



LAPORAN MAGANG INDUSTRI – VM 191667

**ANALISIS VARIASI PENGGUNAAN BATUBARA TERHADAP
EFISIENSI BOILER PADA PLTU PAITON UNIT 8**

PT. Paiton Operation & Maintenance Indonesia

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

Timur. 67291

Penulis:

Immadudin Prima Sudewa

NRP 10211910010027

Dosen Pembimbing :

Giri Nugroho, S.T., M.Sc

NIP. 19620216 199512 1 001

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

2022

**LAPORAN MAGANG INDUSTRI
DEPARTEMEN PRODUCTION**

**ANALISIS VARIASI PENGGUNAAN BATUBARA TERHADAP
EFISIENSI BOILER PADA PLTU PAITON UNIT 8**



Disusun oleh :

Immadudin Prima Sudewa

NRP. 10211910010027

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

2022



**LAPORAN
MAGANG**

PT. PAITON OPERATION & MAINTENANCE INDONESIA

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

Penulis:

Immadudin Prima Sudewa

NRP : 10211910010027

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



LEMBAR PENGESAHAN

**LAPORAN PRAKTEK KERJA INDUSTRI
PT. PAITON OPERATION & MAINTENANCE INDONESIA**

**ANALISIS VARIASI PENGGUNAAN BATUBARA TERHADAP
EFISIENSI BOILER PADA PLTU PAITON UNIT 8**

Periode
4 April 2022 – 5 Mei 2022

Oleh :
Immadudin Prima Sudewa

NRP :
10211910010027

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

**Menyetujui,
Pembimbing Lapangan, Departemen
Production**

Hamam Suhaily

**Mengetahui,
FCS Manager**

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,

Immadudin Prima Sudewa

NRP. 10211910010027

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Mesin
Industri Fakultas Vokasi, ITS



Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.
NIP. 19620216 199512 1 001

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 Pengaruh Penggunaan Batubara Terhadap Efisiensi Boiler Pada PLTU Paiton Unit 8”.

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. Allah SWT, yang telah memberikan hidayah dan kelancaran dalam pembuatan laporan ini.
2. Orang tua dan keluarga, yang selalu memberikan doa serta dukungan.
3. Bapak Hamam Suhaily, ST. selaku pembimbing lapangan dan Performance Engineer yang telah banyak membantu dalam membimbing mahasiswa dalam pelaksanaan magang industri di Divisi Production PT. POMI.
4. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri
5. Bapak Giri Nugroho, ST., M.Sc, selaku pembimbing yang memberikan bimbingan kepada penulis dalam pembuatan laporan ini.
6. Seluruh karyawan PT. POMI khususnya tim karyawan Divisi Production PT.POMI yang telah banyak memberi pengalaman, ilmu dan masukan untuk penulis.
7. 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.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
BAB I.....	1
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
BAB IV HASIL MAGANG.....	13
4.1 Siklus PLTU.....	13
4.2 Boiler.....	14

4.3	Type - Tipe Boiler.....	15
4.4	Batubara	20
4.5	Efisiensi Boiler.....	21
4.5.1	Metode Direct	22
4.5.2	Metode Tidak Langsung	24
4.6	Diagram Sankey	28
4.7	Specific Fuel Consumption (SFC).....	29
4.8	Plant Heat Rate	29
4.8.1	Gross Plant Heat Rate	30
4.8.2	Nett Plant Heat Rate.....	30
4.9	Thermal Efficiency	31
4.10	Data Kinerja Boiler	31
4.11	Data Batubara.....	32
4.12	Metode Penelitian	34
4.12.1	Diagram Alir Menghitung Efisiensi Boiler Metode Direct.....	34
4.12.2	Diagram Alir Menghitung Efisiensi Boiler Metode Indirect	35
4.12.3	Diagram Alir Menghitung Performa Boiler dan Plant	36
4.13	Hasil dan Pembahasan	37
4.13.1	Perhitungan Efisiensi Boiler Metode Direct	37
4.13.2	Perhitungan Efisiensi Boiler Metode Indirect.....	38
4.13.3	Perhitungan Specific Fuel Consumption (SFC) Boiler	42
4.13.4	Perhitungan Gross Plant Heat Rate (GPHR).....	42
4.13.5	Perhitungan Nett Plant Heat Rate (NPHR)	42
4.13.6	Perhitungan Thermal Efficiency	43
4.14	Analisis Efisiensi Boiler	43
4.14.1	Analisis Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara KPC Coal	44
4.14.2	Analisis Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara Kideco	45
4.14.3	Analisis Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara Adaro.....	47

4.15	Analisis Plant Heat Rate	48
4.16	Analisis Thermal Efficiency	49
4.17	Diagram Sankey	50
4.18	Metode Pengurangan Losses.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN.....		58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tren Peningkatan Konsumsi Listrik pada Negara OECD dan Non-OECD Seiring Pertumbuhan Populasi Global.....	3
Gambar 2. 2 Project Structure PLTU milik PT. Paiton Energy	5
Gambar 2. 3 Pemegang Saham PT Paiton Energi	5
Gambar 2. 4 Struktur Organisasi PT. Paiton Operation & Maintenance (POMI).....	6
Gambar 3. 1 Penempatan Lokasi Magang.....	9
Gambar 4. 1 Siklus Rankine (a) dan Diagram Temperature-Entropy pada Siklus Rankine Ideal (b) [3].....	13
Gambar 4. 2 Two Pass Once Through Boiler [6]	16
Gambar 4. 3 Single Pass Once Through Boiler [6]	16
Gambar 4. 4 Skema Natural Circulating Boiler (a) dan Skema Forced Circulating Boiler (b) [6]	17
Gambar 4. 5 Reaktor Fluidized Bed [8]	18
Gambar 4. 6 Kondisi Tipikal Fluidized Bed [6].....	18
Gambar 4. 7 Cochran Fire Tube Boiler [6]	19
Gambar 4. 8 Water Tube Boiler [6].....	20
Gambar 4. 9 Klasifikasi Batubara Berdasarkan Peringkatnya	21
Gambar 4. 10 Peringkat Batubara yang Digunakan Oleh PT. POMI Diklasifikasikan sebagai Sub Bituminous	21
Gambar 4. 11 Skema Input dan Output Perhitungan Metode Direct.....	22
Gambar 4. 12 Diagram Sankey	29
Gambar 4. 13 Diagram Alir Menghitung Efisiensi Boiler Metode Direct	34
Gambar 4. 14 Diagram Alir Menghitung Efisiensi Boiler Metode Indirect.....	36
Gambar 4. 15 Diagram Alir Menghitung Performa Boiler dan Plant	37
Gambar 4. 16 Diagram Sankey Losses Boiler.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kegiatan Magang.....	10
Tabel 4. 1 Data Input dan Output Boiler	31
Tabel 4. 2 Data Chemical Properties Batubara.....	32
Tabel 4. 3 Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara dengan Metode Direct	38
Tabel 4. 4 Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara dengan Metode Indirect.....	41
Tabel 4. 5 GPHR terhadap Penggunaan Produk Batubara	42
Tabel 4. 6 NPHR terhadap Penggunaan Produk Batubara	42
Tabel 4. 7 Thermal Efficiency terhadap Penggunaan Produk Batubara.....	43

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Perbandingan Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler Metode Direct dengan Indirect	43
Grafik 4.2 Losses Boiler Penggunaan Batubara KPC Coal.....	44
Grafik 4.3 Losses Boiler Penggunaan Batubara Kideco Coal.....	46
Grafik 4.4 Losses Boiler Penggunaan Batubara Adaro Coal	47
Grafik 4.5 Plant Heat Rate terhadap Penggunaan Produk Batubara	49
Grafik 4.6 Efisiensi Thermal terhadap Penggunaan Produk Batubara.....	49

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.

Dalam kegiatan Magang penulis memilih untuk melakukan Magang di salah satu perusahaan operator pembangkit PT. Paiton Operatin & Maintenance. Perusahaan tersebut merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang operasi dan perawatan PLTU Paiton Unit 3, Unit 7, dan Unit 8.

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:

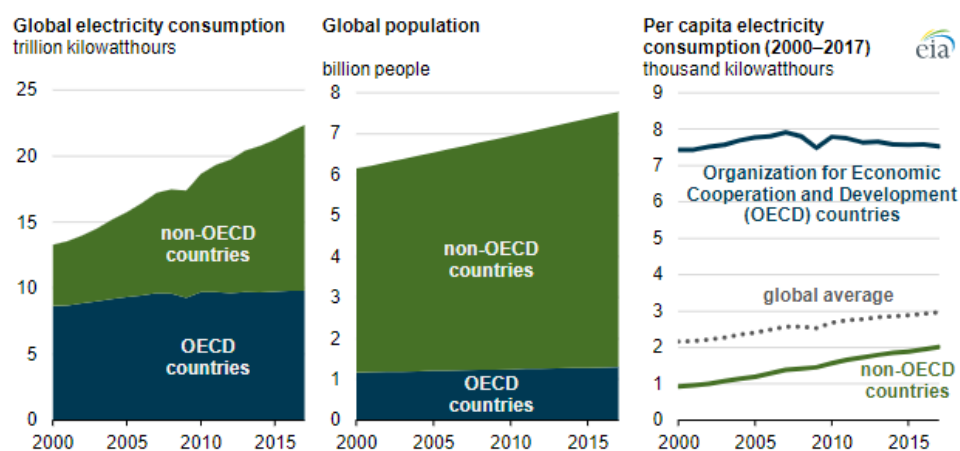
1. Mahasiswa terbiasa mempunyai sikap disiplin, tanggung jawab dan kreatif terhadap apa yang dikerjakan.
2. Mahasiswa mampu mempunyai alternatif pemecahan masalah sesuai dengan program studi yang dipilihnya secara luas mendalam.
3. Meningkatkan dan memahami manfaat pengembangan pelajaran yang didapat 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.



Gambar 2. 1 Tren Peningkatan Konsumsi Listrik pada Negara OECD dan Non-OECD Seiring Pertumbuhan Populasi Global [1]

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 penyediaan 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 berbahan 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 kebijakan 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 berbahan bakar batubara. Bilamana kemampuan beroperasi 90% dalam setahun maka perkiraan total energi yang dihasilkan adalah 6,425,460 MWH / tahun dan mengonsumsi 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. 2 Project Structure PLTU milik PT. Paiton Energy [2]

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. 3 Pemegang Saham PT Paiton Energi [2]

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 pendelegasian tugas dan wewenang pada anggota organisasi, dengan demikian akan membantu kelancaran aktivitas organisasi tersebut.

Struktur organisasi PT. POMI adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Struktur Organisasi PT. Paiton Operation & Maintenance (POMI) [2]

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

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

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 dibawah 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

BAB III PELAKSANAAN MAGANG

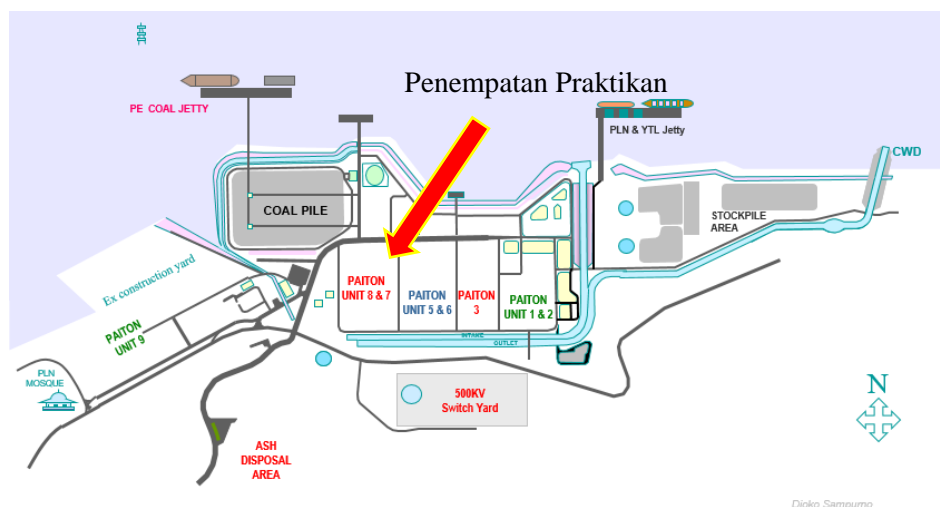
3.1 Pelaksanaan dan Ketentuan Magang Industri

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, PLTU Paiton Unit 8
It. 4, Jl. Raya Surabaya – Situbondo KM 141 Paiton,
Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. 67291



Gambar 3. 1 Penempatan Lokasi Magang [3]

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.

Tabel 3. 1 Kegiatan Magang

No	Tanggal	Waktu	Kegiatan	Keterangan
1	Senin, 4 April 2022	16.00-17.00	Pengenalan	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	08.30-11.00	Belajar Mandiri Terkait Boiler	WFH, Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
4	Kamis, 7 April 2022	08.30-11.00	Belajar Mandiri Terkait Boiler	WFH, Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
5	Jum'at, 8 April 2022	08.30-11.00	Belajar Mandiri Terkait Boiler	WFH, 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	08.30-11.00	Belajar Mandiri Terkait Komponen Boiler	WFH, Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical
8	Rabu, 13 April 2022	16.00-17.00	Diskusi dengan pembimbing	Pertemuan online, membahas perihal komponen pada unit pembangkit subcritical
9	Kamis, 14 April 2022	08.30-11.00	Belajar Mandiri Terkait Komponen Boiler	WFH, Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical
10	Jum'at, 15 April 2022	08.30-11.00	Belajar Mandiri Performansi Boiler	WFH, 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	08.30- 14,00	Pengerjaan Tugas Khusus	WFH, Pencarian Studi Literatur Terkait kinerja Boiler dan klasifikasinya
17	Selasa, 26 April 2022	08.30- 14.00	Pengerjaan Tugas Khusus	WFH, Pencarian Studi Literatur Terkait Perhitungan Efisiensi Boiler
18	Rabu, 27 April 2022	08.30- 14.00	Pengerjaan Tugas Khusus	WFH, Perhitungan Performa dan Efisiensi Boiler
19	Kamis, 28 April 2022	08.30- 14.00	Pengerjaan Tugas Khusus	WFH, Perhitungan SFC, NPHR, thermal efficiency, dan prioritas diagram Sankey
20	Jum'at, 29 April 2022	15.30- 17.00	Penyusunan Laporan Akhir Magang Industri	Penyusunan Laporan serta pemaparan hasil perhitungan efisiensi boiler

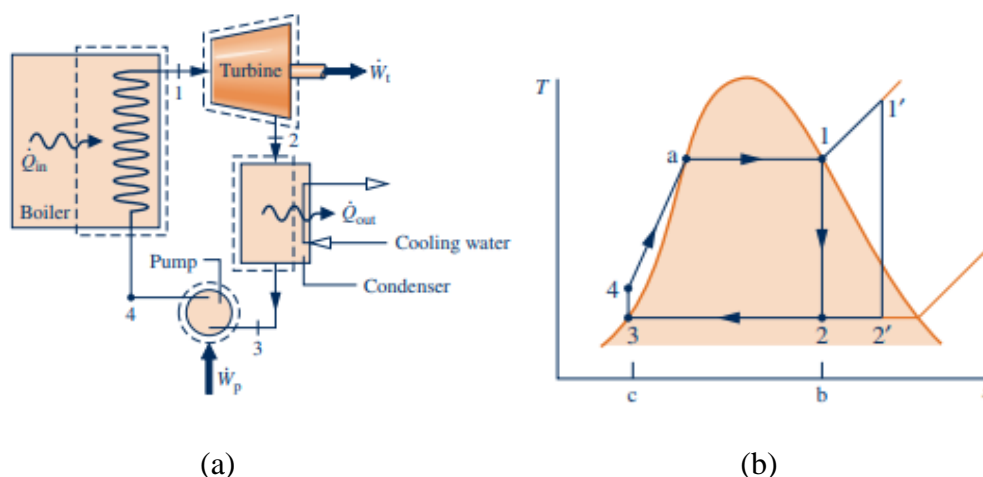
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL MAGANG

4.1 Siklus PLTU

Pembangkit listrik merupakan proses perubahan bentuk satu energi ke bentuk energi lain dimana sebagai produknya berupa energi listrik. PLTU mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas yang ditransfer ke air pengisi sehingga menjadi energi kinetik pada uap yang kemudian uap tersebut digunakan untuk memutar turbin, dari putaran poros turbin menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik [4].

PLTU mengikuti sebuah proses siklus (proses keliling) yang disebut siklus Rankine. Siklus Rankine adalah siklus cair – uap, yang merupakan dasar dari sistem pembangkitan tenaga uap. Diagram sederhana siklus dari siklus air dan uap pada sebuah PLTU dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 1 Siklus Rankine (a) dan Diagram Temperature-Entropy pada Siklus Rankine Ideal (b) [5]

Pada gambar 4.1, umumnya pada siklus Rankine terdiri dari 4 komponen utama, yaitu pompa, boiler, turbin, dan kondensor. Berikut adalah penjelasan dari setiap masing-masing state,

- State 1 => State 2

Air dari hasil kondensasi dipompakan untuk menaikkan tekanan air. Daya masuk pompa dikonversi menjadi energi potensial berupa tekanan pada air. Besarnya daya masuk ini dirumuskan dalam,

$$W_{pump,in} = v \times (P_2 - P_1)$$

$$W_{pump,in} = h_2 - h_1$$

dimana, v = volume spesifik fluida
 h_1 = entalphy fluida cair pada state 1
 h_2 = entalphy fluida cair pada state 2

- State 2 => State 3

Terjadi pemanasan work fluid dari state 2 yang berfasa cair ke state 3 yang berfasa uap. Hal ini terjadi di boiler yang membutuhkan kalor (Q_{in}) untuk merubahnya.

$$Q_{in} = h_3 - h_2$$

dimana, h_2 = entalphy fluida cair pada state 2
 h_3 = entalphy fluida uap pada state 3

- State 3 => State 4

Terjadi perubahan atau konversi energi dari tekanan uap menjadi energi kinetik pada turbin. Sehingga terjadi bangkitan daya (W_{out}) dan penurunan tekanan uap.

$$W_{turbin,out} = h_3 - h_4$$

dimana, h_3 = entalphy fluida uap pada state 3
 h_4 = entalphy fluida uap pada state 4

- State 4 => State 1

Terjadi proses perubahan fasa dari state 4 yang berbentuk uap menjadi state 1 yang berbentuk cair. Hal ini terjadi di kondensor. Kondensor tidak memerlukan kalor, sebaliknya justru mengeluarkan kalor untuk merubah fasa dari uap menjadi cair.

$$Q_{out} = h_4 - h_1$$

dimana, h_4 = entalphy fluida uap pada state 4
 h_1 = entalphy fluida cair pada state 1

4.2 Boiler

Boiler adalah suatu bejana tertutup yang mampu mengubah air menjadi *steam* (uap) dengan bantuan panas dari proses pembakaran bahan bakar yaitu batubara. Boiler secara efisien dapat mengubah air menjadi *steam* yang sangat panas dalam volume yang besar. *Steam* tersebut akan digunakan untuk menggerakkan turbin yang dikopel dengan generator. Generator adalah alat untuk membangkitkan listrik. Energi termal yang dihasilkan kemudian dipindahkan ke fluida kerja yaitu air/ *feedwater* untuk memproduksi uap yang digunakan untuk berbagai keperluan. Selain banyak digunakan pada unit pembangkitan termal

khususnya PLTU, boiler juga digunakan pada pabrik-pabrik gula dan kelapa sawit sebagai penyedia uap untuk berbagai proses, seperti penggerak turbin uap untuk keperluan operasional, *cleaning*, automasi minyak, pemanasan/pengeringan bahan baku, penguapan.

