c,in})}{(100 \times Cp_h)} \right) + T_{h,out}$$

$$T_{g,nl} = \left(0,82462\% \times 0,9885 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times \frac{(156,003 - 42,6)^\circ C}{(100 \times 1,037 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K})} \right) + 156,003^\circ C$$

$$T_{g,nl} = 156,9389382^\circ C$$

8) Gas Side Efficiency

$$\text{GSE} = \left(\frac{(T_{h,out} - T_{c,in})}{(100 \times C_p h)} \right) \times 100\%$$

$$\text{GSE} = \left(\frac{(156,003 - 42,6)^\circ\text{C}}{(100 \times 1,037 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}})} \right) \times 100\%$$

$$\text{GSE} = 65,545 \%$$

9) Air Side Efficiency

$$\text{ASE} = \left(\frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \right) \times 100\%$$

$$\text{ASE} = \left(\frac{(349,16 - 42,6)}{(374,44 - 42,6)} \right) \times 100\%$$

$$\text{ASE} = 92,381\%$$

10) X-Ratio

$$\text{X - Ratio (Xr)} = \left(\frac{\text{Gas Side Efficiency}}{\text{Air Side Efficiency}} \right)$$

$$\text{X - Ratio (Xr)} = \left(\frac{65,545 \%}{92,381 \%} \right)$$

$$\text{X - Ratio (Xr)} = 0,7095$$

4.7 Hasil Perhitungan**4.7.1 Hasil Perhitungan Kinerja Air Preheater Sebelum Overhaul**

a) Primary Air Preheater Sebelum Overhaul

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Primary APH Sebelum Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Rata-Rata Temp Udara	Tc	K	468,4900365
Rata-Rata Temp Gas	Th	K	549,1835973
Kalor Spesifik gas	Cph	kJ/kg	1,045475
Kalor Spesifik udara	Cpc	kJ/kg	0,990573225
Laju aliran gas	ṁh	Ton/h	1287,538494
Kapasitas panas gas	Ch	kJ/s°C	373,9136965
Kapasitas panas udara	Cc	kJ/s°C	267,0425705
Kaju aliran panas	Qmaks	kJ/s	91698,96898
ΔT1	ΔT1	°C	36,8928309
ΔT2	ΔT2	°C	124,4942908
LMTD		°C	72,02630392

Konduktansi Termal	U	W/m ² °C	0,020014017
NTU			4,767523293
Kapasitas panas	C		0,714182372
Efektifitas	ε	%	91,0467
Air leakage	AL	%	3,92831159
Temperatur gas no leakage	Tg.nl	°C	171,6277256
Gas side efficiency	GSE	%	62,32100119
Air side efficiency	ASE	%	89,2561972
X-ratio	Xr		0,698226041

b) Secondary Air Preheater A Sebelum Overhaul

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Secondary APH A Sebelum Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Rata-Rata Temp Udara	Tc	K	469,2375975
Rata-Rata Temp Gas	Th	K	551,0955475
Kalor Spesifik gas	Cph	kJ/kg	1,04658
Kalor Spesifik udara	Cpc	kJ/kg	0,9918456
Laju aliran gas	ṁh	Ton/h	1344,166447
Kapasitas panas gas	Ch	kJ/s°C	390,7715889
Kapasitas panas udara	Cc	kJ/s°C	267,8498021
Kaju aliran panas	Qmaks	kJ/s	95685,31553
ΔT1	ΔT1	°C	30,46296721
ΔT2	ΔT2	°C	133,2529329
LMTD		°C	69,65329431
Konduktansi Termal	U	W/m ² °C	0,010535279
NTU			5,128759116
Kapasitas panas	C		0,685438271
Efektifitas	ε	%	92,7419
Air leakage	AL	%	2,203760385
Temperatur gas no leakage	Tg.nl	°C	169,0411052
Gas side efficiency	GSE	%	61,87677008
Air side efficiency	ASE	%	91,4725685
X-ratio	Xr		0,676451652

c) Secondary Air Preheater B Sebelum Overhaul

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Secondary APH B Sebelum Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Rata-Rata Temp Udara	Tc	K	466,8339462
Rata-Rata Temp Gas	Th	K	546,6415235
Kalor Spesifik gas	Cph	kJ/kg	1,043850575

Kalor Spesifik udara	Cpc	kJ/kg	0,9901176
Laju aliran gas	\dot{m}_h	Ton/h	1419,163779
Kapasitas panas gas	Ch	kJ/s°C	411,4985908
Kapasitas panas udara	Cc	kJ/s°C	273,7883801
Kaju aliran panas	Qmaks	kJ/s	95539,03107
ΔT_1	ΔT_1	°C	25,72228025
ΔT_2	ΔT_2	°C	133,8928744
LMTD		°C	65,57055387
Konduktansi Termal	U	W/m ² °C	0,011174147
NTU			5,321780626
Kapasitas panas	C		0,665344636
Efektifitas	ϵ	%	93,6501
Air leakage	AL	%	2,203760385
Temperatur gas no leakage	Tg,nl	°C	169,0625872
Gas side efficiency	GSE	%	60,78443109
Air side efficiency	ASE	%	92,62870749
X-ratio	Xr		0,656215905

4.7.2 Hasil Perhitungan Kinerja Air Preheater Setelah Overhaul

a) Primary Air Preheater Setelah Overhaul

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Primary APH Setelah Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Rata-Rata Temp Udara	Tc	K	468,8838432
Rata-Rata Temp Gas	Th	K	538,2236528
Kalor Spesifik gas	Cph	kJ/kg	1,038463138
Kalor Spesifik udara	Cpc	kJ/kg	0,9915936
Laju aliran gas	\dot{m}_h	Ton/h	1061,928054
Kapasitas panas gas	Ch	kJ/s°C	306,3258721
Kapasitas panas udara	Cc	kJ/s°C	218,2750311
Kaju aliran panas	Qmaks	kJ/s	72431,96649
ΔT_1	ΔT_1	°C	25,28118706
ΔT_2	ΔT_2	°C	113,3984322
LMTD		°C	58,71167595
Konduktansi Termal	U	W/m ² °C	0,019393971
NTU			5,651994622
Kapasitas panas	C		0,712558262