Sistem kerja boiler terdiri dari sistem air umpan/air pengisi boiler, sistem uap, sistem bahan bakar serta sistem udara pembakaran dan gas buang. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Sistem uap berfungsi untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Sistem bahan bakar merupakan semua peralatan yang digunakan dalam menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan energi panas yang dibutuhkan, seperti *coal handling system* pada bahan batu bakar, *oil handling system* pada bahan minyak, dan *natural gas system* pada boiler bahan bakar natural gas. Sistem udara pembakaran dan gas buang merupakan semua peralatan yang digunakan dalam menyediakan udara sebagai suplai untuk pembakaran serta membuang dan mengontrol gas hasil pembakaran ke atmosfer [6].

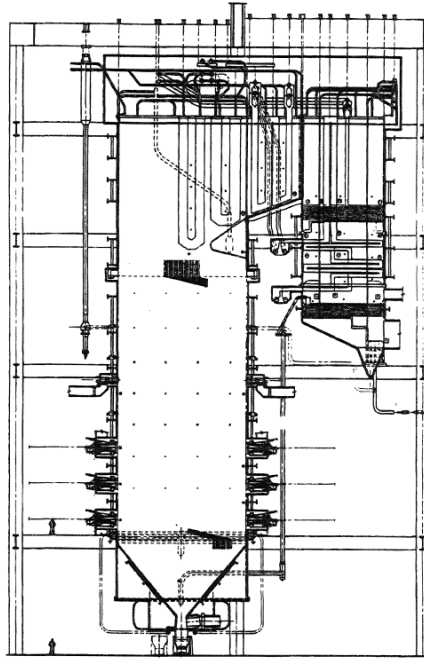
4.3 Tipe - Tipe Boiler

Tipe-tipe boiler dapat dibedakan menurut tujuan dan konstruksinya, daerah yang mengalami pemanasan, dan dinding penyangganya. Berdasarkan pada tujuan dan konstruksinya umumnya boiler dibedakan menjadi empat:

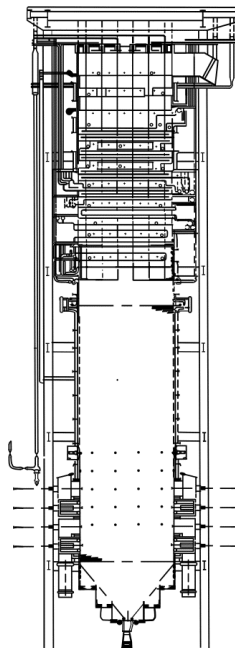
1. *Once-Through boiler*

Boiler ini berbeda dengan unit boiler *force circulating* ataupun *natural circulating*, dicirikan oleh jalur aliran kontinu dari *inlet evaporator* ke *outlet superheater* tanpa penggunaan komponen *steam drum*. Mereka hampir secara eksklusif digunakan untuk produksi uap sehubungan dengan pembangkit listrik utilitas, dan telah menjadi desain paling populer di Eropa dan Skandinavia selama bertahun-tahun [7].

Boiler *once through* umumnya dikaitkan pada operasi tekanan supercritical. Salah satu contoh penggunaannya adalah pada Unit 3 PLTU Paiton yang diproduksi oleh Mitsubishi Power.



Gambar 4. 2 Two Pass Once Through Boiler [8]



Gambar 4. 3 Single Pass Once Through Boiler [8]

2. *Drum Type Boiler*

Dalam boiler *drum type*, sirkulasi air dihasilkan melalui perbedaan densitas air di pipa bawah (*downcomer*) dan campuran air/uap di dalam *waterwall tube* boiler [9]. Berdasarkan aliran airnya, *drum type* boiler dibagi menjadi dua yaitu

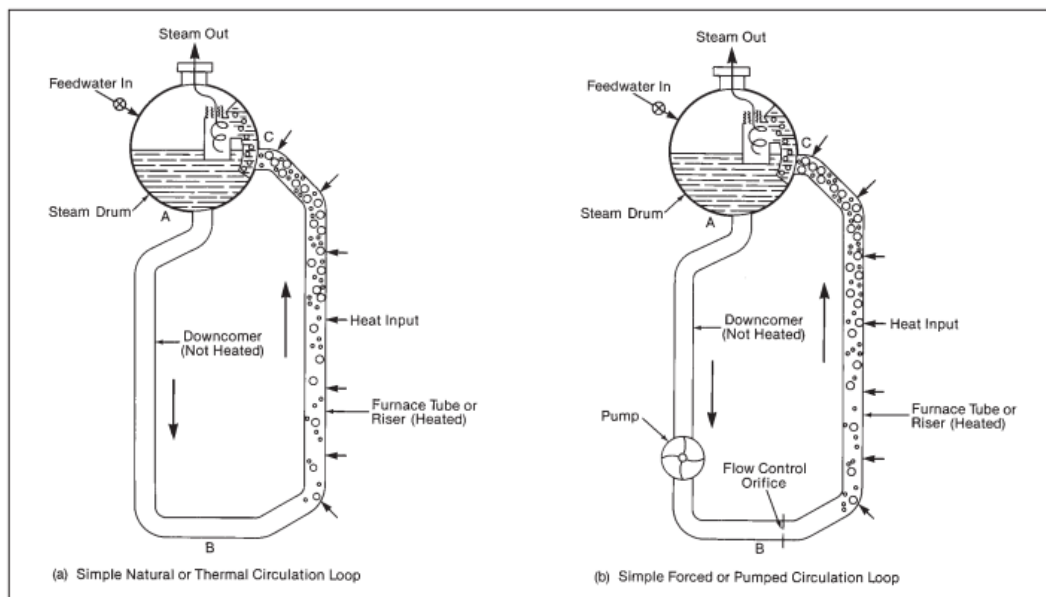
1. *Natural circulation*

Dalam boiler bertekanan rendah di mana perbedaan densitas ini besar, gaya sirkulasi dan volume sirkulasi yang tinggi dapat dipastikan. Maka

dari itu, sirkulasi air sepenuhnya memanfaatkan perbedaan densitas yang terjadi.

2. *Forced circulation*

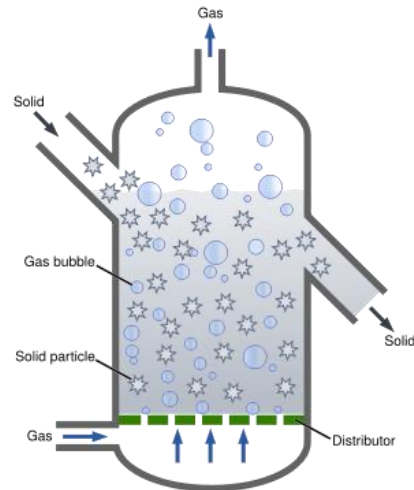
Berbeda dengan natural circulation, forced circulation menggunakan sebuah pompa untuk menambah gaya sirkulasi. Pompa ini disebut dengan *Boiler Circulating Pump* (BCP). Penambahan pompa ini terjadi karena ketika operasi pada tekanan tinggi, perbedaan densitas antara kedua turun. Salah satu contoh penggunaannya adalah pada Unit 7 dan Unit 8 PLTU Paiton.



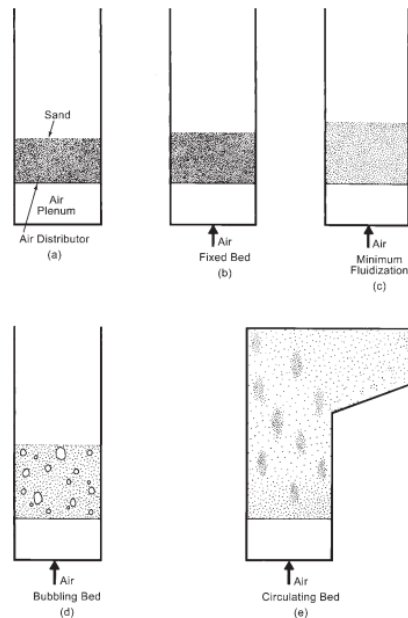
Gambar 4. 4 Skema Natural Circulating Boiler (a) dan Skema Forced Circulating Boiler (b) [8]

3. *Fluidized Bed Boiler*

Fluidized bed boiler merupakan boiler yang dimana bahan bakarnya sulit untuk di pulverasi atau sulit terbakar. Secara teori, boiler ini memanfaatkan fenomena fluidisasi dimana granular benda padatan di-“cairkan” dengan penambahan dan pencampuran gas atau cairan. Dengan bantuan aliran gas atau fluida, efek aerodinamika (pada gas) atau efek pascal (pada liquid) ketika penambahan di dalam reactor bertemu dengan granular padatan sehingga untuk granular dengan densiti yang lebih rendah akan terbawa bersama gas atau liquid menuju ke furnace [10].



Gambar 4. 5 Reaktor Fluidized Bed [10]



Gambar 4. 6 Kondisi Tipikal Fluidized Bed [8]

Umumnya, boiler jenis ini digunakan untuk proses *start up* pada industri atau kepentingan pembangkitan uap dengan pembakaran temperatur rendah. Keuntungan penggunaan boiler jenis ini diantaranya,

1. Fleksibilitas bahan bakar yang tinggi
2. Hasil NO_x yang rendah

4. *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*

HRSG atau juga disebut boiler limbah panas/*waste heat boiler*, memanfaatkan panas sisa dari proses lain. Seperti halnya, HRSG pada instalasi PLTGU yang memanfaatkan energi panas dari gas buang turbin gas (dengan temperatur diatas 500°C) untuk menguapkan *feedwater* yang mengalir pada pipa-pipa HRSG. Uap

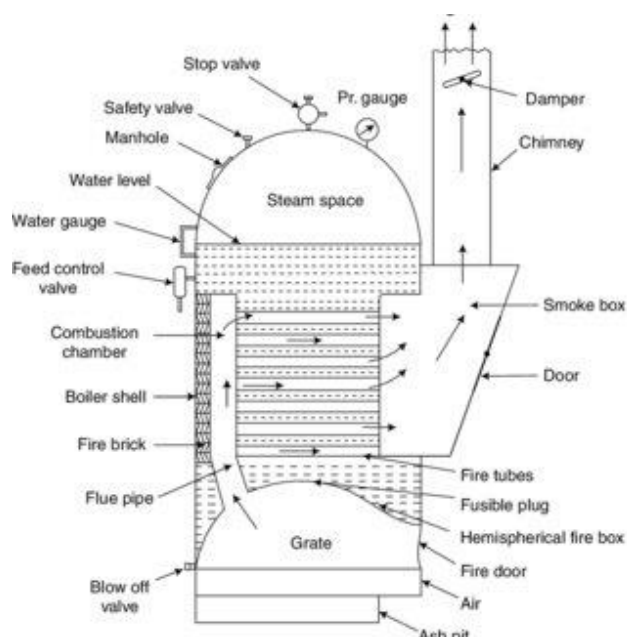
yang dihasilkan digunakan untuk memutar turbin yang satu poros dengan generator sehingga menghasilkan energi listrik yang diparalelkan dengan jaringan interkoneksi.

Berdasarkan daerah yang mengalami pemanasan, boiler dibedakan menjadi dua yaitu

1. *Fire Tube Boiler*

Pada *fire tube* boiler, gas panas hasil pembakaran mengalir melalui pipa-pipa yang dibagian luarnya yang diselimuti air sehingga terjadi perpindahan panas dari gas panas ke air dan air berubah menjadi uap. *Fire tube* boiler biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relatif kecil dengan tekanan steam rendah sampai sedang.

Fire tube boiler kompetitif untuk kapasitas steam sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm² (UNEP, 2008). Boiler jenis ini banyak digunakan di pabrik-pabrik gula karena tidak memerlukan tekanan uap yang tinggi. *Fire tube* boiler dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya.

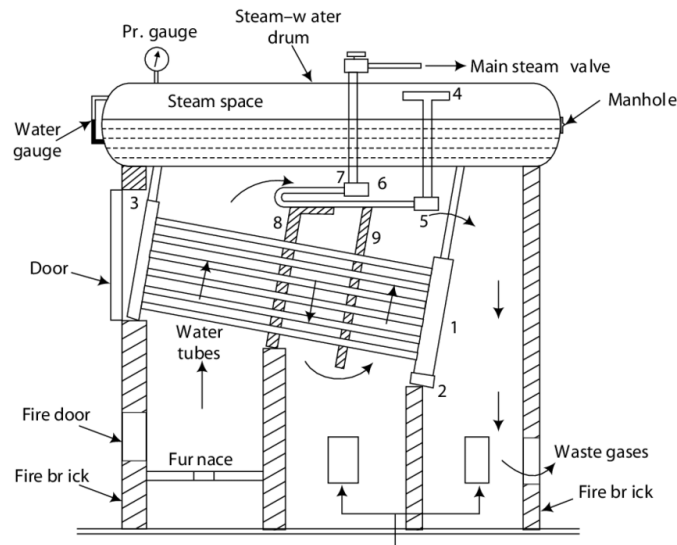


Gambar 4. 7 Cochran Fire Tube Boiler [8]

2. *Water Tube Boiler*

Pada boiler jenis ini, air berada di dalam pipa sedangkan gas panas berada di luar pipa. *Water tube* boiler dapat beroperasi dengan tekanan sangat tinggi (lebih dari 100 bar).

Water tube boiler dapat bekerja optimal pula serta sirkulasi air dan uap di dalam ketel juga berlangsung dengan baik. Boiler yang biasa digunakan pada instalasi pembangkitan tenaga listrik adalah jenis *water tube*.



Gambar 4. 8 Water Tube Boiler [8]

Berdasarkan dinding penyangganya, boiler dibedakan menjadi dua yaitu:

1. **Bottom Supported** yaitu boiler yang menggunakan sandaran dinding dibawah atau terletak di tanah.
2. **Top Supported** yaitu boiler yang menggunakan sandaran dinding atap atau menggantung.

4.4 Batubara

Batubara merupakan salah satu sumber energi fosil yang terbentuk dari senyawa-senyawa organik hasil sedimentasi makhluk hidup seperti tumbuhan, bakteri, spora, dan makhluk hidup lainnya selama berjuta-juta tahun [11]. Makhluk hidup yang telah mati akan mengalami berbagai proses alam seperti pembusukan dan pengendapan yang terakumulasi dalam suatu cekungan hingga membentuk batubara. Batubara mulai terbentuk sejak periode Carboniferous (periode pembentukan karbon atau batubara) yang dikenal sebagai zaman batubara pertama yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu [12].

Berdasarkan tipenya, ada empat tipe batu bara sesuai klasifikasinya menurut peringkat ASTM (*American Standard for Testing and Materials*) diantaranya,

1. *Peat & Lignite*

Spesifikasi, *carbon content* 25%-35%, *calorific value* < 4800 kCal/kg.

Merupakan batubara coklat, mempunyai peringkat yang paling rendah daripada batubara lainnya, dan hampir secara eksklusif digunakan untuk keperluan pembangkitan energi listrik.

2. *Sub-bituminous*

Spesifikasi, *carbon content* 35%-45%, *calorific value* 4800-5500 kCal/kg.

Digunakan sebagai bahan bakar pada proses pembangkitan di Paiton Energy power station.

3. *Bituminous*

Spesifikasi, *carbon content* 45%-86%, *calorific value* 5500-6200 kCal/kg.

Memiliki warna coklat, terkadang hitam.

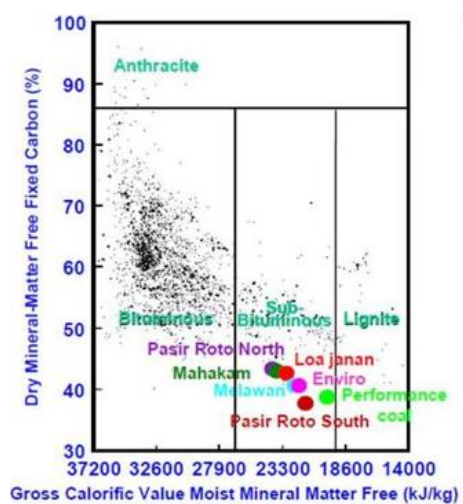
4. *Anthracite*

Spesifikasi, *carbon content* 86%-97%, *calorific value* > 6200 kCal/kg.

Memiliki warna hitam, biasa dipakai pada pemanas rumah atau bahan bakar dapur industri peleburan besi.



Gambar 4. 9 Klasifikasi Batubara Berdasarkan Peringkatnya [13]



Gambar 4. 10 Peringkat Batubara yang Digunakan Oleh PT. POMI Diklasifikasikan sebagai Sub Bituminous [13]

4.5 Efisiensi Boiler

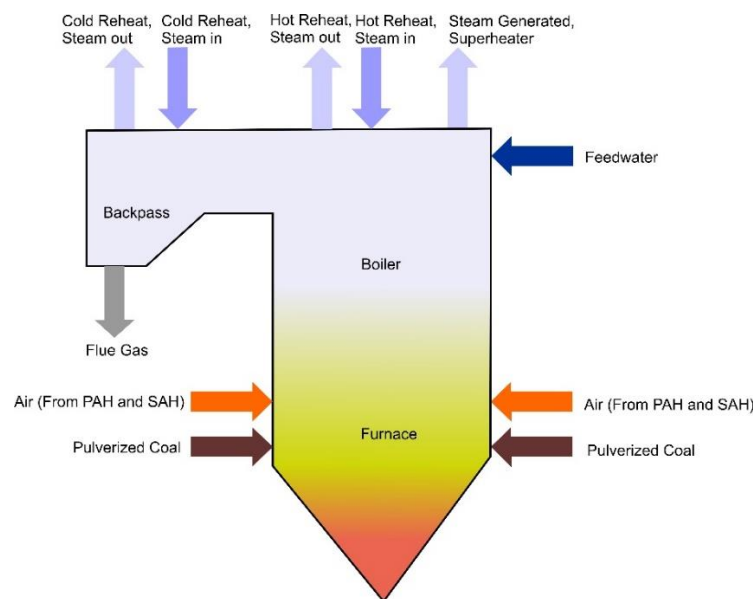
Efisiensi termis boiler didefinisikan sebagai persentase energi panas bahan bakar (*heat input*) yang digunakan secara efektif pada steam yang dihasilkan atau dengan

pengertian efisiensi yang lain, efisiensi pada boiler adalah prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja boiler yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke fluida kerja atau diserap oleh fluida kerja didalam boiler dengan masukan energi panas bahan bakar.

Berdasarkan *USA Standard ASME PTC 4-1 Power Test Code for Steam Generating Units* terdapat dua metode dalam mengevaluasi efisiensi boiler yaitu dengan menggunakan metode langsung (*direct*) dimana energi dipindahkan ke fluida kerja (air dan uap) dibandingkan dengan energi bahan bakar panas bahan bakar boiler. Kedua adalah dengan metode tidak langsung (*indirect*) dimana efisiensi merupakan perbedaan antara persentase panas yang masuk dan persentase kehilangan-kehilangan yang terjadi [14].

4.5.1 Metode Direct

Dikenal dengan metode input-output karena metode ini hanya memerlukan panas keluaran/output dan panas masuk/input untuk evaluasi efisiensi. Dimana output merupakan energi panas yang dipindahkan ke fluida kerja untuk memproduksi uap pada kondisi keluaran superheater dan panas masuk/input merupakan energi panas bahan bakar.



Gambar 4. 11 Skema Input dan Output Perhitungan Metode Direct

$$\text{Boiler Efficiency} = \frac{\text{panas masuk}}{\text{panas keluar}} \times 100\% \quad \dots (1)$$

$$\text{Boiler Efficiency} = \frac{Q \times (H-h) \times 100}{(q \times \text{GCV batubara})} \quad \dots (2)$$

dimana, Q = jumlah uap yang dihasilkan per jam (kg/jam)

q = jumlah batubara yang terpakai per jam (kg/jam)

GCV = *Gross Calorific Value* batubara (kCal/kg)

H = enthalpy uap (kCal/kg)

h = enthalpy *feedwater* (kCal/kg)

Parameter yang dipantau untuk perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung adalah:

- Jumlah steam yang dihasilkan per jam (Q) dalam kg/jam.
- Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (q) dalam kg/jam.
- Tekanan kerja (dalam kg/cm²(g)) dan suhu lewat panas (°C), jika ada
 - Suhu air umpan (°C)
- Jenis bahan bakar dan nilai panas kotor bahan bakar (GCV) dalam kkal/kg bahan bakar.

Adapun keuntungan metode langsung yaitu:

- Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi boiler.
- Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan
- Memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan
- Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data benchmark.

Kerugian metode langsung adalah;

- Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah.
- Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi

PLTU Paiton Unit 8 menggunakan boiler yang dilengkapi dengan economizer dan reheater guna meningkatkan efisiensi perpindahan panas boiler. Maka terdapat sedikit perubahan dan penambahan dari persamaan 1 untuk mencari efisiensi boiler dengan metode direct menjadi,

$$\text{Boiler efficiency} = \frac{\{(h_2 \times f_2) - (h_1 \times f_1) + (h_4 \times f_4) - (h_3 \times f_3)\} \times 100}{\dot{m}_{\text{batubara}} \times GCV \text{ batubara}} \dots (3)$$

dimana, h_1 = enthalpy air masuk economizer (kCal/kg)

- h_2 = enthalpy steam keluar superheater (kCal/kg)
 h_3 = enthalpy steam masuk cold reheat (kCal/kg)
 h_4 = enthalpy steam keluar hot reheat (kCal/kg)
 f_1 = flow boiler feedwater masuk economizer (TPH)
 f_2 = flow steam generated dari superheater (TPH)
 f_3 = flow steam masuk cold reheat (TPH)
 f_4 = flow steam keluar hot reheat (TPH)
 $\dot{m}_{batubara}$ = jumlah batubara yang dipakai dalam proses
 bangkitan listrik per jam (TPH)
 GCV = *Gross Calorific Value* batubara (kCal/kg)

4.5.2 Metode Tidak Langsung

Metode *indirect* adalah metode yang menggunakan selisih antara besar energi *input* dan *losses*. Metode ini biasanya disebut metode *heat losses*. Dalam menggunakan metode *indirect*, data yang dibutuhkan berupa *coal fired boiler* dan *fuel analysis*.

Pada data *coal fired boiler* terdapat jumlah bahan bakar yang masuk tiap jam, jumlah steam tiap jam, tekanan dan suhu *steam output*, suhu *feed water*, kandungan kadar CO₂ dan CO, suhu gas buang, suhu lingkungan, kelembapan udara lingkungan, suhu permukaan boiler, kecepatan angin disekitar boiler, total luas permukaan boiler, nilai GCV bottom ash dan *fly ash*. Pada data *fuel analysis* terdapat data kadar abu, karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, sulfur, dan nilai HHV dari batubara.

Pada standar ASME PTC 41, Ada 8 *heat losses* yang terdapat dalam boiler seperti pada:

- ***Heat loss due to dry flue gas (L₁)***

Kerugian panas ini merupakan penyumbang terbesar keseluruhan kerugian. Kerugian ini dapat dicari melalui persamaan,

$$L_1 = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \quad \dots (4)$$

dimana, L_1 = % heat loss due to dry flue gas
 m = massa dry flue gas dalam

kg/kg batu bara

C_p = kalor spesifik flue gas dalam
kCal/kg°C

T_f = temperature flue gas dalam °C

T_a = temperature ambient dalam °C

- ***Heat loss due to evaporation of water formed due to H_2 in fuel (L_2)***

Produk pembakaran dari hidrogen adalah air. Air ini menjadi losses karena ia akan berubah menjadi uap dan membawa panas pembakaran dalam bentuk panas laten.

Kerugian ini dapat dihitung dengan persamaan,

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times \{584 + C_p(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \quad \dots (5)$$

dimana, L_2 = % heat loss due to evaporation of
water formed due to H_2 in fuel

H_2 = jumlah hydrogen dalam 1 kg
batubara dalam kg

C_p = kalor spesifik dari superheated
steam dalam kCal/kg°C

T_f = temperatur flue gas dalam °C

T_a = temperatur ambient dalam °C

584 = (Latent heat corresponding to
partial pressure of water vapour)

- ***Heat loss due to moisture present in fuel (L_3)***

Kerugian ini dapat dihitung menggunakan persamaan,

$$L_3 = \frac{M \times \{584 + C_p(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \quad \dots (6)$$

dimana, L_3 = % heat loss due to moisture present
in fuel

M = kg moisture dalam 1 kg batubara

- C_p = kalor spesifik dari superheated steam dalam kCal/kg^oC
- T_f = temperature flue gas dalam ^oC
- T_a = temperature ambient dalam ^oC
- 584 = (*latent heat corresponding to partial pressure of water vapour*)

- ***Heat loss due to moisture present in air (L₄)***

Kelembapan dalam udara masuk dapat berubah menjadi uap saat masuk kedalam boiler. Uap ini akan memerangkap kalor boiler dalam bentuk panas katen dan terus terbawa hingga ke stack. Sehingga kerugian jenis ini perlu dipertimbangkan menjadi boiler loss. Kerugian ini dapat dicari menggunakan persamaan,

$$L_4 = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a) \times 100}{GCV \text{ batubara}} \dots (7)$$

dimana, L_4 = % heat loss due to moisture present in air

AAS = (Actual mass of Air Supplied)
jumlah suplai udara per kg batubara untuk pembakaran

humidity factor = jumlah kg air per kg udara pembakaran

C_p = kalor spesifik dari superheated steam dalam kCal/kg^oC

T_f = temperature flue gas dalam ^oC

T_a = temperature ambient dalam ^oC

- ***Heat loss due to incomplete combustion (L₅)***

Produk yang dihasilkan oleh pembakaran yang tidak sempurna dapat tercampur dengan oksigen dan terbakar lagi dengan

kebutuhan energi yang lebih besar. Gas-gas seperti CO, H₂, dan gas lainnya yang ada pada flue gas sering ditemui bercampur dengan oksigen pembakaran. Karbon monoksida merupakan gas yang dapat dengan mudah diketahui jumlah kandungannya dalam tes boiler.

Kerugian ini dapat dicari menggunakan persamaan,

$$L_5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \quad \dots (8)$$

dimana, L_5 = % heat loss due to incomplete combustion

CO = volume CO dalam flue gas keluar economizer (%)

CO₂ = volume aktual CO₂ dalam flue gas (%)

C = kandungan karbon dalam kg/kg batubara

Ketika CO didapatkan dalam satuan ppm dalam proses tes boiler, maka dapat dicari dengan persamaan,

$$CO \text{ formation } (M_{CO}) = CO \text{ (in ppm)} \times 10^{-6} \times M_f \times 28 \dots (10)$$

$$L_5 = M_{CO} \times 5744 \quad \dots (11)$$

dimana, CO = kandungan unsur karbon monoksida pada flue gas (ppm)

M_f = konsumsi batubara dalam kg/jam

- **Heat loss due to radiation and convection (L₆)**

Kerugian ini disebabkan oleh perpindahan panas secara radiasi maupun konveksi dari boiler ke lingkungannya. Kerugian ini dapat dihitung menggunakan persamaan,

$$L_6 = 0.548 \times \left[\left(\frac{T_s}{55.55} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{55.55} \right)^4 \right] + 1,957 \times (T_s - T_a)^{1,25} \times \sqrt{\left(\frac{196,85 \times V_m + 68,9}{68,9} \right)} \quad \dots (12)$$

dimana, L_6 = % heat loss due to radiation and convection

V_m = kecepatan angin (m/s)

T_s = temperatur surface boiler (K)

T_a = temperatur ambient (K)

- ***Heat loss due to unburnt in fly ash (L_7)***

Kerugian ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$L_7 = \frac{\text{Total ash terkumpul per kg batubara} \times \text{GCV fly ash} \times 100}{\text{GCV batubara}} \dots (13)$$

- ***Heat loss due to unburnt bottom ash (L_8)***

Kerugian ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$L_8 = \frac{\text{Total ash terkumpul per kg batubara} \times \text{GCV bottom ash} \times 100}{\text{GCV batubara}} \dots (14)$$

Untuk menghitung efisiensi boiler dengan metode indirect maka menggunakan persamaan,

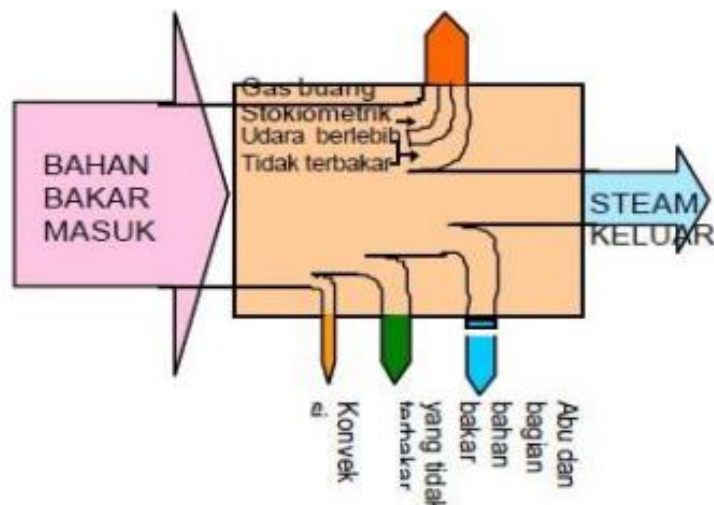
$$\text{Boiler efficiency} = 100\% - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8) \dots (15)$$

4.6 Diagram Sankey

Diagram sankey dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Proses pembakaran dalam boiler dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing-masing.

Diagram sankey merupakan keseimbangan energi total yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda. Gambar berikut memberikan gambaran berbagai kehilangan yang terjadi untuk pembangkitan steam. Lebar panah sebanding dengan ukuran laju aktual sehingga dapat dianalisa energi yang dihasilkan

mengalami keuntungan atau kerugian supaya manajer energi dapat fokus untuk mencari pengembangan dalam skala prioritas.



Gambar 4. 12 Diagram Sankey

4.7 Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific fuel consumption adalah rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar terhadap daya listrik yang dibangkitkan dalam sebuah industri pembangkitan listrik, biasanya digunakan sebagai salah satu cara untuk mengetahui seberapa efisien sebuah pembangkit listrik dan untuk memprediksi nilai kalor bahan bakar yang digunakan untuk pembakaran. SFC dapat dicari dengan menggunakan persamaan,

$$SFC = \frac{\dot{m}_{batubara}}{kWh\ generated - kWh\ plant\ use} \quad \dots (16)$$

dimana, SFC = *Specific Fuel Consumption* (kg/kWh)

$\dot{m}_{batubara}$ = jumlah batubara yang dipakai dalam proses
bangkitan listrik per jam (kg)

kWh generated= jumlah bangkitan daya listrik (kWh)

kWh plant use = jumlah daya listrik yang dipakai untuk peralatan
dalam pembangkit (kWh)

4.8 Plant Heat Rate

Heat rate merupakan salah satu ukuran efisiensi pembangkit listrik/pembangkit listrik yang mengubah suatu bahan bakar menjadi panas dan menjadi listrik. Laju panas adalah jumlah energi yang digunakan oleh generator listrik/pembangkit listrik untuk menghasilkan satu *kilowatthour* (kWh) listrik.

Administrasi Informasi Energi AS (EIA) menyatakan *heat rate* dalam satuan termal Inggris (BTU) per kWh bersih yang dihasilkan. Pembangkitan bersih adalah jumlah listrik yang disuplai oleh pembangkit listrik ke saluran transmisi listrik yang terhubung ke pembangkit listrik. Pembangkitan bersih mencakup semua listrik yang dikonsumsi pembangkit listrik untuk mengoperasikan generator pembangkit dan peralatan lainnya, seperti sistem pengisian bahan bakar, pompa air boiler, peralatan pendingin, dan perangkat pengendalian polusi.

4.8.1 Gross Plant Heat Rate

Gross plant heat rate merupakan plant heat rate dengan perbandingan bangkitan daya listrik kotor (gross generation). Gross plant heat rate dapat dicari dengan menggunakan persamaan,

$$GPHR = \frac{\dot{m}_{batubara} \times HHV}{kWh\ generated} \quad \dots (17)$$

dimana, $GPHR$ = *Gross Plant Heat Rate* (kCal/kWh)

$\dot{m}_{batubara}$ = jumlah batubara yang dipakai dalam proses
bangkitan listrik per jam (kg)

HHV = high heating value (kCal/kg)

kWh generated = jumlah bangkitan daya listrik (kWh)

4.8.2 Nett Plant Heat Rate

Nett plant heat rate merupakan plant heat rate dengan perbandingan bangkitan daya listrik bersih (nett generation). Gross plant heat rate dapat dicari dengan menggunakan persamaan,

$$NPHR = \frac{\dot{m}_{batubara} \times HHV}{(kWh\ generated - kWh\ plant\ use)} \quad \dots (18)$$

dimana, $NPHR$ = *Nett Plant Heat Rate* (kCal/kWh)

$\dot{m}_{batubara}$ = jumlah batubara yang dipakai dalam proses
bangkitan listrik per jam (kg/jam)

HHV = high heating value (kCal/kg)

kWh generated = jumlah bangkitan daya listrik (kWh)

kWh plant use = jumlah daya listrik yang dipakai untuk
peralatan dalam pembangkit (kWh)

Berbeda dengan efisiensi, *heat rate* semakin rendah nilainya semakin baik. Hal ini mengindikasikan bahwa untuk penggunaan batubara dengan GCV tetap, nilai *flow rate* batubaranya berkurang untuk proses pembangkitan atau nilai kWh generated persatuan bahan bakar meningkat. Sehingga, *heat rate* semakin rendah berarti peningkatan performa pembangkit.

4.9 Thermal Efficiency

Thermal efficiency adalah ukuran efektivitas penukar panas boiler. Thermal efficiency mengukur kemampuan komponen exchanger untuk mentransfer panas dari proses pembakaran ke air atau uap di boiler. Karena efisiensi termal semata-mata merupakan pengukuran efektivitas heat exchanger boiler, maka tidak memperhitungkan kerugian radiasi dan konveksi karena shell boiler, kolom air, atau komponen lainnya.