Efektifitas	ϵ	%	93,4132
Air leakage	AL	%	0,824621314
Temperatur gas no leakage	Tg.nl	°C	156,9389382
Gas side efficiency	GSE	%	65,54538257
Air side efficiency	ASE	%	92,3814689
X-ratio	Xr		0,709507906

b) Secondary Air Preheater A Setelah Overhaul

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Secondary APH A Setelah Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Rata-Rata Temp Udara	Tc	K	464,669503
Rata-Rata Temp Gas	Th	K	536,5512765
Kalor Spesifik gas	Cph	kJ/kg	1,037392817
Kalor Spesifik udara	Cpc	kJ/kg	0,9885624
Laju aliran gas	ṁh	Ton/h	1339,393493
Kapasitas panas gas	Ch	kJ/s°C	385,9658858
Kapasitas panas udara	Cc	kJ/s°C	263,4791598
Kaju aliran panas	Qmaks	kJ/s	89319,69829
ΔT1	ΔT1	°C	21,50251579
ΔT2	ΔT2	°C	122,2610312
LMTD		°C	57,97421573
Konduktansi Termal	U	W/m²°C	0,011815572
NTU			5,847444322
Kapasitas panas	C		0,682648829
Efektifitas	ϵ	%	94,4456
Air leakage	AL	%	2,203760385
Temperatur gas no leakage	Tg.nl	°C	157,875633
Gas side efficiency	GSE	%	63,14011701
Air side efficiency	ASE	%	93,65709367
X-ratio	Xr		0,674162677

c) Secondary Air Preheater B Setelah Overhaul

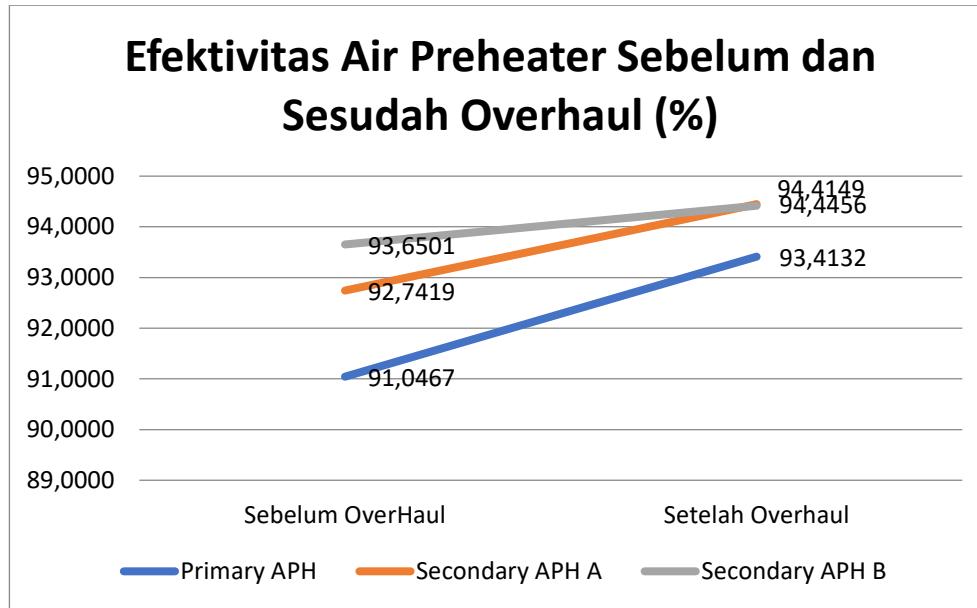
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Secondary APH B Setelah Overhaul

Data Parameter	Notasi	Satuan	Nilai
Rata-Rata Temp Udara	Tc	K	466,843528
Rata-Rata Temp Gas	Th	K	539,0722187
Kalor Spesifik gas	Cph	kJ/kg	1,03900622
Kalor Spesifik udara	Cpc	kJ/kg	0,9901248
Laju aliran gas	\dot{m}_h	Ton/h	1367,023057
Kapasitas panas gas	Ch	kJ/s°C	394,5404052
Kapasitas panas udara	Cc	kJ/s°C	271,466833
Kaju aliran panas	Qmaks	kJ/s	93463,38372
ΔT_1	ΔT_1	°C	21,95357958
ΔT_2	ΔT_2	°C	122,5038019
LMTD		°C	58,48623118
Konduktansi Termal	U	W/m²°C	0,012255478
NTU			5,886688931
Kapasitas panas	C		0,688058382
Efektifitas	ɛ	%	94,4149
Air leakage	AL	%	2,203760385
Temperatur gas no leakage	Tg.nl	°C	157,8786851
Gas side efficiency	GSE	%	63,63431952
Air side efficiency	ASE	%	93,62352561
X-ratio	Xr		0,679683008

4.8 Analisis Data

4.8.1 Efektivitas Air Preheater Sebelum dan Sesudah Overhaul

Analisis dilakukan melalui hasil data yang diolah menjadi sebuah grafik efektivitas masing-masing Air Preheater Sebelum dan sesudah Overhaul, sebelum overhaul pada tanggal 17-24 February 2022 lalu untuk sesudah overhaul pada tanggal 12-19 April 2022.



Grafik 4. 1 Efektivitas Air Preheater Sebelum dan Sesudah Overhaul (%)

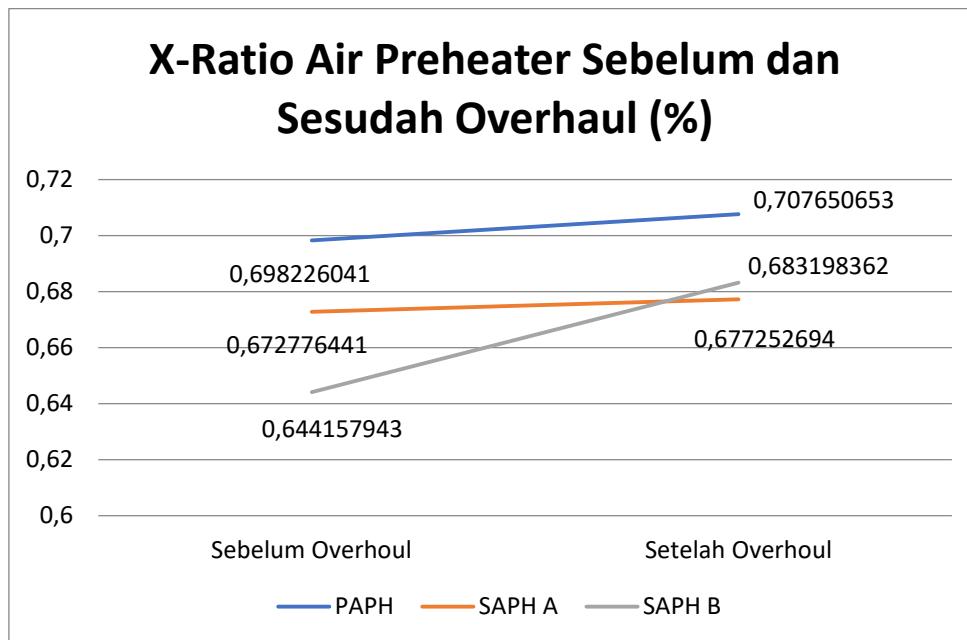
Hasil Analisis

1. Perhitungan data Efektivitas Air Preheater menunjukkan bahwa kondisi Efektivitas rata-rata terendah berada pada Primary Air Preheater yaitu 0,910467 (91,0467%) pada 17-24 February 2022, dan mengalami peningkatan pasca Overhaul menjadi 0,934132 (93,4132 %) pada 12-19 April 2022.
2. Sedangkan untuk Secondary APH B juga mengalami peningkatan Efektivitas pasca overhaul, yaitu dari 0,936501 (93,6501%) pada 17-24 February 2022 menjadi 0,944149 (94,4149%) pada 12-19 April 2022.
3. Sementara untuk kondisi Efektivitas tertinggi berada pada Secondary APH A setelah overhaul yaitu 0,944456 (94,4456%) pada 17-24 February 2022 dari sebelumnya yaitu 0,917149 (91,7149%) pada 12-19 April 2022.
4. Pada sampel data menunjukkan bahwa kondisi pasca overhaul lebih baik dari sebelum overhaul. Dimana Efektivitas Air Preheater mengalami peningkatan pasca Overhaul meskipun tidak begitu signifikan.

4.8.2 X-Ratio Air Preheater Sebelum dan Sesudah Overhaul

X-Ratio merupakan sutau nilai perbandingan antara Efisiensi Sisi Udara dan Sisi gas pada Air Preheater. Analisis dilakukan melalui hasil data yang diolah menjadi sebuah grafik X-ratio masing-masing Air Preheater Sebelum dan sesudah

Overhaul, sebelum overhaul pada tanggal 17-24 February 2022 lalu untuk sesudah overhaul pada tanggal 12-19 April 2022.

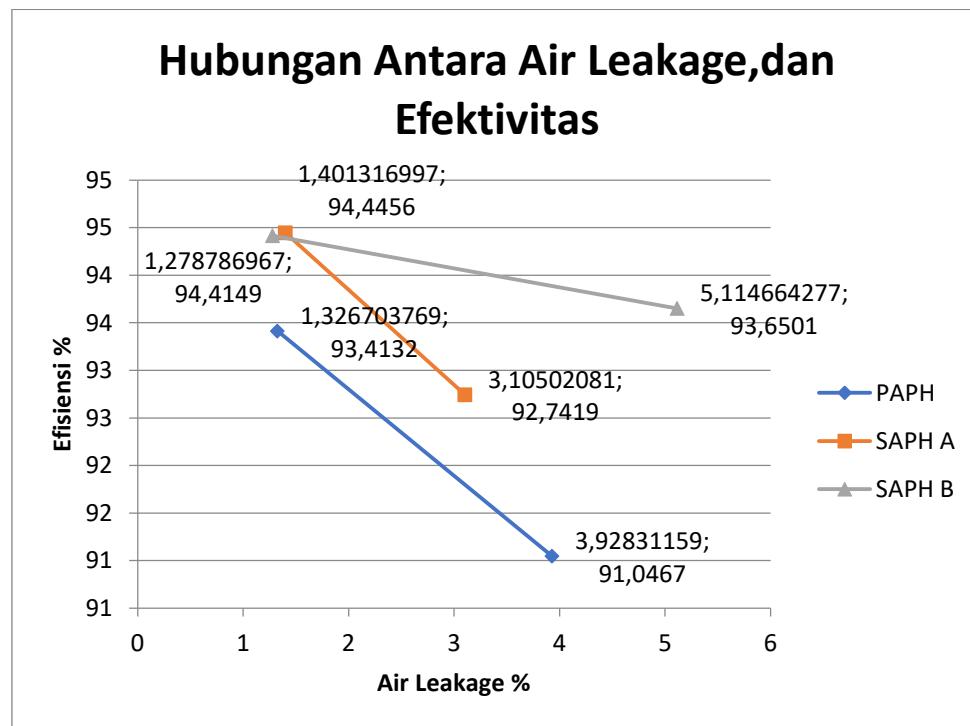


Grafik 4. 2 X-Ratio Air Preheater Sebelum dan Sesudah Overhaul (%)

Hasil Analisis:

1. Perhitungan data X-Ratio Air Preheater menunjukkan bahwa Primary Air Preheater mengalami peningkatan pasca Overhaul yaitu dari 0,6982 pada 17-24 February 2022 menjadi 0,7076 pada 12-19 April 2022.
2. Secondary APH A mengalami peningkatan nilai X-ratio setelah overhaul, yaitu dari 0,6727 pada 17-24 February 2022 menjadi 0,6772 pada 12-19 April 2022.
3. Sementara Secondary APH B mengalami penngkatan setelah overhaul yaitu 0,6831 pada 17-24 February 2022 dari sebelumnya yaitu 0,6441 pada 12-19 April 2022.
4. Nilai X-Ratio yang tinggi mengindikasikan bahwa berat gas buang yang melewati air Preheater tidak mengalami kelebihan maupun kebocoran udara

4.8.3 Hubungan Antara Air Leakage dan Efektivitas Air Preheater



Grafik 4. 3 Hubungan Antara Air Leakage,dan Efektivitas

Berdasarkan gambar grafik diatas menunjukkan hubungan air leakage terhadap efektivitas air preheater :

1. Grafik diatas menunjukkan nilai rata-rata air leakage terkecil terdapat pada Secondary Air Preheater B setelah overhaul (12-19 April 2022) dan nilai rata-rata air leakage terbesar terdapat pada Secondary Air Preheater B sebelum overhaul (17-24 February 2022).
2. Sampel data efektivitas air preheater menunjukkan efektivitas terbesar terdapat pada Secondary Air Preheater A setelah overhaul (12-19 April 2022) dan efektivitas terendah pada Primary Air Preheater sebelum overhaul (17-24 February 2022).
3. Air leakage mengakibatkan terjadinya penurunan efektivitas pada air preheater, efektivitas air preheater berbanding terbalik dengan perubahan air leakage. Nilai air leakage yang besar menunjukan bahwa air leakage dapat bercampur ke sisi flue gas sehingga laju aliran panas udara akan menurun. Selain itu, air leakage yang besar mengakibatkan temperatur drop yang tinggi (ΔT), apabila air leakage tinggi maka nilai temperature Flue gas outlet rendah. temperature drop yang tinggi menyebabkan perpindahan

panas yang terjadi semakin tidak optimal, perpindahan panas tidak optimal maka nilai LMTD semakin kecil.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan kinerja Air Preheater sebelum dan sesudah Overhaul. Dapat disimpulkan bahwa