Thermal efficiency dapat dicari dengan menggunakan persamaan,

$$\text{Thermal efficiency} = \left(\frac{860}{\text{GPHR}} \right) \times 100\% \quad \dots (19)$$

dimana,

Thermal efficiency = efisiensi termal (%)

GPHR = Gross Plant Heat Rate (kCal/kg)

4.10 Data Kinerja Boiler

Tabel 4. 1 Data Input dan Output Boiler

Boiler Performance Data		
Boiler feedwater to economizer (f_1)	2002.728045	Ton per Hour (TPH)
Steam generated (superheater) (f_2)	2105.505193	Ton per Hour (TPH)
Boiler cold RH to boiler flow (f_3)	1859.662	Ton per Hour (TPH)
Boiler hot RH from boiler flow (f_4)	1867.636	Ton per Hour (TPH)
Water pressure (to economizer)	185.0122264	barg
Steam pressure (superheater)	168.9185177	barg
Steam pressure (cold RH)	37.187	barg
Steam pressure (hot RH)	34.187	barg
Feedwater temperature after economizer	271.2700113	°C

Steam temperature (superheater)	527.6709824	°C
Steam temperature (cold RH)	323.276	°C
Steam temperature (hot RH controlled)	531.849	°C
Enthalpy of water (economizer/h ₁)	284.034417	kCal/kg
Enthalpy of steam (superheater/h ₂)	805.640535	kCal/kg
Enthalpy of steam (cold reheat/h ₃)	724.8542065	kCal/kg
Enthalpy of steam (hot reheat/h ₄)	842.4139579	kCal/kg
Fuel firing rate	319.1093636	Ton per Hour (TPH)
Specific calor by flue gas (C _p _{flue gas})	0.248086062	kCal/kg°C
Specific calor by steam (C _p _{steam})	0.686022738	kCal/kg°C
%CO ₂ in flue gas (CO ₂)	18	%
%CO in flue gas	3	%
CO ₂ in flue gas	0.02337817	ppm
CO in flue gas	0.06529586	ppm
Average flue gas temperature	155.4547061	°C
Ambient temperature	31	°C
Humidity in ambient air	0.0204	kg/kg dry air
Surface temperature of boiler	70	°C
Wind velocity around the boiler	3.5	m/s
Total surface area of boiler	4638.742	m ²
kWh generated	649288	kWh
kWh plant use	32273.2	kWh

4.11 Data Batubara

Tabel 4. 2 Data Chemical Properties Batubara

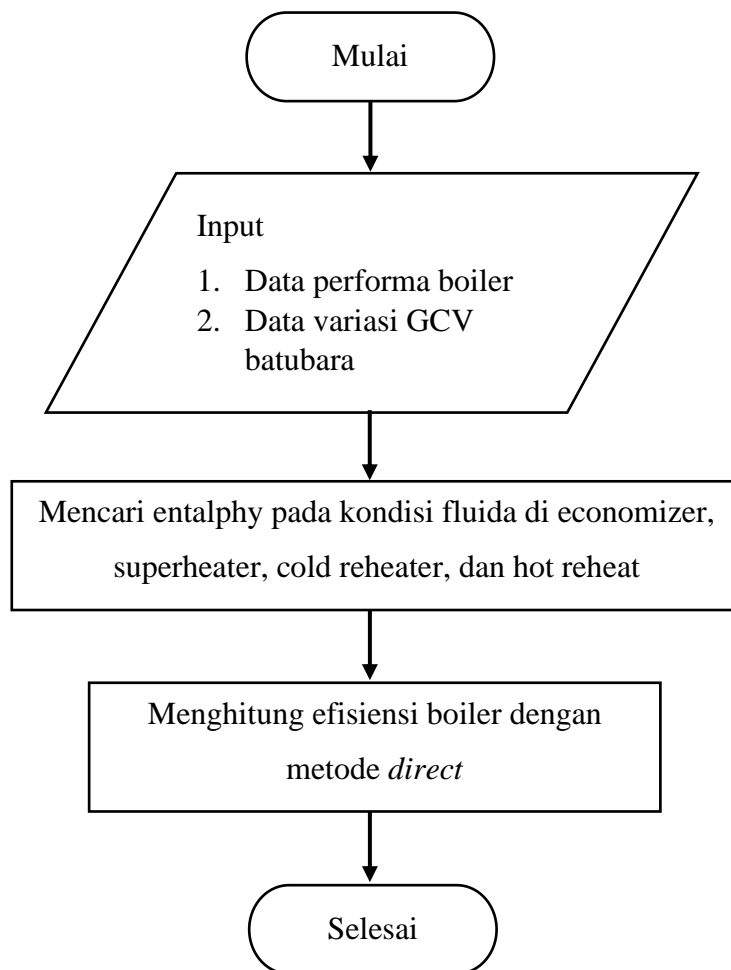
Coal Properties			
	KPC Coal	Kideco Coal	Adaro Coal
Ash content in fuel (%)	5.04	3.02	2
Moisture in coal (%)	25.61	27.23	28.6
Carbon content (%)	51.18	69.31	50.3

Hydrogen content (%)	3.56	5.31	3.77
Nitrogen content (%)	0.93	1.15	0.62
Oxygen content (%)	13.36	24.12	14.61
Sulphur content (%)	0.32	0.11	0.1
GCV of Coal (kCal/kg)	4933	4769	4743
GCV of bottom ash (kCal/kg)	462.6494725	330.2726879	452.612326
GCV of fly ash (kCal/kg)	18.31320828	13.0732939	17.91590457

4.12 Metode Penelitian

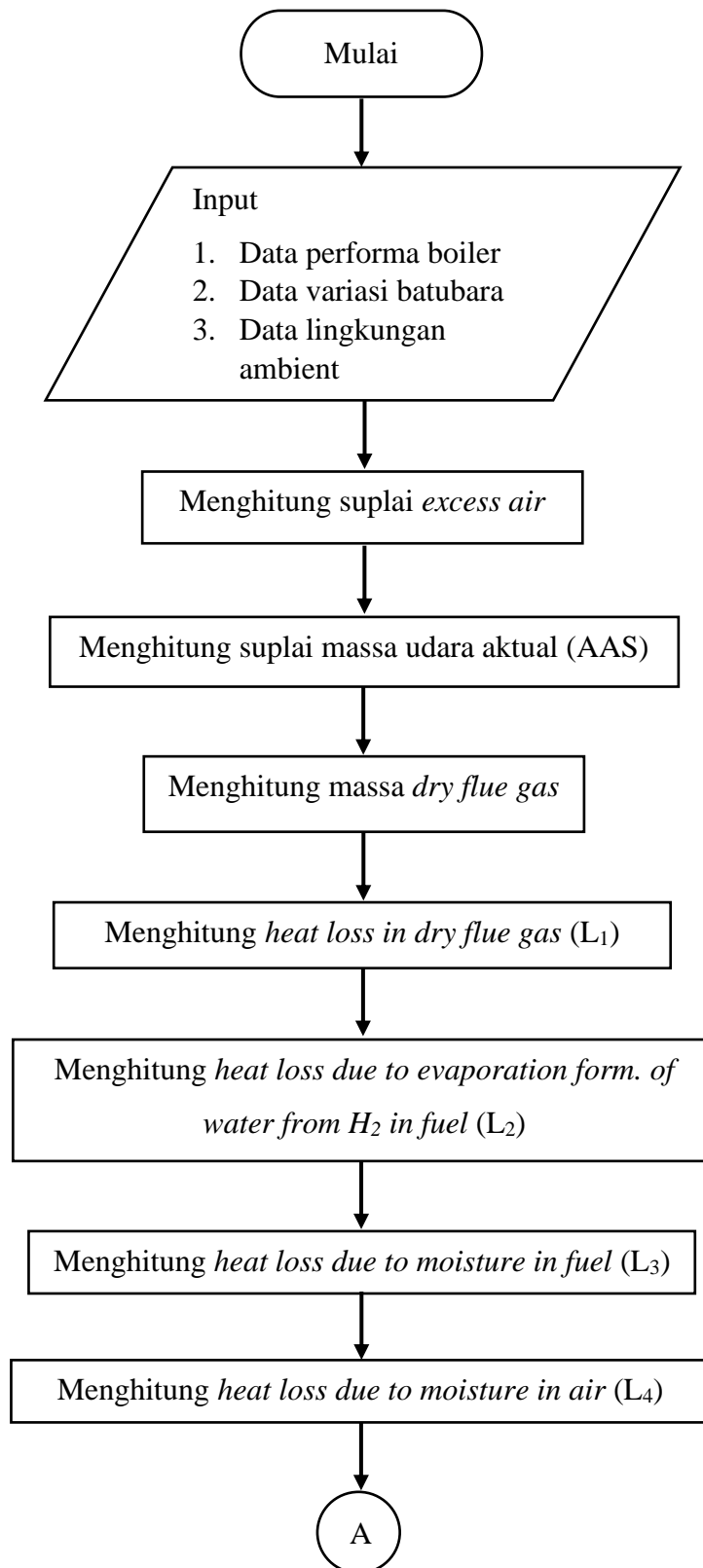
Pada penelitian kali ini, asumsi bangkitan daya listrik sama diterapkan pada seluruh batubara. Secara logika, batubara dengan GCV yang lebih rendah dengan *mass flow* batubara yang sama menghasilkan kalor yang lebih sedikit dan bangkitan daya yang lebih sedikit pula. Namun, asumsi ini dipakai untuk memudahkan praktikan dalam membandingkan faktor apa saja yang menyebabkan penurunan efisiensi boiler berdasarkan *USA Standard ASME PTC 4-1 Power Test Code for Steam Generating Units*.

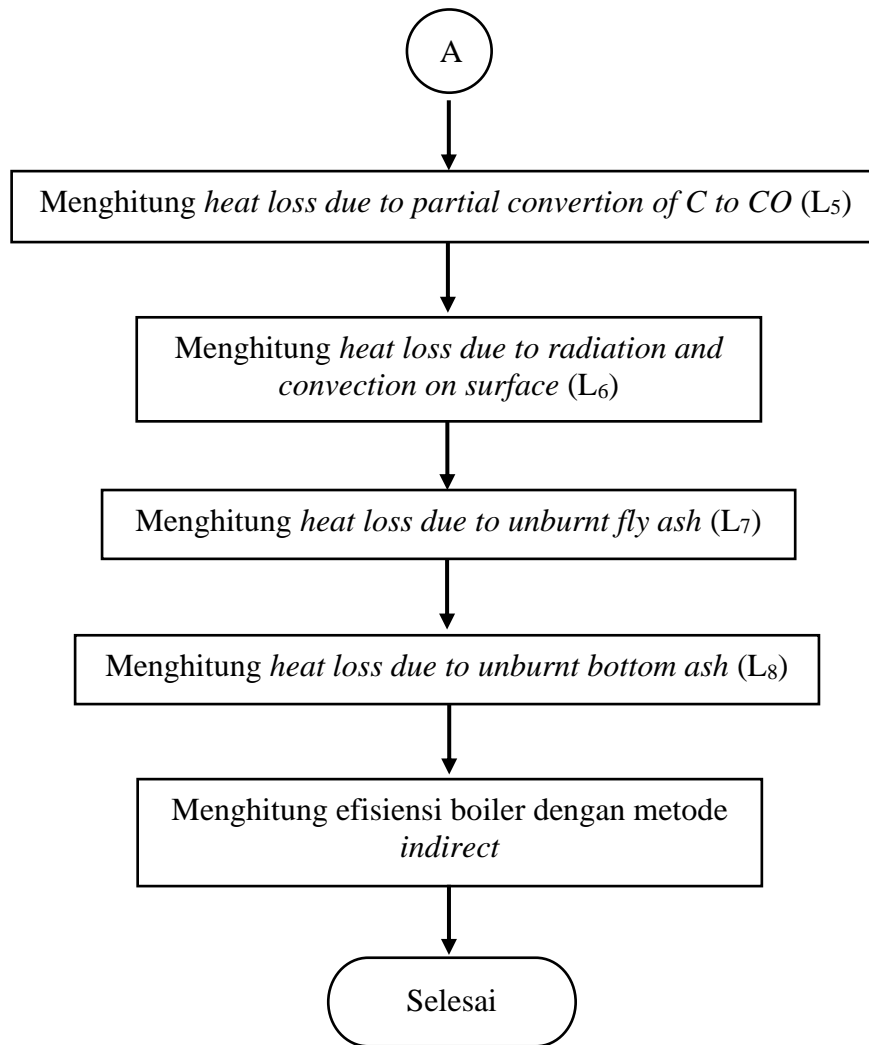
4.12.1 Diagram Alir Menghitung Efisiensi Boiler Metode Direct



Gambar 4. 13 Diagram Alir Menghitung Efisiensi Boiler Metode Direct

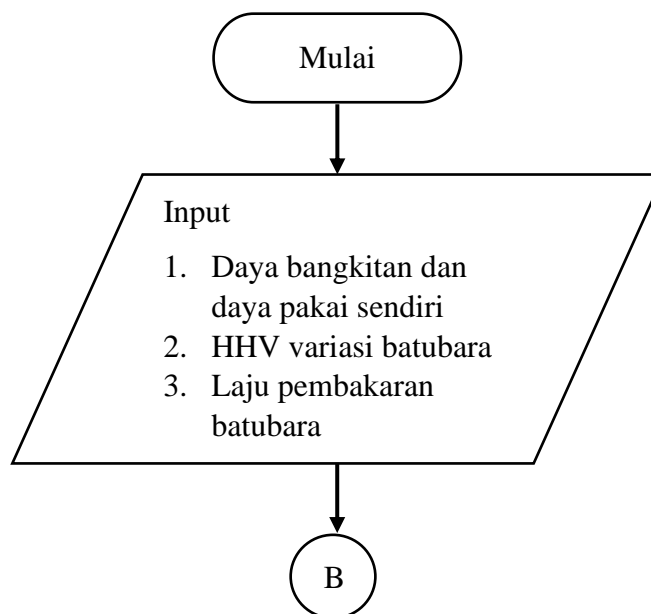
4.12.2 Diagram Alir Menghitung Efisiensi Boiler Metode Indirect

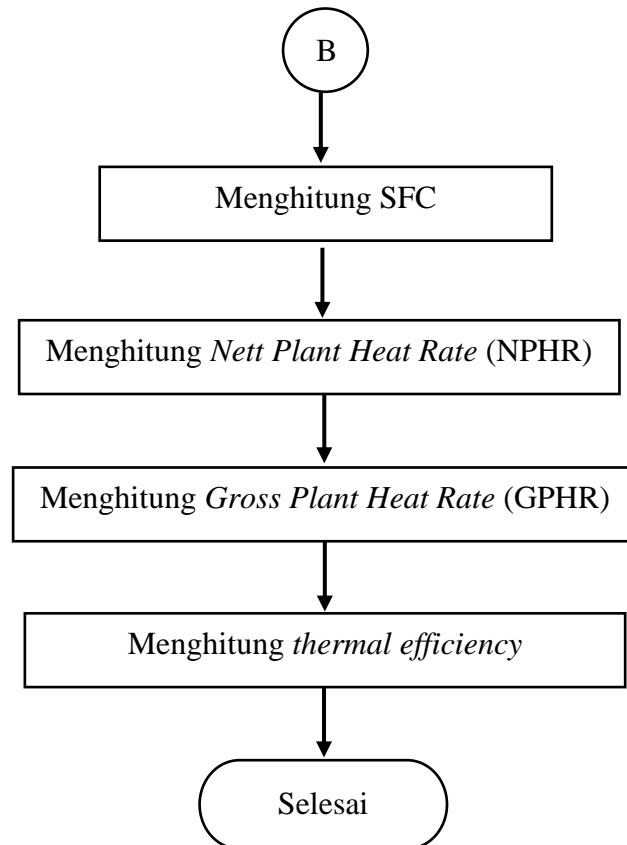




Gambar 4. 14 Diagram Alir Menghitung Efisiensi Boiler Metode Indirect

4.12.3 Diagram Alir Menghitung Performa Boiler dan Plant





Gambar 4. 15 Diagram Alir Menghitung Performa Boiler dan Plant

4.13 Hasil dan Pembahasan

Perhitungan performa boiler menggunakan dua metode perhitungan, yaitu metode direct dan metode indirect.

4.13.1 Perhitungan Efisiensi Boiler Metode Direct

Berdasarkan data teknis di lapangan, dengan menggunakan persamaan 3 maka didapat besar perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode direct adalah

$$\begin{aligned}
 \text{Boiler efficiency} &= \frac{\{(h_2 \times f_2) - (h_1 \times f_1) + (h_4 \times f_4) - (h_3 \times f_3)\} \times 100}{\dot{m}_{\text{batubara}} \times \text{GCV}_{\text{batubara}}} \\
 &= \frac{\{(805.64 \times 2105.5) - (284.03 \times 2002.72) + (842.41 \times 1867.63) - (724.85 \times 1859.662)\} \times 100}{319.1093 \times 4933} \\
 &= 85.93598308\% \\
 &= 85,93\%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan dengan menggunakan metode direct pada jenis batubara KPC 4900 menghasilkan efisiensi pada boiler sebesar 85,93%. Metode perhitungan yang sama diterapkan pada kedua jenis batubara lainnya sehingga didapatkan,

Tabel 4. 3 Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara dengan Metode Direct

	KPC Coal	Kideco Coal	Adaro Coal
Efisiensi Boiler	85,93%	88,89%	89,37%

4.13.2 Perhitungan Efisiensi Boiler Metode Indirect

Perhitungan heat loss dengan Indirect Method ASME PTC 4.1 bertujuan untuk mengetahui nilai losses yang terjadi pada boiler berdasarkan parameter yang ada pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Banyaknya parameter yang diperhitungkan akan membantu operator menemukan petunjuk apabila terjadi penurunan efisiensi boiler.