1. Kondisi Air Preheater setelah dan sebelum Overhaul memiliki perbedaan. Beberapa APH yang memiliki Efektivitas, dan X-Ratio secara umum lebih baik setelah dilakukan Overhaul meskipun ada penurunan walau tidak signifikan dan nilai dari Air Leakage semakin kecil. Sesuai dengan Analisa diatas baik atau tidaknya kinerja Air Preheater dipengaruhi banyak faktor seperti Inlet Flue gas dan Inlet Udara, Kebocoran udara, Kapasitas Panas Gas dan Udara, Kapasitas Panas (C) dan kondisi elemen pemanas Air Preheater.
2. Besar rata-rata kinerja Air Preheater Sebelum Overhaul
 - Primary Air Preheater: Efektivitas 0,910467 (91,0467%), X-Ratio 0,698, Air Leakage 3,9283%.
 - Secondary Air Preheater A: Efektivitas 0,936501 (93,6501%), X-Ratio 0,6764, Air Leakage 3,105%.
 - Secondary Air Preheater B: Efektivitas 0,917149 (91,7149%), X-Ratio 0,6562, Air Leakage 5,1146%.

Besar rata-rata kinerja Air Preheater Setelah Overhaul

- Primary Air Preheater: Efektivitas 0,934132 (93,4132 %), X-Ratio 0,7155, Air Leakage 1,3267%.
- Secondary Air Preheater A: Efektivitas 0,944149 (94,4149%), X-Ratio 0,6741, Air Leakage 1,4013%.
- Secondary Air Preheater B: Efektivitas 0,944456 (94,4456%), X-Ratio 0,6796, Air Leakage 1,2787%.

5.2 Saran

Saran untuk peningkatan kinerja Air Preheater pada unit 8 PT POMI PLTU Paiton

1. Diharapkan untuk tetap menjaga nilai efektivitas dengan melakukan perawatan secara rutin untuk mencegah terjadinya penurunan performa pada masing-masing Air Preheater.

2. Perawatan dan kalibrasi pada instrument pengukur juga harus dilakukan secara rutin agar akurasi pengukuran selalu optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME Team. (1968). Performance Test Codes 4.3 Air Heaters. New York: The American Society Of Mechanical Engineers.
- Cengel Y.A., Boles M.A., 2007, Thermodynamics an Engineering Approach, 6th ed., Mc Graw-Hill Book Co.
- Iv, J. H. L. and Lienhard, J. H. (2002) ‘A heat transfer’. Massachusets. Phlogiston Press Cambridge
- Manivel, J., Manimaran, L., Thiagarajan, M., Satheeshkumar, P., & Thiruppathi, R. (2017). Performance Analysis of Air Preheater in 210MW Thermal Power Station. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3.
- Mulyono, M. and Roihatin, A. (2019) ‘Analisis Pengaruh Penggantian Heating Element Terhadap Kinerja Air Preheater Type Ljungstrom Di PLTU Jateng 2 Adipala 1×660 MW’, *Eksperi*, 15(2), p. 42. doi: 10.32497/eksperi.v15i2.1505.
- Nurhasan, M. V. (2015) ‘Analisis Unjuk Kerja Regenerative Air Heater Sisi A PLTU Unit 3 PT . PJB UP Gresik Menggunakan Standar American Society of Mechanical Engineers Performance (ASME) PTC 4.3’, p. 122.
- Pasra, N. and Hakim, F. (2015) ‘Pengoperasian Water Treatment Plant Di PT PJB Unit Pembangkitan Paiton’, *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 7(1), pp. 41–48.
- PT POMI. (2015). Power Plant Knowledge. Probolinggo. PT. Paiton & Maintenance Operation Indonesia
- Storm, S.K., & Guffre, J. (2010). Experiences with Regenerative Air Heater Performance Evaluations & Optimization.
- Swart, D.E. (2016). Performance assessment and mass energy balance for regenerative type air heaters.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Bukti Penerimaan Magang

POMI
PT PELAYANAN OPERASI & PEMERIKSAAN INDONESIA

Paiton, 30 November 2021

Kepada Yth.
 Kepala Departemen
 Teknik Mesin Industri
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
 Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

Fax : 031-5932625

Perihal : Pemohonan Magang Industri

Dengan hormat,

Menunjuk surat permohonan saudara nomor : B/72297/IT2.IX.7.1.2/PM.02.00/2021 mengenai perihal di atas, bersama ini kami informasikan bahwa kami dapat menerima permohonan saudara pada tanggal **04 April 2022** sampai dengan **05 Mei 2022** atas nama sebagai berikut:

Immadudin Prima Sudewa	NIM : 10211910010027
Dhewana Alnafis Han	NIM : 10211910010008

Dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Yang bersangkutan akan ditugaskan di **Departemen Production**, di bawah bimbingan **Bapak Hamam Suhaily**. Namun demikian mereka dapat ditugaskan di Departemen lain apabila perusahaan membutuhkan.
2. Mahasiswa akan menandatangani Perjanjian Kerjasama.

Untuk informasi teknis, dapat berhubungan langsung dengan Ibu Safina Pahlawani di alamat email: Spahlawani@pomi.co.id telp. 0335-771967 ext. 1020.

Kami harapkan mahasiswa/siswa yang bersangkutan mempunyai kartu kepesertaan BPJS Kesehatan/Asuransi Kesehatan dan membawa Surat Keterangan Sehat dari Dokter, membawa hasil swab antigen (non reactive) serta Surat Keterangan Kelakuan Baik dari Kampus/Sekolah/Kepolisian jika akan melakukan kunjungan ke PT. POMI.

Demikian pemberitahuan kami. Atas perhatiannya, kami mengucapkan terima kasih.