- **Perhitungan Analisis *Flue Gas* dan Laju Massa Udara**

1. Udara teoritis yang dibutuhkan untuk proses pembakaran (theoretical air),

$$\begin{aligned}
 \text{Theo. air} &= \frac{[(11,6 \times C) + \{34,8 \times (H_2 - \frac{O_2}{8})\}] + (4,35 \times S)}{100} \\
 &= \frac{[(11,6 \times 51,18) + \{34,8 \times (3,56 - \frac{13,36}{8})\}] + (4,35 \times 0,32)}{100} \\
 &= 6,60852 \frac{kg}{kg} \text{ of coal}
 \end{aligned}$$

2. Excess air supplied (EA) %

Untuk mencari nilai excess air supplied diperlukan nilai persentase kadar karbon teoritis dan aktual pada flue gas. Maka dari itu, perlu untuk menghitung nilai CO₂ teoritis.

$$(CO_2)_{theoretical} = \frac{\text{Moles of C}}{\text{Moles of N}_2 + \text{Moles of C}}$$

Sehingga nilai mol N₂ perlu dicari terlebih dahulu sebelum mencari nilai CO₂ teoritis.

$$\begin{aligned}
 \text{Moles of N}_2 &= \frac{\text{Wt. of N}_2 \text{ in theoretical air}}{\text{Mol wt. of N}_2} + \frac{\text{Wt. of N}_2 \text{ in fuel}}{\text{Mol wt. of N}_2} \\
 &= \frac{\left(\frac{\text{Theo. air} \times 78,08}{100}\right)}{28} + \frac{\left(\frac{0,93}{100}\right)}{28} \\
 &= 0,184615443
 \end{aligned}$$

Maka nilai CO₂ teoritis adalah,

$$\begin{aligned}
 (CO_2)_{theoretical} &= \frac{\text{Moles of C}}{\text{Moles of } N_2 + \text{Moles of C}} \\
 &= \frac{\left[\frac{\left(\frac{51,18}{100} \right)}{12} \right]}{0,1846 + \left[\frac{\left(\frac{51,18}{100} \right)}{12} \right]} \times 100 \\
 &= 18,76660145\%
 \end{aligned}$$

Maka nilai excess air supplied adalah,

$$\begin{aligned}
 \%EA &= \frac{7900 \times [(CO_2\%)_t - (CO_2\%)_a]}{(CO_2\%)_a \times [100 - (CO_2\%)_t]} \\
 &= \frac{7900 \times (18,766 - 18)}{18 \times (100 - 18,766)} \\
 &= 4,141804532\%
 \end{aligned}$$

3. Massa aktual udara suplai (AAS)

$$\begin{aligned}
 AAS &= \left[1 + \frac{\%EA}{100} \right] \times \text{theoretical air} \\
 &= \left[1 + \frac{4,1418}{100} \right] \times 6,60852 \\
 &= 6,882231981 \frac{kg}{kg} \text{ of coal}
 \end{aligned}$$

4. Massa aktual dry flue gas

Mass of dry flue gas = CO₂ in flue gas + N₂ in fuel + N₂ in the combustion air + O₂ in flue gas

$$\begin{aligned}
 &= \left[\frac{\left(\frac{C}{100} \right) \times 44}{12} \right] + \left(\frac{N \text{ (in fuel)}}{100} \right) + \left(\frac{AAS \times 78,08}{100} \right) + \left[\frac{(AAS - \text{Theo.air}) \times 23}{100} \right] \\
 &= \left[\frac{\left(\frac{51,18}{100} \right) \times 44}{12} \right] + \left(\frac{0,93}{100} \right) + \left(\frac{6,8822 \times 78,08}{100} \right) + \left[\frac{(6,8822 - 6,6085) \times 23}{100} \right] \\
 &= 7,322500486 \frac{kg}{kg} \text{ of coal}
 \end{aligned}$$

• Perhitungan Losses (Indirect Methode)

1. % heat loss in dry flue gas (L₁)

$$\begin{aligned}
 L_1 &= \frac{m \times C_p \text{ flue gas} \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \\
 &= \frac{7,3225 \times 0,24808 \times (155,4547 - 31)}{4933} \times 100
 \end{aligned}$$

$$= 4.58312796\%$$

2. % heat loss due to evaporation of water formed due to H₂ in fuel (L₂)

$$\begin{aligned} L_2 &= \frac{9 \times H_2 \times \{584 + C_{p \text{ steam}}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \\ &= \frac{9 \times 3.56 \times \{584 + 0.68602(155.4547 - 31)\}}{4933} \times 100 \\ &= 4.347637424\% \end{aligned}$$

3. % heat loss due to moisture present in fuel (L₃)

$$\begin{aligned} L_3 &= \frac{M \times \{584 + C_{p \text{ steam}}(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \\ &= \frac{25.61 \times \{584 + 0.68602(155.4547 - 31)\}}{4933} \times 100 \\ &= 3.47512467\% \end{aligned}$$

4. % heat loss due to moisture present in air (L₄)

$$\begin{aligned} L_4 &= \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_{p \text{ steam}} \times (T_f - T_a) \times 100}{GCV \text{ batubara}} \\ &= \frac{6.88223 \times 0.0204 \times 0.68602 \times (155.4547 - 31) \times 100}{4933} \\ &= 0.242995479\% \end{aligned}$$

5. % heat loss due to incomplete combustion (L₅)

$$\begin{aligned} L_5 &= \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \\ &= \frac{0.03 \times \left(\frac{51.18}{100}\right)}{0.03 + 18} \times \frac{5744}{4933} \times 100 \\ &= 0.8513449364\% \end{aligned}$$

6. % Heat loss due to radiation and convection (L₆)

$$\begin{aligned} L_6 &= 0.548 \times \left[\left(\frac{T_s}{55.55} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{55.55} \right)^4 \right] \\ &\quad + 1.957 \times (T_s - T_a)^{1.25} \times \sqrt{\left(\frac{196.85 \times V_m + 68.9}{68.9} \right)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0.548 \times \left[\left(\frac{70}{55,55} \right)^4 - \left(\frac{31}{55,55} \right)^4 \right] \\
&\quad + 1,957 \times (70 - 31)^{1,25} \times \sqrt{\left(\frac{196,85 \times 3,5 + 68,9}{68,9} \right)} \\
&= 0.16030932\%
\end{aligned}$$

7. % heat loss due to unburnt in fly ash (L_7)

$$\begin{aligned}
L_7 &= \frac{\text{Total ash terkumpul per kg batubara} \times \text{GCV fly ash} \times 100}{\text{GCV batubara}} \\
&= \frac{\left[0.8 \times \left(\frac{5.04}{100} \right) \right] \times 18.3132 \times 100}{4933} \\
&= 0.014968347\%
\end{aligned}$$

8. % heat loss due to unburnt bottom ash (L_8)

$$\begin{aligned}
L_8 &= \frac{\text{Total ash terkumpul per kg batubara} \times \text{GCV bottom ash} \times 100}{\text{GCV batubara}} \\
&= \frac{\left[0.2 \times \left(\frac{5.04}{100} \right) \right] \times 462.6494725 \times 100}{4933} \\
&= 0.094536928\%
\end{aligned}$$

- **Efisiensi Boiler Metode *Indirect***

$$\begin{aligned}
\text{Boiler efficiency} &= 100\% - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + 0.5\%) \\
&= 100\% - (13.51785844\%) \\
&= 86,48214156 \%
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan dengan menggunakan metode indirect pada jenis batubara KPC Coal menghasilkan efisiensi pada boiler sebesar 86,48214 %. Metode perhitungan yang sama diterapkan pada kedua jenis batubara lainnya sehingga didapatkan,

Tabel 4. 4 Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara dengan Metode Indirect

	KPC Coal	Kideco Coal	Adaro Coal
Efisiensi Boiler	86,482 %	81.856 %	85.419 %

4.13.3 Perhitungan Specific Fuel Consumption (SFC) Boiler

$$\begin{aligned}
 SFC &= \frac{\dot{m}_{\text{batubara}}}{kWh \text{ generated} - kWh \text{ plant use}} \\
 &= \frac{319109.3636}{640789.1846 - 31805.03209} \\
 &= 0.524002738 \frac{kg}{kWh}
 \end{aligned}$$

4.13.4 Perhitungan Gross Plant Heat Rate (GPHR)

$$\begin{aligned}
 GPHR &= \frac{\dot{m}_{\text{batubara}} \times HHV}{kWh \text{ generated}} \\
 &= \frac{319109.3636 \times 4933}{640789.1846} \\
 &= 2456.605898 \frac{kCal}{kWh}
 \end{aligned}$$

Dengan menerapkan perhitungan tersebut dan dengan nilai HHV yang berbeda dari masing masing jenis batubara maka didapatkan,

Tabel 4. 5 GPHR terhadap Penggunaan Produk Batubara

	KPC Coal	Kideco Coal	Adaro Coal
GPHR (kCal/kWh)	2456.605898	2374.934833	2361.986981

4.13.5 Perhitungan Nett Plant Heat Rate (NPHR)

$$\begin{aligned}
 NPHR &= \frac{\dot{m}_{\text{batubara}} \times HHV}{(kWh \text{ generated} - kwh \text{ plant use})} \\
 &= \frac{319109.3636 \times 4933}{(640789.1846 - 31805.03209)} \\
 &= 2584.905509 \frac{kCal}{kWh}
 \end{aligned}$$

Dengan menerapkan perhitungan tersebut dan dengan nilai HHV yang berbeda dari masing masing jenis batubara maka didapatkan,

Tabel 4. 6 NPHR terhadap Penggunaan Produk Batubara

	KPC Coal	Kideco Coal	Adaro Coal
NPHR (kCal/kWh)	2584.905509	2498.96906	2485.344988

4.13.6 Perhitungan Thermal Efficiency

$$\begin{aligned}
 \text{Thermal efficiency} &= \left(\frac{860}{GPHR} \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{860}{2456.605898} \right) \times 100\% \\
 &= 35.00765021\%
 \end{aligned}$$

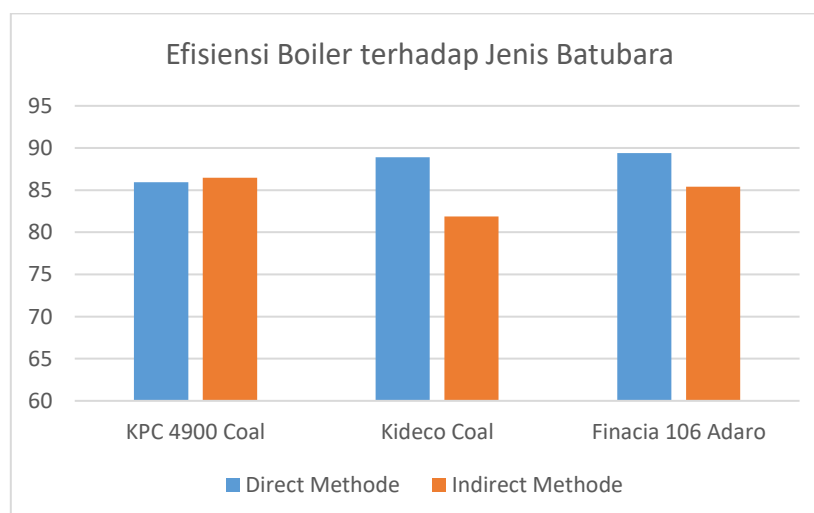
Dengan menerapkan perhitungan tersebut dan memasukkan nilai GPHR pada masing-masing jenis batubara maka didapatkan,

Tabel 4. 7 Thermal Efficiency terhadap Penggunaan Produk Batubara

	KPC Coal	Kideco Coal	Adaro Coal
Thermal Efficiency	35.007%	36.211%	36.41%

4.14 Analisis Efisiensi Boiler

Berdasarkan kedua metode perhitungan efisiensi boiler sesuai dengan *USA Standard ASME PTC 4-1 Power Test Code for Steam Generating Units*, terdapat selisih nilai efisiensi boiler.

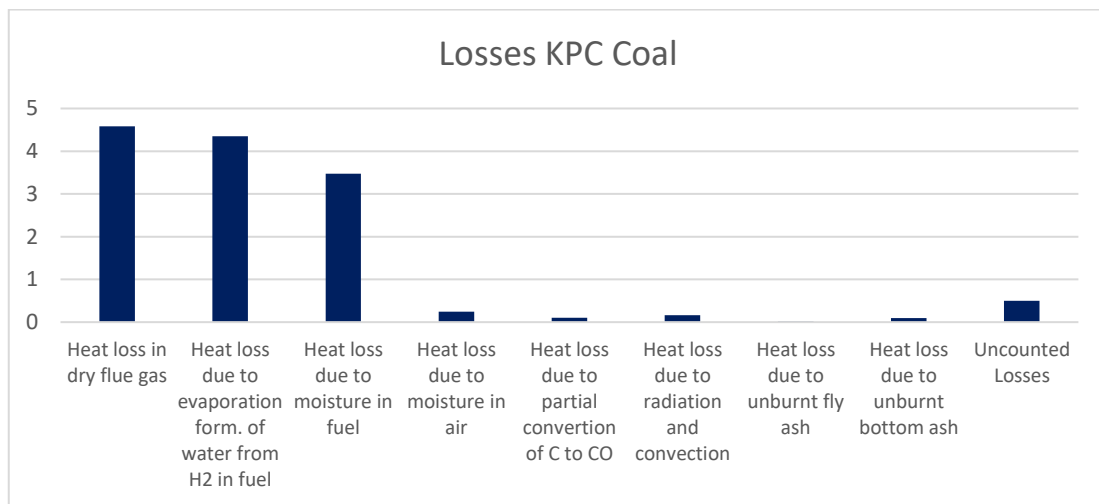


Grafik 4. 1 Perbandingan Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler Metode Direct dengan Indirect

Berdasarkan grafik 4.1, nilai efisiensi boiler menggunakan metode *direct* memiliki nilai yang lebih tinggi daripada hasil perhitungan menggunakan metode *indirect*. Hal ini dikarenakan metode *direct* hanya memperhitungkan nilai output terhadap nilai input dan tidak memperhitungkan *losses* yang terjadi dalam proses pembakaran. Bahan bakar yang digunakan memiliki nilai kalor dan kandungan unsur kimiawi yang berbeda. Disisi lain, produk pembakaran berupa *flue gas* juga mempengaruhi perhitungan efisiensi boiler dengan metode *indirect*.

4.14.1 Analisis Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara KPC Coal

Berdasarkan grafik 4.1, KPC Coal memiliki nilai efisiensi boiler sebesar 86.482% yang merupakan nilai terbesar dibandingkan dengan dua jenis batubara lainnya.



Grafik 4. 2 Losses Boiler Penggunaan Batubara KPC Coal

Perhitungan dengan metode *indirect* menunjukkan terdapat tiga losses utama yang berkontribusi besar atas penurunan efisiensi boiler, diantaranya

1. *Heat loss in dry flue gas* (L_1)

Umumnya, losses pada *dry flue gas* merupakan penyumbang terbesar losses yang ada pada perhitungan metode *indirect*. Losses ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti massa *dry flue gas*, temperatur *flue gas*, dan GCV batubara.

Kandungan karbon (C) dalam batubara KPC Coal tidak terlalu besar sehingga jumlah *actual mass of air supplied* (AAS) yang dibutuhkan tidak besar. Hal ini menyebabkan rendahnya nilai massa *dry flue gas* yang berpengaruh kepada besarnya losses L_1 .

2. *Heat loss due to evaporation of water formed due to H₂ in fuel (L₂)*

Sebagaimana yang diketahui, salah satu produk pembakaran unsur hidrogen adalah air. Batubara yang mengandung banyak unsur hidrogen memiliki potensi mengalami *losses* L₂ yang besar. KPC Coal memiliki nilai kandungan H₂ yang paling rendah dibandingkan dengan dua produk batubara lainnya. Dengan demikian, nilai *losses* L₂ pada KPC Coal juga menjadi yang terkecil diantara ketiga produk.

3. *Heat loss due to moisture present in fuel (L₃)*

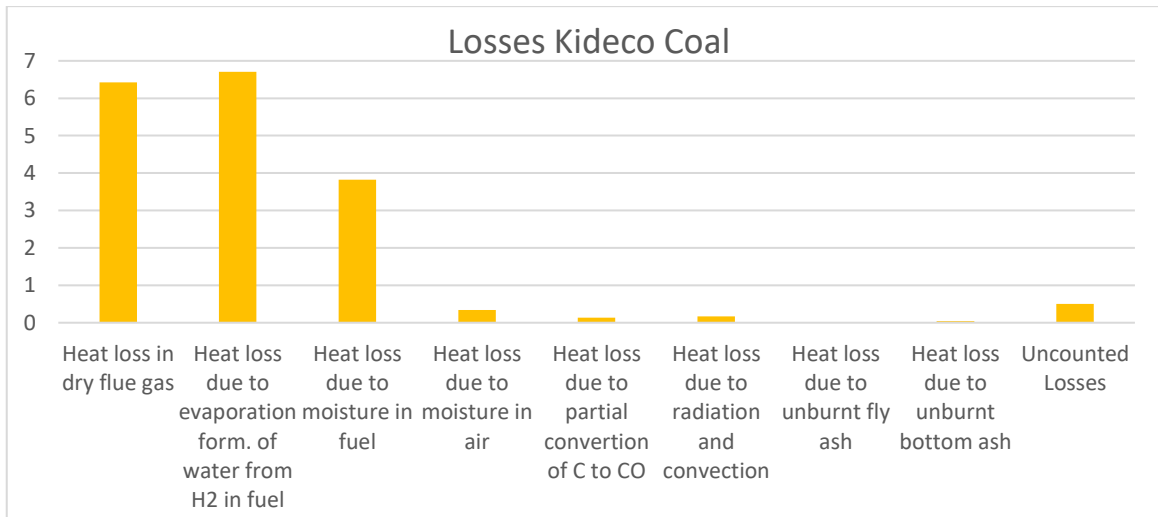
Kerugian ini disebabkan oleh kadar *moisture* atau kelembapan pada batubara. Kadar *moisture* ini menyebabkan perlunya panas lebih untuk membakar atau meyalakan batubara. Semakin tinggi nilai *moisture* maka semakin besar panas yang dibutuhkan untuk menyalakan batubara.

Berdasarkan data teknis yang didapat, persentase kandungan *moisture* per kilogram batubara KPC Coal merupakan yang paling rendah di angka 25,61% dibandingkan dengan kedua jenis batubara lainnya. Sehingga nilai *losses* L₃ pada batubara KPC Coal merupakan yang terendah.

Disisi lain, nilai *Gross Calorific Value* batubara KPC Coal sangat berpengaruh terhadap rendahnya nilai *losses* secara keseluruhan. Pada L₁, L₂, dan L₃ akumulasi nilai kerugian langsung dibandingkan dengan GCV sehingga secara matematis, semakin besar nilai GCV maka semakin kecil *losses* yang dihasilkan. Dengan nilai GCV sebesar 4933 kCal/kg, menjadikan GCV KPC Coal menjadi yang terbesar diantara ketiga produk batubara.

4.14.2 Analisis Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara Kideco

Berdasarkan grafik 4.1, Kideco Coal memiliki nilai efisiensi boiler sebesar 81.856 % yang merupakan nilai terendah dibandingkan dengan dua jenis batubara lainnya.



Grafik 4. 3 Losses Boiler Penggunaan Batubara Kideco Coal

Perhitungan dengan metode indirect menunjukkan terdapat tiga losses utama yang berkontribusi besar atas penurunan efisiensi boiler, diantaranya

1. *Heat loss in dry flue gas* (L_1)

Kideco Coal memiliki kandungan unsur karbon (C) yang tinggi yaitu diangka 69.31%. Nilai ini menjadikan Kideco Coal sebagai batubara dengan unsur karbon terbesar diantara ketiga produk. L_1 pada batubara Kideco menyumbang losses yang besar dikarenakan kandungan karbon yang tinggi. Tingginya nilai karbon menyebabkan nilai AAS yang membesar. Nilai AAS ini kemudian berhubungan langsung dengan actual mass of dry flue gas sehingga nilainya ikut membesar. Jika massa *dry flue gas* ini membesar maka lebih banyak panas akan terperangkap dalam flue gas sehingga efisiensinya akan menurun.

2. *Heat loss due to evaporation of water formed due to H₂ in fuel* (L_2)

Berbeda dengan KPC Coal, L_2 pada Kideco Coal merupakan penyumbang losses terbesar yaitu 6.7078%. Dapat disimpulkan bahwa hal ini ada kaitan langsung dengan kandungan unsur hydrogen pada Kideco Coal. Berdasarkan data teknis, persentase unsur hydrogen pada Kideco Coal merupakan yang terbesar diantara ketiga produk dengan nilai sebesar 5.31%. Besarnya nilai kandungan hydrogen ini menurut kalkulasi justru menjadi *losses* terbesar sehingga terindikasi bahwa

banyak air yang terbentuk akibat proses pembakaran kemudian menguap pada dapur boiler dan memerangkap panas dalam bentuk panas laten.

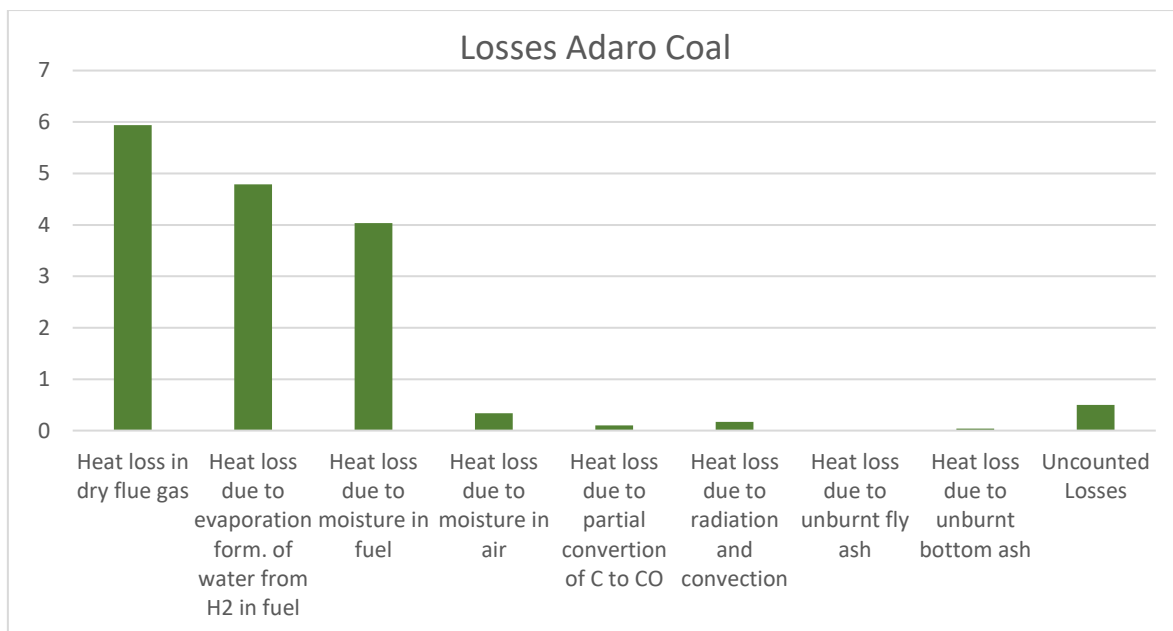
3. *Heat loss due to moisture present in fuel* (L_3)

Nilai L_3 pada Kideco Coal menunjukkan nilai yang lebih tinggi daripada KPC Coal dan rendah daripada Adaro Coal. Hal ini disebabkan karena kadar *moisture* pada Kideco Coal berada diantara kedua nilai *moisture* KPC Coal dan Adaro Coal yaitu pada angka 27.23%. Sehingga nilai L_3 pada Kideco Coal masuk dalam kategori menengah jika dibandingkan dengan produk batubara lainnya.

Kideco Coal memiliki kecenderungan nilai *losses* yang lebih besar dibandingkan dengan dua produk batubara lainnya. Hal ini disebabkan *chemical properties* batubara Kideco Coal yang menyebabkan tingginya nilai *losses*-*losses* tersebut. Disisi lain, GCV Kideco Coal yang paling rendah juga turut menyumbang besarnya nilai *losses* secara keseluruhan.

4.14.3 Analisis Efisiensi Boiler Penggunaan Batubara Adaro

Berdasarkan grafik 4.1, Kideco Coal memiliki nilai efisiensi boiler sebesar 85.419 % yang merupakan terbesar kedua diantara ketiga jenis produk batubara lainnya.



Grafik 4. 4 Losses Boiler Penggunaan Batubara Adaro Coal

Perhitungan dengan metode indirect menunjukkan terdapat tiga losses utama yang berkontribusi besar atas penurunan efisiensi boiler, diantaranya,

1. *Heat loss in dry flue gas (L_1)*

Nilai losses L_1 pada batubara Adaro berada diatas KPC Coal dan dibawah Kideco Coal. Berdasarkan data teknis, kadar unsur karbon pada Adaro Coal lebih rendah dari KPC Coal, namun nilai GCV yang lebih rendah membuat nilai L_1 batubara Adaro terdongkrak naik.

2. *Heat loss due to evaporation of water formed due to H_2 in fuel (L_2)*

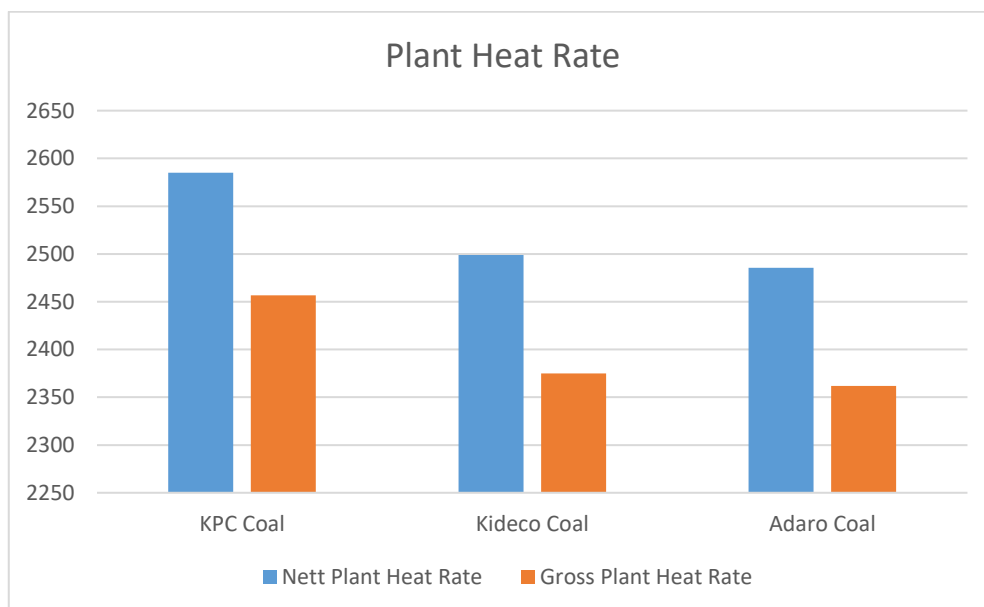
L_2 pada Adaro Coal memiliki kemiripan dengan L_2 Kideco Coal dimana menyumbang losses tertinggi. Hal ini utamanya disebabkan karena tingginya kandungan unsur hydrogen pada batubara Adaro Coal. Namun nilainya tidak terpaut jauh dari batubara KPC Coal dikarenakan kandungan hydrogen Adaro Coal hanya sedikit lebih tinggi daripada KPC Coal.

3. *Heat loss due to moisture present in fuel (L_3)*

Nilai L_3 pada Adaro Coal merupakan yang paling besar diantara ketiga produk batubara. Berdasarkan data teknis, kandungan moisture pada Adaro Coal merupakan yang paling besar di angka 28.6%.

4.15 Analisis Plant Heat Rate

Dari hasil perhitungan, didapati variasi nilai Plant Heat Rate terhadap jenis batubara yang berbeda.



Grafik 4. 5 Plant Heat Rate terhadap Penggunaan Produk Batubara

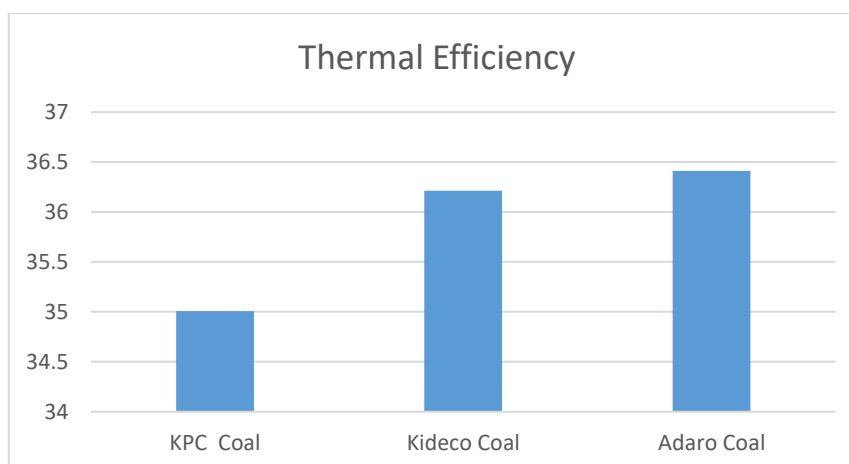
Berdasarkan grafik 4.5, nilai plant heat rate cenderung meningkat seiring nilai GCV padu batubara yang lebih besar. Hal tersebut dikarenakan semakin besar nilai GCV, maka semakin tinggi kalori yang dapat dihasilkan dan perbandingannya dengan daya bangkitan bersih (*nett power generated*) akan menghasilkan rasio yang semakin besar pula. NPHR cenderung lebih besar nilainya daripada GPHR dikarenakan perbandingan menggunakan daya bangkitan bersih yang artinya daya bangkitan (*gross power generated*) dikurangi dengan daya pakai sendiri (*power plant use*).

Namun pada kasus tertentu, NPHR yang lebih tinggi juga dapat disebabkan akibat nilai daya yang digunakan *plant* (kWh *plant use*) tinggi sehingga peningkatan NPHR justru tidak mengindikasikan peningkatan performa pembangkit.

Pada penelitian ini, asumsi besarnya jumlah bangkitan daya terhadap jumlah bahan bakar yang dipakai keduanya bernilai sama. Sehingga, satu-satunya faktor yang berpengaruh adalah nilai HHV dari batubara. Berdasarkan persamaan 17 dan 18, sesuai asumsi semakin kecil nilai HHV maka jumlah kalori yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kWh daya listrik semakin kecil jika HHV nya juga mengecil. Terlihat bahwa batubara KPC Coal memiliki NPHR dan GPHR tertinggi karena variabel bebas yaitu nilai HHV-nya yang paling besar. Berbeda dengan dua produk batubara lainnya dimana nilai HHV-nya dibawah HHV KPC Coal, sehingga NPHR-nya lebih kecil.

4.16 Analisis Thermal Efficiency

Berdasarkan hasil perhitungan, didapati variasi nilai Plant Heat Rate terhadap jenis batubara yang berbeda.



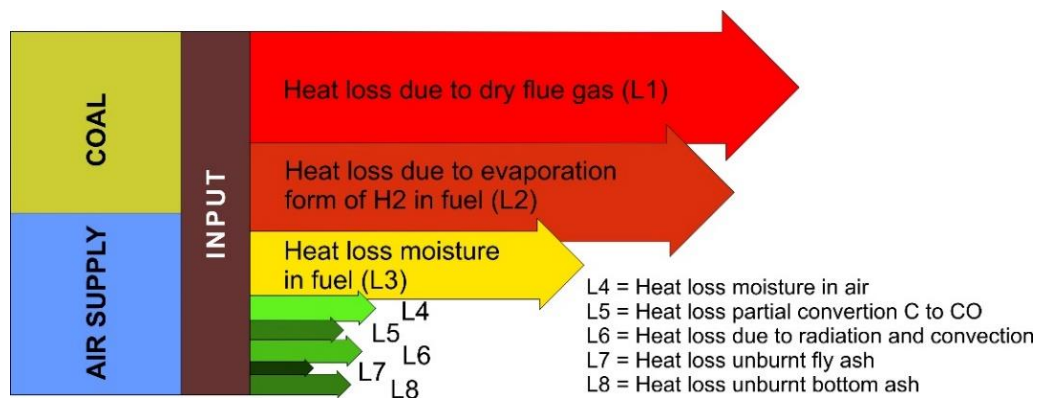
Grafik 4. 6 Efisiensi Thermal terhadap Penggunaan Produk Batubara

Berdasarkan grafik 4.6, nilai efisiensi termal cenderung meningkat diikuti dengan batubara dengan nilai GCV yang semakin rendah. Hal ini disebabkan karena efisiensi termal membandingkan konstanta dengan GPHR. Semakin kecil nilai GPHR maka semakin kecil nilai efisiensi termalnya. Efisiensi termal pada dasarnya menunjukkan kemampuan komponen *heat exchanger* pada boiler dalam mentransfer panas.

Berkebalikan dengan NPHR dan GPHR, *thermal efficiency* semakin kecil nilai GPHR, maka semakin tinggi efisiensinya (persamaan 19). Menyesuaikan dengan asumsi yang berlaku, maka didapat *thermal efficiency* KPC Coal merupakan yang terendah dibandingkan dengan dua produk batubara lainnya.

4.17 Diagram Sankey

Diagram Sankey digunakan untuk mengindikasikan losses yang terjadi dan prioritas perbaikan untuk mengurangi losses. Semakin besar betuk atau ukuran cabang maka semakin diprioritaskan untuk dilakukan perbaikan. Setelah dilakukan perhitungan dan analisis losses maka berdasarkan besarnya nilai losses didapatkan gambar diagram Sankey dengan prioritas sebagai berikut,



Gambar 4. 16 Diagram Sankey Losses Boiler

Dari gambar 4.13 diatas dapat disimpulkan bahwa *heat losses* terbesar disebabkan oleh *heat loss due to dry flue gas* (L₁), *heat loss due to evaporation form of H₂ in fuel* (L₂), dan *heat loss due to moisture in fuel* (L₃). Losses L₁ terjadi karena pemanfaatan panas dalam ruang pembakaran kurang optimal serta pembakaran yang kurang sempurna.

Didalam batubara mengandung atom hidrogen, dimana atom hidrogen dan oksigen ketika bereaksi akan menghasilkan air. Sehingga menyebabkan energi panas untuk memanaskan *steam* berkurang karena energi panas juga memanaskan air sehingga terjadi *losses hydrogen in fuel* (L₂).

Pada *losses moisture in fuel* (L_3), *losses* ini terjadi karena batubara yang masuk ke boiler mempunyai kadar kelembapan tinggi. Sehingga, diperlukan kadar kelembapan rendah untuk meminimalkan *losses* dengan cara pemanasan batubara dengan udara dari *primary air heater* (PAH). Akan tetapi perlu diperhatikan suhu maksimum udara agar batubara tidak terbakar.

Losses unburnt ash (L_7 dan L_8), ini terjadi karena pembakaran batubara tidak sempurna, sehingga menghasilkan abu. Abu ada yang berjenis *bottom ash* dan *fly ash*. *Bottom ash* yaitu abu yang mempunyai massa lebih besar daripada *fly ash*. Kadar abu yang ada dalam batubara berbeda-beda. Semakin sedikit kandungan abu maka efisiensi pembakaran tinggi, hal ini karena abu batubara sering menempel pada pipa-pipa boiler sehingga proses perpindahan panas dari *furnace* ke pipa terhambat oleh abu.

Losses moisture in air (L_4) disebabkan karena kandungan kelembapan pada udara yang lumayan tinggi. Iklim tropis memiliki kelembapan udara lebih tinggi ketimbang daerah dengan iklim arid. Salah satu cara menurunkan kadar kelembapan adalah dengan menggunakan *air preheater* untuk menaikkan suhu udara masuk boiler.

Losses pembakaran atom C (L_5) yang tidak sempurna karena perbandingan udara yang masuk ke boiler tidak sesuai dengan jumlah bahan bakar yang masuk sehingga menimbulkan terjadinya gas karbon monoksida (CO). Semakin besar kadar karbon monoksida maka *losses* yang dihasilkan semakin besar.

. Adapun panas yang terbuang akibat radiasi dan konveksi (L_6) pada dinding-dinding boiler juga terjadi. Meskipun demikian nilainya kecil berkat insulasi yang terpasang pada boiler Unit 8 PLTU Paiton.

Adanya faktor kehilangan-kehilangan panas yang terjadi merupakan penyebab terjadinya penurunan, karena bahan bakar tidak seluruhnya diserap untuk pembentukan uap dan pemanasan, namun sebagian terbuang sebagai kehilangan-kehilangan panas/ heat loss.

4.18 Metode Pengurangan Losses

Adapun cara atau metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi *losses* atau meningkatkan nilai efisiensi pada boiler adalah,

1. Pembakaran bahan bakar yang sempurna sehingga tidak ada sisa bahan bakar yang tidak terbakar adalah praktik yang baik dan akan menambah efisiensi boiler.