Hormat kami;


Bambang Jiwantoro
 CSR, Facilities & Security Manager

PT POMI (Paiton Operation & Maintenance Indonesia)
 Jl. Raya Sumatra - Simpang KM 141, Paiton, Probolinggo 67291
 Jawa Timur - Indonesia
 Office Phone: +62 335 771 967
 Fax: +62 335 772 369

Lampiran 4 Tabel Gas Ideal

912 | Thermodynamics

TABLE A-2

Ideal-gas specific heats of various common gases (Continued)

(b) At various temperatures

Temperature, K	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k
	Air			Carbon dioxide, CO_2			Carbon monoxide, CO		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335
	<u>Hydrogen, H_2</u>			<u>Nitrogen, N_2</u>			<u>Oxygen, O_2</u>		
250	14.051	9.927	1.416	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398
300	14.307	10.183	1.405	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395
350	14.427	10.302	1.400	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389
400	14.476	10.352	1.398	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382
450	14.501	10.377	1.398	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373
500	14.513	10.389	1.397	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365
550	14.530	10.405	1.396	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358
600	14.546	10.422	1.396	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350
650	14.571	10.447	1.395	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343
700	14.604	10.480	1.394	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337
750	14.645	10.521	1.392	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332
800	14.695	10.570	1.390	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327
900	14.822	10.698	1.385	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319
1000	14.983	10.859	1.380	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313

Source: Kenneth Wark, Thermodynamics, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), p. 783, Table A-4M. Originally published in Tables of Thermal Properties of Gases, NBS Circular 564, 1955.

Lampiran 5 Logbook

No	Tanggal	Waktu	Kegiatan	Keterangan
1	Senin, 4 April 2022	16.00-17.00	Pengenalan dan penjelasan mekanisme magang	Pertemuan online pertama dengan pembimbing
2	Selasa, 5 April 2022	15.30-17.00	Pengenalan PT. POMI	Pertemuan online pemaparan pengenalan PT.POMI, dan komponen Boiler
3	Rabu, 6 April 2022	-	Belajar Mandiri Terkait Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
4	Kamis, 7 April 2022	-	Belajar Mandiri Terkait Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
5	Jum'at, 8 April 2022	-	Belajar Mandiri Terkait Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
6	Senin, 11 April 2022	16.00-17.00	Diskusi dengan pembimbing	Pertemuan online, pemaparan komponen-komponen pada unit pembangkit subcritical
7	Selasa, 12 April 2022	-	Belajar Mandiri Terkait Komponen Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical
8	Rabu, 13 April 2022	16.00-17.00	Diskusi dengan pembimbing	Membahas perihal komponen pada unit pembangkit subcritical
9	Kamis, 14 April 2022	-	Belajar Mandiri Terkait Komponen Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical
10	Jum'at, 15 April 2022	-	Belajar Mandiri Performansi Boiler	Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical
11	Senin, 18 April 2022	07.00-16.00	Administrasi	Mengurus administrasi akses masuk dan jumpa pertama dengan pembimbing (WFO)
12	Selasa, 19 April 2022	07.00-16.00	Pengenalan PT. POMI	Melihat proses kontrol water treatment, mengunjungi drum screen (WFO)
13	Rabu, 20 April 2022	07.00-16.00	Pengenalan PT. POMI	Mengunjungi plant komponen- komponen pada boiler, soot blower, melihat

				pneumatic close-open actuator pada windbox boiler (WFO)
14	Kamis, 21 April 2022	07.00- 16.00	Pengenalan PT. POMI	Mengunjungi plant komponen turbin, boiler feedwater pump, dan condenser (WFO)
15	Jumat, 22 April 2022	07.00- 16.00	Diskusi bersama pembimbing	Mendiskusikan opsi tema laporan bersama pembimbing (WFO)
16	Senin, 25 April 2022	-	Pengerjaan Tugas Khusus	Pencarian Studi Literatur Terkait Air Preheater
17	Selasa, 26 April 2022	-	Pengerjaan Tugas Khusus	Pencarian Studi Literatur Terkait Air Preheater
18	Rabu, 27 April 2022	-	Pengerjaan Tugas Khusus	Perhitungan Performa Air Preheater
19	Kamis, 28 April 2022		Pengerjaan Tugas Khusus	Perhitungan Performa Air Preheater
20	Jum'at, 29 April 2022	15.30- 17.00	Penyusunan Laporan Akhir Magang Industri	Penyusunan Laporan serta pemaparan hasil perhitungan Air Preheater

Pembimbing Magang

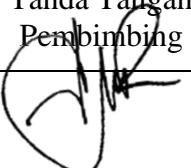
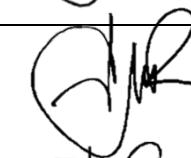
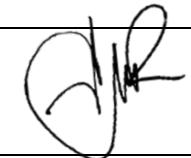


Hamam Suhaily

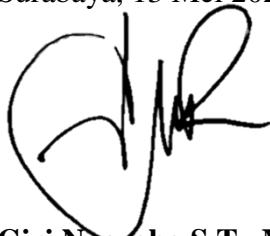
Lampiran 6 Form Asistensi

Form Asistensi

Nama mahasiswa : Dhewana Alnafis Han
 NRP : 10211910010008
 Nama Mitra : PT. Paiton Maintenance & Operation Indonesia
 Unit Kerja : Departemen Produksi
 Nama Pembimbing Lapangan: Hamam Suhaily
 Nama Pembimbing Departemen: Giri Nugroho S.T., M.Sc

No	Tanggal	Materi yang dibahas	Tanda Tangan Pembimbing
1	6 April 2022	Perkenalan dan penjelasan cakupan magang industri	
2	14 April 2022	Asistensi mengenai pelaporan kegiatan yang dilakukan, materi tentang boiler	
3	19 April 2022	Asistensi mengenai pelaporan kegiatan di plant pembangkit dan pembahasan topic laporan	
4	26 April 2022	Asistensi laporan magang industri	
5	13 Mei 2022	Pemaparan hasil akhir dan asistensi laporan magang industri	

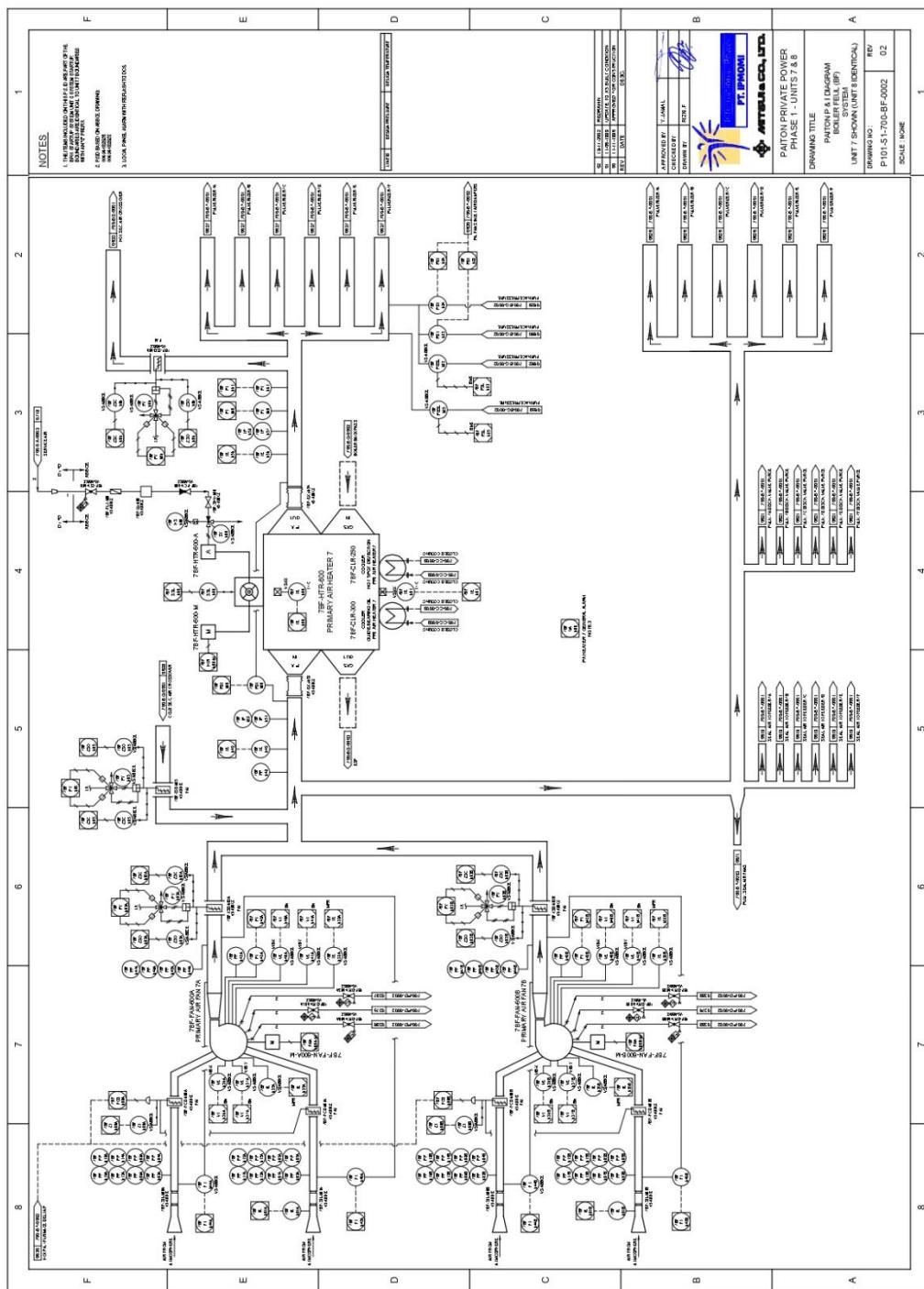
Surabaya, 13 Mei 2022



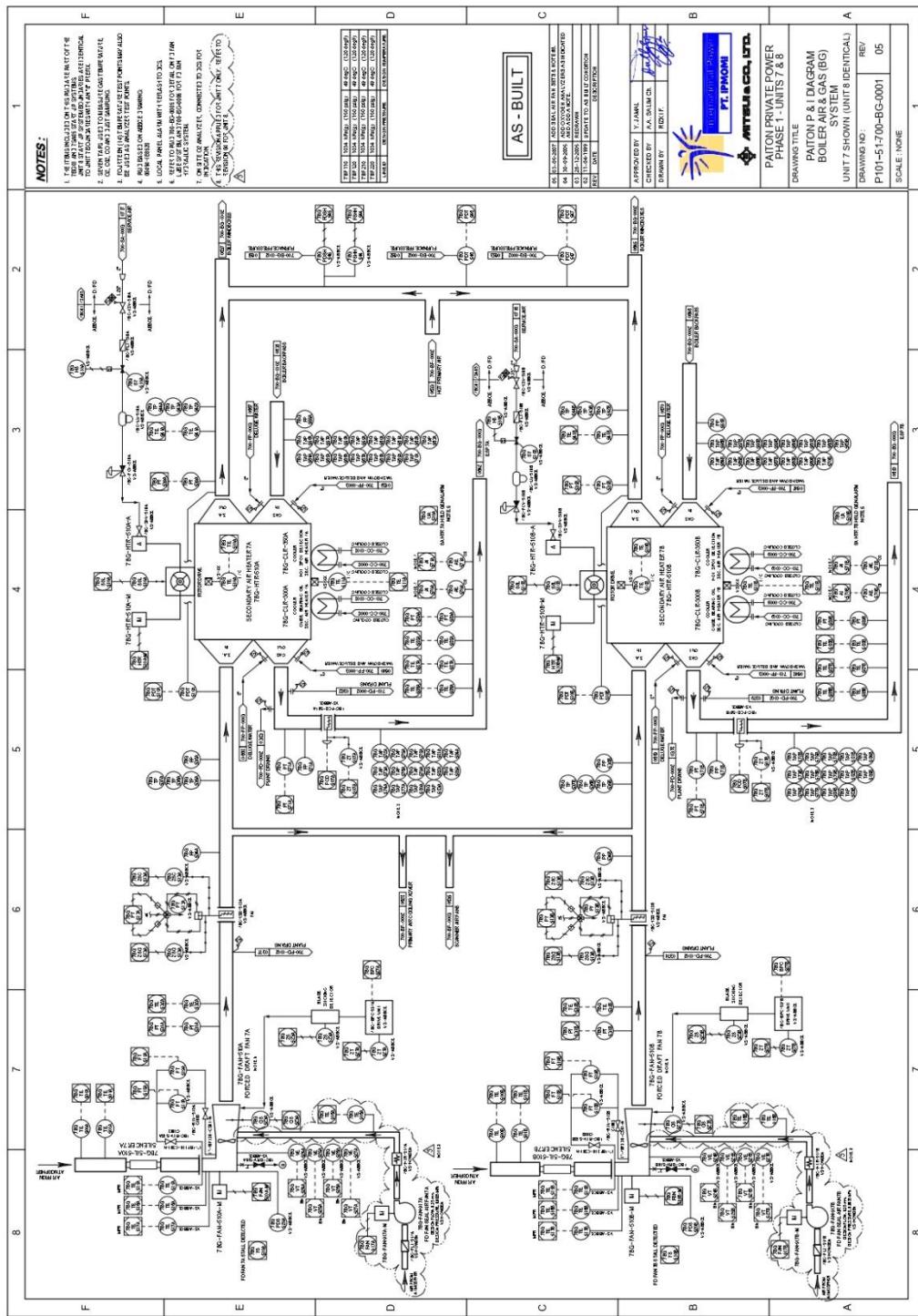
Giri Nugroho S.T., M.Sc

NIP. 19791029 201212 1 002

Lampiran 7 Primary Air Preheater PnID



Lampiran 8 Secondary Air Preheater PnID



Lampiran 9 Spesifikasi Air Preheater

5.8 SECONDARY AIR PREHEATERS

GENERAL:

Equipment No.: BG-HTR-510A/B
 P&ID No.: P101-51-700-BG-0001
 TCD No.: P101-15-1701.00-0101
 Manufacturer: ABB Air Preheater (Lungstrom)

EQUIPMENT DATA:

Type: Regenerative
 Rotating Speed: .92 rpm

ELECTRIC MOTOR

Manufacturer: Reliance
 Speed: 1500 rpm
 Rated Power: 22.4 kW
 Voltage: 380

5.9 PRIMARY AIR PREHEATER

GENERAL:

Equipment No.: BF-HTR-600
 P&ID No.: P101-51-700-BF-0002
 TCD No.: P101-15-1701.00-0101
 Manufacturer: ABB Air Preheater (Lungstrom)
 Quantity: One

EQUIPMENT DATA:

Type: Regenerative
 Rotating Speed: 1.04

ELECTRIC MOTOR

Manufacturer: Reliance
 Speed: 1500 rpm
 Rated Power: 14.9 kW
 Voltage: 380

Lampiran 10 Luaran SOP/Maintenance

PROSEDUR PEMELIHARAAN

3.1. AIR PREHEATER

3.1.1. PEMELIHARAAN AIR PREHEATER

Pengecekan peralatan dilakukan setiap jadwal PM yang dikeluarkan oleh rendal Har untuk teknisi (eksekutor).

1. Izin operator/ loto bila diperlukan
2. Persiapan tools dan material yang diperlukan
3. Periksa dan bersihkan sistem penggerak
4. Periksa sistem pelumas bearing dan sistem pendingin, bersihkan sight glass
5. Periksa temperatur bearing dan vibrasi bearing.