2. Karbon yang tidak terbakar yang keluar dari tungku dapat diinjeksikan kembali lagi ke dalam tungku sehingga pembakaran bahan bakar dapat berlangsung secara sempurna.
3. Bottom ash dari boiler umumnya bersuhu tinggi dan memiliki banyak panas sensibel. Panas ini dapat dimanfaatkan untuk memanaskan terlebih dahulu udara atau air yang digunakan dalam boiler.
4. Rasio optimal bahan bakar terhadap udara dan menjaga udara berlebih serendah mungkin mengingat pembakaran bahan bakar yang sempurna dapat meningkatkan suhu tungku sehingga meningkatkan panas radiasi.
5. Bahan bakar bebas kelembaban harus diumpankan ke boiler sehingga tidak ada jumlah panas yang hilang dalam menghilangkan uap air dari bahan bakar.
6. Perawatan boiler harus dilakukan secara teratur dan menghilangkan kerak yang menempel pada tabung perpindahan panas harus menjadi perhatian utama karena skala ini mencegah perpindahan panas antara gas buang dan air.
7. Kehilangan radiasi dan konveksi meskipun tidak dapat diukur tetapi dapat dikurangi dengan perawatan boiler secara teratur dan menggunakan isolasi untuk mencegah kehilangan panas ke sekitarnya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari proses analisis efisiensi dan perhitungan performa pada boiler Unit 8 PLTU Paiton, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil perhitungan menggunakan metode *direct* didapatkan efisiensi boiler tertinggi hingga terendah berurut adalah produk batubara Adaro Coal dengan efisiensi sebesar 89,3784 %, disusul Kideco Coal dengan efisiensi sebesar 88,8912 %, dan terakhir KPC Coal dengan efisiensi sebesar 85,9359 %.
2. Hasil perhitungan menggunakan metode *indirect* didapatkan efisiensi boiler tertinggi hingga terendah berurut adalah produk batubara KPC Coal dengan efisiensi sebesar 86.4821 %, kemudian Adaro Coal dengan efisiensi sebesar 85.4197 %, dan terakhir Kideco Coal dengan efisiensi sebesar 81,8561 %, dan terakhir.
3. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan metode *indirect*, produk KPC Coal dengan nilai GCV sebesar 4933 kCal/kg merupakan faktor berpengaruh besar dalam mengurangi nilai losses pada produk tersebut secara keseluruhan.
4. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan metode *indirect*, produk batubara Adaro Coal dengan GCV sebesar 4743 kCal/kg. Meskipun nilai GCV-nya paling rendah, namun *chemical properties* yang dimiliki lebih baik dengan kadar karbon dan *moisture* yang lebih rendah daripada Kideco Coal.
5. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan metode *indirect*, produk batubara dengan efisiensi yang paling rendah adalah Kideco Coal dengan GCV sebesar 4769 kCal/kg. Meskipun nilai GCV-nya sedikit lebih tinggi daripada Finacia 106 Adaro, namun *chemical properties* yang dimiliki lebih buruk daripada Adaro Coal dengan nilai karbon yang jauh lebih tinggi dan persentase *moisture* yang besar.
6. Losses terbesar pada ketiga jenis batubara disumbang oleh tiga losses yaitu *heat loss due to dry flue gas* (L_1), *heat loss due to evaporation form of H_2 in fuel* (L_2), dan *heat loss due to moisture in fuel* (L_3).
7. Hasil analisa *plant heat rate* terhadap ketiga jenis batubara didapatkan secara berurut heat rate terbaik adalah Adaro Coal, Kideco Coal, dan KPC Coal

8. Hasil analisa thermal efficiency terhadap ketiga jenis batubara didapatkan secara berurut thermal efficiency terbaik adalah Adaro Coal, Kideco Coal, dan KPC Coal
9. Pemilihan batubara yang disarankan adalah KPC Coal sebagai bahan bakar boiler Unit 8 PLTU Paiton.

5.2 Saran

Adapun penelitian selanjutnya menggunakan perhitungan efisiensi boiler ditekankan untuk menggunakan data pembakaran ketika produk batubara yang dianalisis digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Global Electricity Consumption Continues to Rise Faster than Population,” *eia.gov*, 2020. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=44095> (accessed Jun. 29, 2022).
- [3] H. Suhaily, “Basic Power Generation.” PT. Paiton Operation & Maintenance Indonesia, Paiton, Probolinggo, 1998.
- [4] Mega Tertiasani, “Evaluasi Penggantian Material Tube Reheater Panel 33-37 Pada PLTU Berkapasitas 600 MW,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [5] M. J. Moran, H. N. Saphiro, D. D. Boettner, and M. B. Bailey, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics.*, 8th ed. Hoboken, New Jersey: Don Fowley, 2014.
- [6] I. Santiatma, “Pemodelan dan Analisa Boiler menggunakan Kesetimbangan Massa dan Energi,” p. 90, 2017.
- [7] A. E. Ruffell, “Once-Through Boilers,” *thermopedia.com*, 2011. <https://www.thermopedia.com/content/1001/> (accessed Jun. 28, 2022).
- [8] J. B. Kitto and S. C. Stultz, *Steam: Its Generation and Use 41st Edition*, 41st ed. Barberton, Ohio: The Babcock & Wilcox Company, 2005.
- [9] “Drum Boilers,” *Mitsubishi Power*. <https://power.mhi.com/products/boilers/lineup/circulation> (accessed Jun. 27, 2022).
- [10] “Fluidization,” *wikipedia.com*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Fluidization#:~:text=Fluidization \(or fluidisation\) is a,up through the granular material.](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluidization#:~:text=Fluidization%20(or%20fluidisation)%20is%20a,up%20through%20the%20granular%20material.) (accessed Jun. 28, 2022).
- [11] T. Farizqo Yuniar, “Skripsi analisa biomarka batubara muaraenim, sumatera selatan sebagai batubara sumber,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [12] World Coal Institute - WCI, *The coal resource a comprehensive overview of coal*. London, 2005.
- [13] H. Suhaily, “Power Plant Knowledge-Boiler v2.” PT. Paiton Operation & Maintenance Indonesia, Paiton, Probolinggo, p. 131, 2015.
- [14] W. J. Platzer, “Energy performance assessment method,” *Proc. Eurosun 1998 2nd Int. Conf. Sol. Heating, Cool. 14-17- Sept.1998*, 1999.

LAMPIRAN

Data Performa Boiler

DATE	GROSS GENERATIO N (MW)	NET GENERATIO N (MW)	BLR COAL MASS FLOW TOTAL (T/PH)	ST MAIN STM FLOW TO	THROTTLE PRESS (CONTROLL)	MAIN STEAM TEMP	BLR FEEDWATER FLOW TO	BLR FEEDWATER TO BOILER	BLR FEEDWATER TO BOILER	FLUE GAS CO ₂ (mg/m ³)	FLUE GAS CO (mg/m ³)	PAH GAS OUTLET TEMP	SAH A GAS OUTLET TEMP	SAH B GAS OUTLET TEMP
4/13/2022	649.29	617.01	318.94	2125.4	166.29	534.72	2042.8	186.13	272.16	23.165	12.891	156.81	156.52	155.71
4/16/2022	646.26	614.93	323.17	2121	165.54	524.77	1991.5	185.19	271.8	24.022	151.83	152.42	152.66	152.55
4/16/2022	646.06	614.73	321.71	2124.6	165.21	525.39	2006.5	186.01	272.08	23.806	186.22	152.8	152.83	152.78
4/16/2022	645.34	614.03	317.15	2125.5	166.35	524.55	2004.1	184.95	271.62	24.195	165.04	153.7	153.2	153.2
4/12/2022	645.93	613.41	318.51	2129.5	164.9	529.79	2006.5	184.87	271.94	22.481	183.93	157.04	152.62	152.64
4/13/2022	645.46	613.15	328.55	2120.3	166.79	530.39	2006	185.78	271.71	23.028	6.3561	159.33	159.88	159.79
4/14/2022	644.73	612.92	320.55	2145.5	165.68	524.61	2024.8	185.5	271.55	23.698	83.233	157.95	157.8	157.92
4/13/2022	644.93	612.77	319.52	2132.5	165.52	529.84	2028.9	185.96	271.52	23.073	125.61	157.26	152.45	152.49
4/13/2022	644.57	612.76	314.11	2137.2	166.25	529.96	2053.9	186.62	271.46	23.266	29.316	154.81	154.55	154.66
4/12/2022	645.58	612.7	319.27	2127.6	163.24	530.22	2006.2	182.99	272.03	22.095	185.23	158.2	152.94	152.99
4/16/2022	644.16	612.48	323.13	2139.1	165.59	524.41	2019.9	184.7	271.8	23.902	142.33	152.96	152.7	152.93
4/13/2022	643.55	612.32	313.42	2089.2	166.31	530.06	2009.5	185.71	271.12	23.141	20.982	155.97	155.88	155.82
4/15/2022	643.46	612.22	317.88	2065.8	165.43	524.6	1948.2	184.49	271.81	23.943	138.92	154.59	155.02	154.94
4/13/2022	644.08	612.06	318.83	2136.3	165.84	530.05	2056.5	186.13	271.33	23.106	67.933	155.02	153.5	153.41
4/14/2022	643.61	612.04	321.57	2128	165.64	525.41	1991.6	185.5	271.52	23.83	57.68	156.12	156.91	156.88
4/15/2022	643.1	611.59	316.44	2113.4	166.15	524.79	1969.9	185.62	271.42	23.837	48.867	158.26	158.1	158.12
4/13/2022	642.92	611.57	311.41	2096.5	166.5	529.93	2024.8	185.86	271.24	23.275	15.116	155.88	155.55	156.44
4/13/2022	643.16	611.5	307.11	2126.1	166.39	529.9	2033.4	185.55	271.36	23.314	6.7359	154.72	154.57	154.35
4/15/2022	642.93	611.33	319.42	2122.4	166.61	524.91	2008.6	186.11	271.47	23.828	61.868	156.62	156.25	156.34
4/14/2022	642.75	611.18	326.71	2067.3	165.54	525.24	1971	185.44	271.37	23.964	55.779	154.06	154.24	154.16
4/13/2022	642.95	611.11	315.59	2097.4	166.08	533.97	2031	184.44	271.08	23.131	7.0374	159.37	158.84	158.72
4/15/2022	642.35	610.94	314.7	2061.7	166.01	525.43	1949.2	184.73	271.66	23.739	91.375	156.82	156.98	157.1
4/13/2022	642.61	610.63	316.61	2080.8	166.16	534.96	2001.8	185.25	271.22	23.417	13.317	156.53	156.94	156.76
4/14/2022	642.65	610.62	324.68	2153.1	166.17	525.16	2028.5	186.09	271.54	23.673	5.4121	158.43	157.95	158.02
4/13/2022	642.75	610.51	332.4	2101	167.73	529.14	1996	185.13	271.54	22.649	50.51	157.75	157.22	156.79
4/14/2022	642.76	610.34	321.17	2160.6	166.88	524.96	2065.4	187.19	271.38	23.699	8.1533	158.91	158.94	158.98
4/14/2022	641.14	610.1	328.33	2146	167.32	525.09	2018.8	187.06	271.39	23.579	7.5192	156.29	155.96	155.99
4/14/2022	642.04	610.07	319.77	2145.4	165.9	525.16	2042.3	186.06	271.43	23.687	40.583	158.68	158.14	158.62
4/12/2022	642.69	609.91	318.21	2127.4	162.92	530.28	2030.5	183.39	271.65	22.072	110.13	156.94	151.89	152.15
4/13/2022	641.29	609.81	311.78	2086	166.05	532.54	2021.7	186.13	270.89	23.118	9.4663	158.09	157.92	158.47
4/12/2022	642.03	609.11	325.3	2131	162.61	530.04	2033.9	183.79	271.77	22.292	66.674	157.69	152.91	152.9
4/12/2022	642.01	609	324.94	2140.3	162.26	530.26	2064	183.45	271.92	22.215	79.843	157.73	152.99	152.89
4/14/2022	640.83	608.95	317.89	2104	165.9	525.24	1963.4	183.43	271.24	23.799	23.713	153.79	153.93	153.95
4/14/2022	639.81	608.67	328.13	2137.6	165.91	524.44	2024.5	186.63	271.35	23.568	36.186	154.68	155.25	154.77
4/12/2022	641.49	608.49	323.38	2135.7	163.54	529.9	2050.8	183.76	271.59	22.207	100.52	157.84	152.48	152.47
4/14/2022	639.82	608.36	316.05	2098.2	164.92	524.72	1959.5	183.89	271.07	23.681	51.231	153.31	153.63	153.47
4/15/2022	640.23	607.94	321.37	2116.2	165.48	525.22	1968.7	183.91	271.16	24.04	10.306	152.17	152.15	152.14
4/15/2022	639.75	607.58	319.99	2118.2	164.94	525.07	1973.7	183.71	271.23	23.766	7.6769	153.81	153.84	153.69
4/14/2022	638.46	607.25	318.17	2042.9	164.64	524.55	1937.8	185.19	271.02	23.734	113.58	152.7	152.13	151.83
4/15/2022	638.97	606.62	321.51	2020.9	165.19	524.87	1955.9	183.34	271.19	24.015	11.305	153.06	153.26	153.42
4/13/2022	635.06	602.8	320.51	2073.2	166.91	535.25	1970.8	185.74	270.82	23.234	69.062	156.79	156.57	157.27
4/14/2022	632.28	601.62	310.86	2127.1	166.61	524.94	2074.1	184.88	270.44	23.339	1.9688	161.92	162.1	161.88
4/14/2022	630	599.06	317.39	1923.5	164.93	525.49	1891.5	185.34	270.26	23.874	204.83	151.94	151.98	152.24
4/15/2022	630.54	598.57	311.9	2071.5	165.06	525.25	1933.4	183.42	270.23	23.919	18.187	153.35	152.8	152.83
4/14/2022	628.79	598.25	318.27	2121.1	165.57	522.7	2045.5	184.33	269.96	23.156	16.208	157.08	156.48	156.09
4/15/2022	628.88	597.44	314.18	2076.1	166.22	525.56	1949.2	184.44	270.19	23.581	137.29	155.19	155.55	155.55
4/13/2022	629.73	597.33	322.51	2080.7	167.69	533.43	2004.7	184.56	270.28	22.897	36.212	156.75	155.78	155.26
4/13/2022	624.11	593.43	304.27	2013.4	165.95	531.06	1939.4	182.21	269.15	23.104	60.059	156.06	155.93	156.25
Mean	640.79	608.98	319.11	2105.5	165.65	527.67	2002.7	185.01	271.27	23.378	65.296	156	155.18	155.18

Data Performa Reheater

POMI Patton			
All Shifts Snapshot Values (30/05/2022 03:52:30 to 31/05/2022 02:37:05)			
○	PU7 IMB.C00.A	BLR COLD RH TO BOILER FLOW (ATTEMP IN)	t(SI)/h 1859,662
○	PU7 IPB.C00.A	BLR COLD RH STM PRESS TO RH ATTEMP	barg 37,187
○	PU7 ITB.C00.A	BLR COLD RH STM TEMP TO RH ATTEMP	°C 323,276
○	PU7 IMB.H00.A	BLR HOT REHEAT FROM BOILER FLOW	t(SI)/h 1867,636
○	PU7 IPB.H00.A	BLR HOT RH PRESSURE FROM BOILER	barg 34,197
○	PU7 ITB.H00.A	HOT RH TEMP (CONTROLLED)	°C 531,840
○	PU7 IIG.N00.A	NET GENERATION	MW 610,104
			30/05/2022 12:15:00

Data Properties Batubara

KPC 4900

SI A - 082218


SURVEYOR INDONESIA

KAN
Kantor Akreditasi Nasional
Lingkup Kegiatan
LJK-MINBA05-01
Rev 04

SERTIFIKAT PENGAMBILAN SAMPEL DAN ANALISA
(Certificate of Sampling and Analysis)
No : COA-1903228019A/1050.K/30/DJB/2014/03/2022

Nama Kapal / Tongkang / (Name of Tugboat / Barge) : TB, DLT KOALA - BG, H95 232
Komoditas / (Commodity) : KPC 4900 COAL IN BULK
Kuantitas / (Quantity) : 10,220 Metric Tons
Pelabuhan Muat / (Port of Loading) : Tanjung Bera, Indonesia
Pelabuhan Bongkar / (Port of Discharging) : PAITON ENERGY PRIVATE JETTY, PAITON, PROBOLINGGO, EAST JAVA
Pembeli / (Notify Party) : PT FACTOR ENERGY
Sentral Senayan II, 5th Floor JI. Asia Afrika No.8 Jakarta 10270, Indonesia
Penerima / (Consignee) : PT FACTOR ENERGY
Sentral Senayan II, 5th Floor JI. Asia Afrika No.8 Jakarta 10270, Indonesia
Pengirim / (Shipper) : PT Kaltan Prima Coal
Bakrie Tower 15th Floor, Complex Rasuna Epicentrum,
Jl. H. R. Rasuna Said, Jakarta 12940, Indonesia
Tanggal Survei / (Date of Survey) : March 01st, 2022
Shipment No : KPC.0066/P70/22

THIS IS TO CERTIFY that the sampling and analysis sample have been conducted by surveyor. The following details of activities noted as follows :
General Condition of Sample : As far as visible, appearance of size was 0 - 75 mm, moist and color was brownish black.
Sampling Method : In accordance with ASTM Method, representative sample was taken by manual scoop during unloading from the vessel.
Total increment was collected in approximately 96 increments or 78 bags.
Sample Preparation : Gross sample was strip, composite, crushed, mixed, reduced and pulverized into one composite analysis for laboratory test.
Analysis Result : The analysis results was noted as follows.

Parameter	Unit	Result				Methods	
		AR	ADB	DB	DAFB		
Total Moisture	%	25,61	-	-	-	ASTM D 3302	
Proximate	Moisture in the Analysis Sample	%	-	14,70	-	ASTM D 3173	
	Ash Content	%	5,04	5,77	6,77	ASTM D 3174	
	Volatile Matter	%	23,00	27,61	44,36	47,58	ASTM D 3175
	Fixed Carbon	%	36,35	41,66	48,87	52,42	By Different
Total Sulphur	%	0,32	0,37	0,43	0,47	ASTM D 4239	
Gross Calorific Value	500/kg	4933	5452	6631	7112	ASTM D 5865	
Ultimate	Total Carbon	%	51,18	55,54	68,79	73,70	ASTM D 5373
	Total Hydrogen	%	3,96	4,08	4,79	5,13	
	Nitrogen	%	0,93	1,06	1,24	1,33	
	Sulfur	%	0,32	0,37	0,43	0,47	
	Oxygen	%	13,36	15,32	17,98	19,28	
	Hydrogen Sulfide	%	3,70	4,24	4,97	5,33	
	Chlorine	%	0,003	0,040	0,047	0,050	
Hairgrove Grindability Index	Index Point	48				ASTM D 409	
Size Test	Size fraction	> 30 mm		< 2 mm		ASTM D 4749	
	%	2,98		15,40			
Ash Fusion Temperatures (Reduction)	Initial Deformation Temp.	°C	1180			ASTM D 1857	
	Spherical Temp.	°C	1170				
	Hemispherical Temp.	°C	1200				
	Flattened Temp./Mud	°C	1350				
Ash Analysis Parameter	Unit	Result	Ash Analysis Parameter	Unit	Result	Methods	
SiO ₂	%	49,34	SiO ₂	%	1,48	Ignited at 800°C ASTM D 3082	
Al ₂ O ₃	%	20,93	TiO ₂	%	1,39		
Fe ₂ O ₃	%	11,00	SO ₃	%	4,52		
CaO	%	4,81	Mn ₂ O ₃	%	0,10		
MgO	%	4,38	P ₂ O ₅	%	0,23		
Na ₂ O	%	1,43					

Tanggal diterbitkan / Date of issued : March 04th, 2022
Dilaporkan oleh / Reported by :
Analisis / Analyst :

LUTFIA APIPAH
2018/SI-Mineral/078

Disetujui oleh / Approved by :

MUHAMMAD ARYUDA
Site Manager

Sertifikat ini didasarkan kepada our finding at time and place of inspection and does not refer to any other matter. This certificate/report is issued without prejudice and on the condition that the recipient has accepted its obligations. All inspection covered in this certificate/report have been carried out to the best of our knowledge and skill.