6. Periksa visual kondisi inlet dan outlet duct fan.
7. Cleaning cover bearing dan poros actuator damper
8. Periksa visual baut pengikat

3.1.2. INSPEKSI AIR PREHEATER

Inspeksi setidaknya harus dilakukan sekali dalam setahun, berikut adalah beberapa inspeksi yang harus dilakukan.

- 1) Tagging sistem
- 2) Persiapan tool
- 3) Pastikan temperature Air Preheater dibawah 45°C
- 4) Stop Air Preheater
- 5) Buka manhole Air Preheater
- 6) Tunggu temperatur Air Preheater berkisar 30°C - 40°C
- 7) Ambil data awal clearance
 - a. Radial Seal Hot end & cold end
 - b. Axial Seal Hot end & cold end
 - c. Bypass Seal Hot end & cold end
- 8) Drain oli support bearing dan guide bearing
- 9) Lakukan pengecekan support bearing dan guide bearing jika rusak lakukan penggantian
- 10) Lakukan cleaning line - line oli support bearing dan guide bearing
- 11) Lakukan pengecekan Ducting Ducting Air Preheater
- 12) Lakukan penggantian Ducting Air Preheater dan lakukan pengelasan jika ada kebocoran
- 13) Inspeksi bypass seal, tie bar (ganti bila ada kerusakan)

- 14) Inspeksi gearbox (ganti 1 set gear dan atau 1 seat bearing bila ada kerusakan)
- 15) Lakukan pencucian basket elemen Hot end, Intermediet dan Cold end
- 16) Lakukan penggantian Seal Seal piston sector plate
- 17) Lancarkan swing sootblower Air Preheater
- 18) Lakukan penyetingan radial Seal axial Seal ByPass Seal
- 19) Tutup Manhole

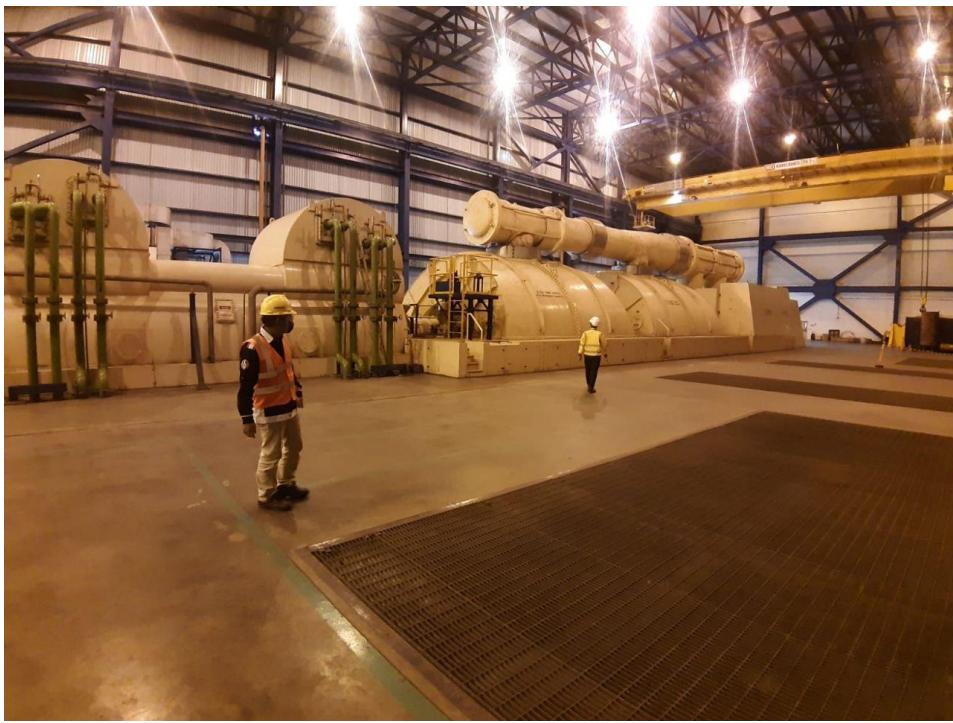
1. Vibrasi

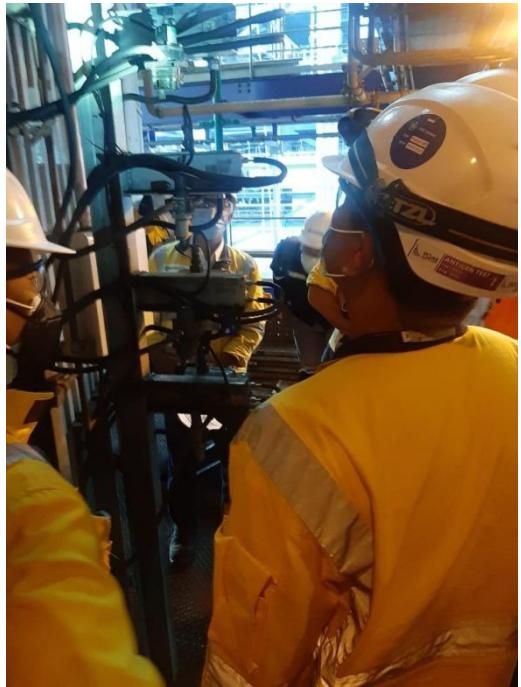
Air Preheater akan beroperasi dengan baik selama normal operasi dan selama tidak ada deposit yang menempel pada Elemen Pemanas. Berikut adalah penyebab vibrasi yang harus diperiksa jika Air Preheater vibrasi

- a) Kegagalan bearing
- b) Kegagalan koupling
- c) Baut longgar
- d) Masalah kelistrikan, dalam hal ini getaran akan hilang seketika saat motor drive dimatikan.

2. Pelumasan

- 1) Bearing (Dodge RT 20 Sleevoil pillow blocks 178mm Dia)
 - a) Viskositas oli SAE 20- Sus 348 @38°C Sus 57 @99°C
 - b) Kuantitas oli 9.5 liter
 - c) Pengisian oli melalui lubang yang berada diatas rumah bearing.
 - d) Level oli bearing harus dilakukan pengecekan setiap 8 jam sekali. Dan penggantian oli dilakukan setiap 6 bulan sekali.
- 2) Kopling (Falk type G 31 Size 1045G)
 - a) Kisaran temperatur -34°C sampai +93°C
 - b) Type grease NLGI #1
 - c) Maksimal temperatur 149°C
 - d) Tekstur halus atau berserat
 - e) Kuantitas grease 13,6 kg
 - f) Pengisian grease dengan cara buka plug di sleeve dan setelah di isi pasang plug kembali.

Lampiran 11 Kegiatan Magang





Lampiran 12 Certificate

Lampiran 13 Nilai Pembimbing Departemen

Form Penilaian dari Pembimbing Lapangan / Mitra
 Nama Mahasiswa : Dhewana Alnafis Han
 Nama Mitra/Industri : PT. Paiton Operation & Maintenance Indonesia
 Nama Pembimbing Lapangan: Bpk. Hamam Suhaily

NO	KOMPONEN	NILAI	KRITERIA PENILAIAN					
			<56	56-60	61-65	66-75	75-85	≥86
1	Kehadiran	85	<82%	82-84%	85-90%	89-91%	92-95%	>95%
2	Ketepatan waktu kerja*	85	<82%	82-84%	85-90%	89-91%	92-95%	>95%
3	Bekerja sesuai Prosedur dan K3 **	90	<82%	82-84%	85-90%	89-91%	93-95%	>95%
4	Sikap positif terhadap atasan/pembimbing	80	SKB	KB	CB	B	BS	SBS
5	Inisiatif dan solusi kerja	85	SKB	KB	CB	B	BS	SBS
6	Hubungan kerja dengan pegawai/lingkungan	85	SKB	KB	CB	B	BS	SBS
7	Kerjasama tim	85	SKB	KB	CB	B	BS	SBS
8	Mutu pelaksanaan pekerjaan	80	SKB	KB	CB	B	BS	SBS
9	Target pelaksanaan pekerjaan	90	<56%	56-60%	61-65%	66-75%	75-85%	≥86%
10	Kontribusi peserta terhadap pekerjaan	80	<56%	56-60%	61-65%	66-75%	75-85%	≥86%
11	Kemampuan mengimplementasikan Alat	80	<56%	56-60%	61-65%	66-75%	75-85%	≥86%
	Jumlah Nilai	84,09	Nilai Akhir PL = \sum Nilai/11					

*)Kehadiran **) Ketepatan Waktu
 SKB : sangat kurang baik; KB : kurang baik ; CB: cukup baik; B : baik ; BS : Baik sekali; SBS : sangat baik sekali
 ABSENSI KEHADIRAN MAGANG
 a. Izin : 1 hari b. Sakit : ... hari c. Tanpa Izin : ... hari
 Probolinggo, 4 Juli 2022

Pembimbing Magang,
 Hamam Suhaily,



(HAMAM SUHAILY)

Lampiran 14 Nilai Pembimbing Departemen

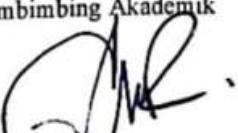
PENILAIAN DOSEN PEMBIMBING MAGANG INDUSTRI

Nama Mahasiswa : Dhewana Alnafis Han
 NRP : 10211910010008
 Dosen Pembimbing : GIRI NUGROHO, ST., M.Sc,
 Nama Industri : PT. PAITON OPERATION & MAINTENANCE
 Waktu Magang : 5 April 2022 – 3 Mei 2022

Kriteria	Bobot SKS (setara)	Nilai (0-100)
Luaran 1 (Video Dokumentasi)	3	
Luaran 2 (Rekomendasi/Desain/Analisis)	3	
Luaran 3 (SOP Pekerjaan/Maintenance)	3	
Proposal Penelitian	2	
Laporan Eksekutif	2	
Presentasi Akhir di Tempat Magang	1	
Total	14	87

$$\text{Nilai Akhir Dosen} = \frac{\sum \text{Nilai} \times \text{Bobot}}{14}$$

Surabaya, Juli 2022
Pembimbing Akademik



Giri Nugroho, ST., M.Sc
NIP. 19791029 201212 1 002