1) Datas Pertambangan Energi Indonesia yang umumnya accepted in trade. Our responsibility is limited to the exercise of reasonable care and due diligence.
2) Datas Pertambangan Energi Indonesia yang umumnya accepted in trade. Our responsibility is limited to the exercise of reasonable care and due diligence.
3) Datas Pertambangan Energi Indonesia yang umumnya accepted in trade. Our responsibility is limited to the exercise of reasonable care and due diligence.

Kideco



SAMARINDA
Jl. KH. Hasan Nefel No. 58, RT. 22, Kel. Rapak Dalam
Kec. Loe Janan Ibir, Samarinda, Kalimantan Timur

**SERTIFIKAT PENGAMBILAN SAMPEL DAN ANALISA
(Certificate of Sampling and Analysis)**

No : C2103.22D22.001AD/AWP-MINERBA/1029K/30/DJB/2014/IV/2022

COAL BRAND	:	ROTO SOUTH CLEAN COAL
QUANTITY	:	10,704 MT
SHIPPER	:	PT KIDECD JAYA AGUNG JL. JEND. GATOT SUBROTO KAW. 21 JAKARTA SELATAN 12930
CONSIGNEE	:	PT. PAITON ENERGY SENTRAL SENAYAN II, 5TH FLOOR, JL. ASIA AFRIKA NO. 8 JAKARTA 10270, INDONESIA
NOTIFY PARTY	:	PT. PAITON ENERGY SENTRAL SENAYAN II, 5TH FLOOR, JL. ASIA AFRIKA NO. 8 JAKARTA 10270, INDONESIA
DESTINATION	:	PAITON DISCHARGING PORT, EAST JAVA, PEC 3 VOYAGE 38/2022
VESSEL	:	BG. BINA SARANA II / TB. BERLIAN PACIFIC I
LOADING DATE	:	APRIL 18, 2022
VOYAGE	:	PEC 3 VOYAGE 38/22

Ultimate Analysis (Dry Ash Free Basis):	Result
-Sulfur	0.11 Pct
-Nitrogen	1.15 Pct
-Carbon	69.31 Pct
-Hydrogen	5.31 Pct
-Oxygen	24.12 Pct
Ash Fusion Temperature (Under Reducing Conditions) Degree C:	Result
-Initial Deformation Temperature	1,230
-Softening Temperature	1,240
-Hemispherical Temperature	1,250
-Fluid Temperature	1,260
Ash Analysis (Dry Basis)	Result
-SiO ₂	28.70 Pct
-Al ₂ O ₃	9.85 Pct
-Fe ₂ O ₃	25.50 Pct
-CaO	18.54 Pct
-MgO	9.35 Pct
-Na ₂ O	0.14 Pct
-K ₂ O	0.72 Pct
-Mn ₂ O ₄	0.28 Pct
-TiO ₂	0.73 Pct
-P ₂ O ₅	0.06 Pct
-SO ₃	5.07 Pct

Samarinda, April 22, 2022

PT. ANINDYA WIRAPUTRA KONSULT


Muhammad Darul Qutbi
(2017/AWP-MINERBA/001)



Adaro

TEST REPORT

Our ref number : KS-0221 / IV / 2022
 Order number : 57020122000080
 Reported to : Mr. Paul H Tobing
 PT. Adaro Indonesia
 Menara Karya 22nd - 23rd Floor Jl. H.R. Rasuna Said Blok X-5 Kav 1-2
 Jakarta 12950, Indonesia

Copy to : Mr. Wahyu Sulistyo (Technical Services Division Head).
 Mr. Freddy Jul Pribadi (Coal Product QAQC & Lab Dept Head).
 Mr. Muhammad Icksan Ade Prasetyo (Coal Laboratory Services Section Head).
 PT SUCOFINDO Cabang Banjarmasin.

Cargo ID : B2201062 (0020201516)
 Barge name : FINACIA 106
 Tug Boat name : ENTEBE MEGASTAR 56
 Draft Survey : 12,527 MT
 Loading started : April 16, 2022
 Loading finished : April 17, 2022
 Loading port : Kelanis Port
 Destination : PAITON - East Java
 Buyer : Paiton Energy
 B/L number (NOC) : PE3T1 22/060
 Voyage Number : ADR.060/P3/22
 Standard method : ASTM

Parameter Analysis (reported results)

	<u>ar</u>	<u>adb</u>	<u>db</u>	<u>daf</u>	
Total Moisture	28.6	-	-	-	%
Moisture in analysis	-	18.0	-	-	%
Ash Content	2.0	2.3	2.8	-	%
Volatile matter	36.0	41.4	50.5	51.9	%
Fixed carbon	33.4	38.3	46.7	48.1	%
Total sulphur	0.10	0.12	0.15	0.15	%
Gross calorific value	4743	5447	6643	6834	kcal/kg
Hardgrove Grindability Index		44			index

Size Analysis :

Retained on 50.0 mm	4.7	%
Retained on 31.5 mm	22.0	%
Retained on 22.4 mm	11.0	%
Retained on 11.2 mm	21.9	%
Retained on 6.3 mm	11.2	%
Retained on 4.75 mm	4.4	%
Retained on 2.0 mm	8.5	%
Retained on 1.0 mm	5.9	%
Retained on 0.5 mm	4.2	%
Passing by 0.5 mm	6.2	%
Passing by 2.0 mm	16.3	%

Reported size analysis

Size 0 - 50 mm	95.3
Size 0 - 6.0 mm	28.3

Reported in other basis

Ash Content (ar)	4.220
Total sulphur (ar)	0.211

Ash analysis dry basis

SiO ₂	28.75	%
Al ₂ O ₃	11.23	%
Fe ₂ O ₃	15.93	%
CaO	22.76	%
MgO	10.60	%
Na ₂ O	1.56	%
K ₂ O	1.05	%
Mn ₂ O ₄	0.28	%
TiO ₂	0.62	%
P ₂ O ₅	0.23	%
SO ₂	6.17	%
Undetermined	0.82	%

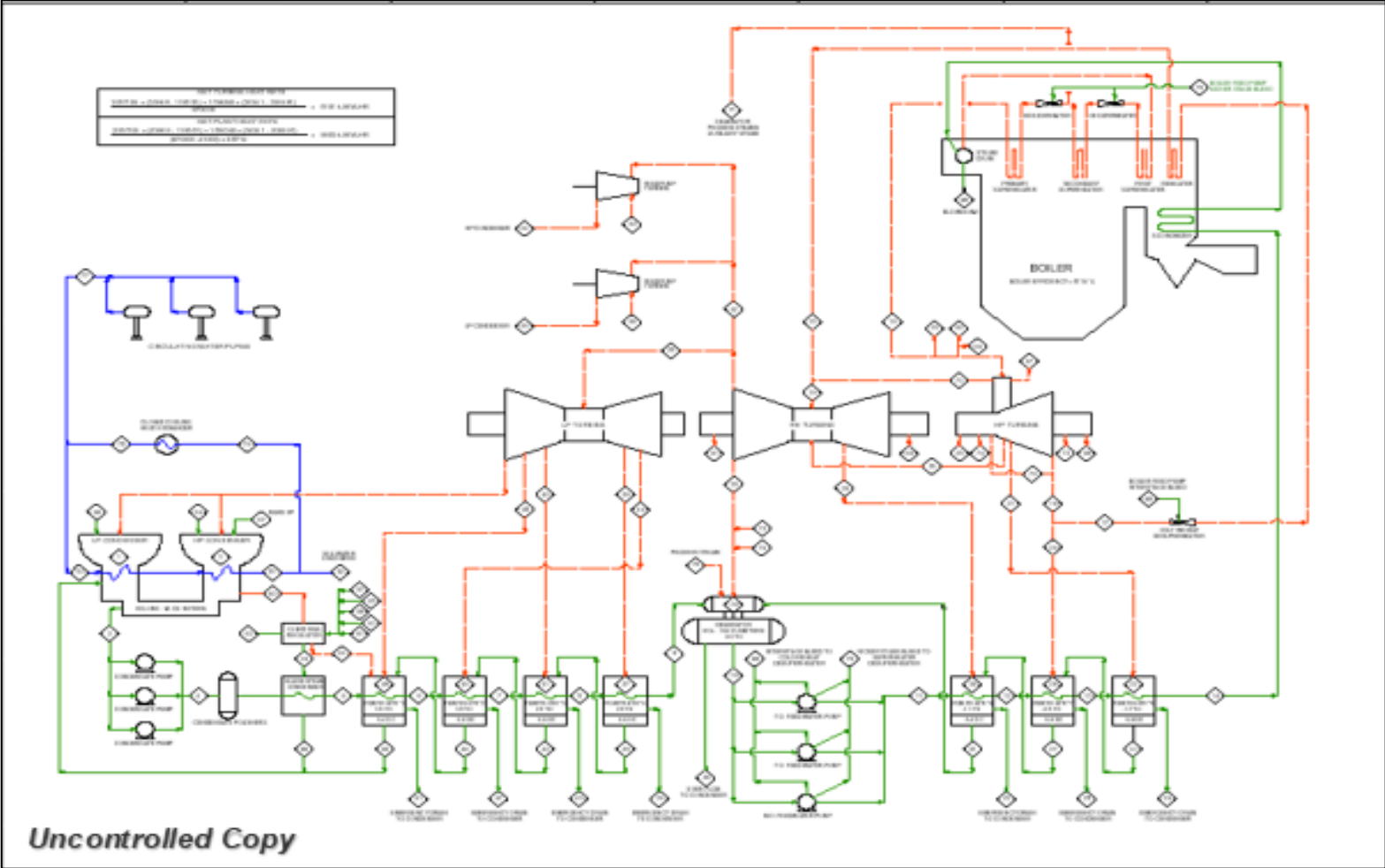
Ash fusion temperatures (Reducing Atm

Deformation	1210
Spherical	1220
Hemispherical	1230
Flow	1240

Ultimate analysis

	<u>ar</u>	<u>adb</u>	<u>db</u>	<u>dafb</u>	
Total moisture	28.6	%	-	%	-
Moisture in analysis	-	%	18.0	%	-
Ash content	2	%	2.3	%	2.8
Carbon	50.3	%	57.8	%	70.5
Hydrogen *	3.77	%	4.33	%	5.28
Nitrogen	0.62	%	0.71	%	0.87
Sulphur	0.10	%	0.12	%	0.15
Oxygen (by difference)*	14.61	%	16.74	%	20.40
*excluding water constituents					21.03

Gambar Performansi PLTU Unit 8 Paiton




Logbook Kegiatan Magang

No	Tanggal	Waktu	Kegiatan	Keterangan
1	Senin, 4 April 2022	16.00- 17.00	Pengenalan	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	08.30- 11.00	Belajar Mandiri Terkait Boiler	WFH, Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
4	Kamis, 7 April 2022	08.30- 11.00	Belajar Mandiri Terkait Boiler	WFH, Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler
5	Jum'at, 8 April 2022	08.30- 11.00	Belajar Mandiri Terkait Boiler	WFH, 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	08.30- 11.00	Belajar Mandiri Terkait Komponen Boiler	WFH, Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical
8	Rabu, 13 April 2022	16.00- 17.00	Diskusi dengan pembimbing	Pertemuan online, membahas perihal komponen pada unit pembangkit subcritical
9	Kamis, 14 April 2022	08.30- 11.00	Belajar Mandiri Terkait	WFH, Pencarian dan Pembelajaran dari Studi Literatur mengenai Boiler Subcritical

			Komponen Boiler	
10	Jum'at, 15 April 2022	08.30- 11.00	Belajar Mandiri Performansi Boiler	WFH, 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	08.30- 14,00	Pengerjaan Tugas Khusus	WFH, Pencarian Studi Literatur Terkait kinerja Boiler dan klasifikasinya
17	Selasa, 26 April 2022	08.30- 14.00	Pengerjaan Tugas Khusus	WFH, Pencarian Studi Literatur Terkait Perhitungan Efisiensi Boiler
18	Rabu, 27 April 2022	08.30- 14.00	Pengerjaan Tugas Khusus	WFH, Perhitungan Performa dan Efisiensi Boiler

19	Kamis, 28 April 2022	08.30- 14.00	Pengerjaan Tugas Khusus	WFH, Perhitungan SFC, NPHR, Thermal Efficiency, dan Prioritas Siagram Sankey
20	Jum'at, 29 April 2022	15.30- 17.00	Penyusunan Laporan Akhir Magang Industri	Penyusunan Laporan serta Pemaparan Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler

Surat Penerimaan Magang



Paiton, 30 November 2021

POMI/KAP/BJ/56063-1086

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 menanda-tangani Perjanjian Kerahasiaan.

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.

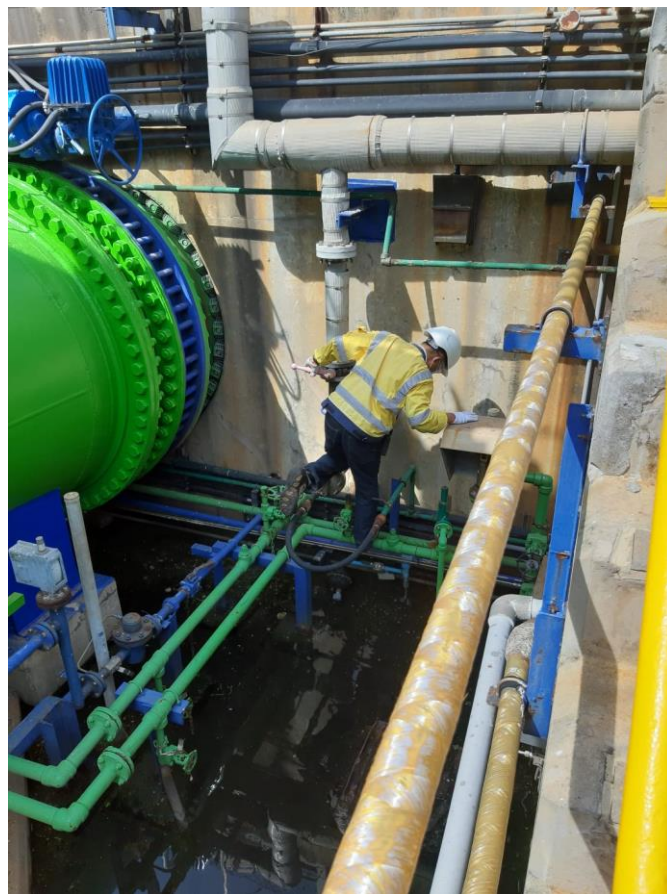
Hormat kami;

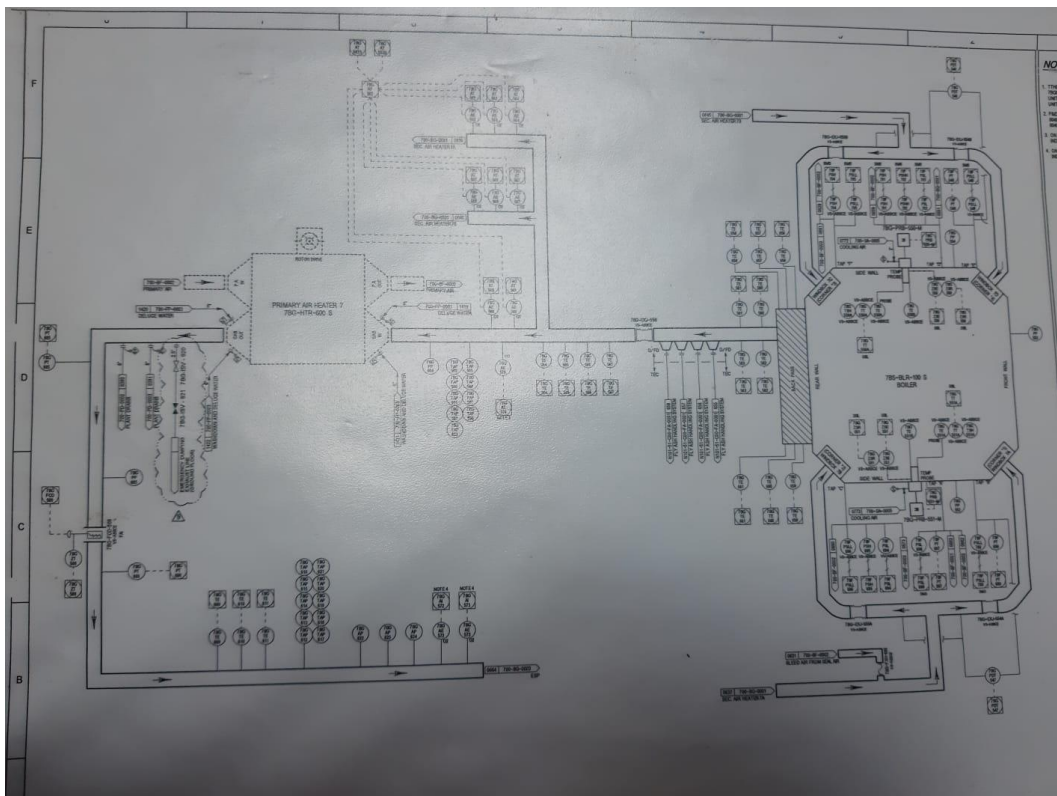


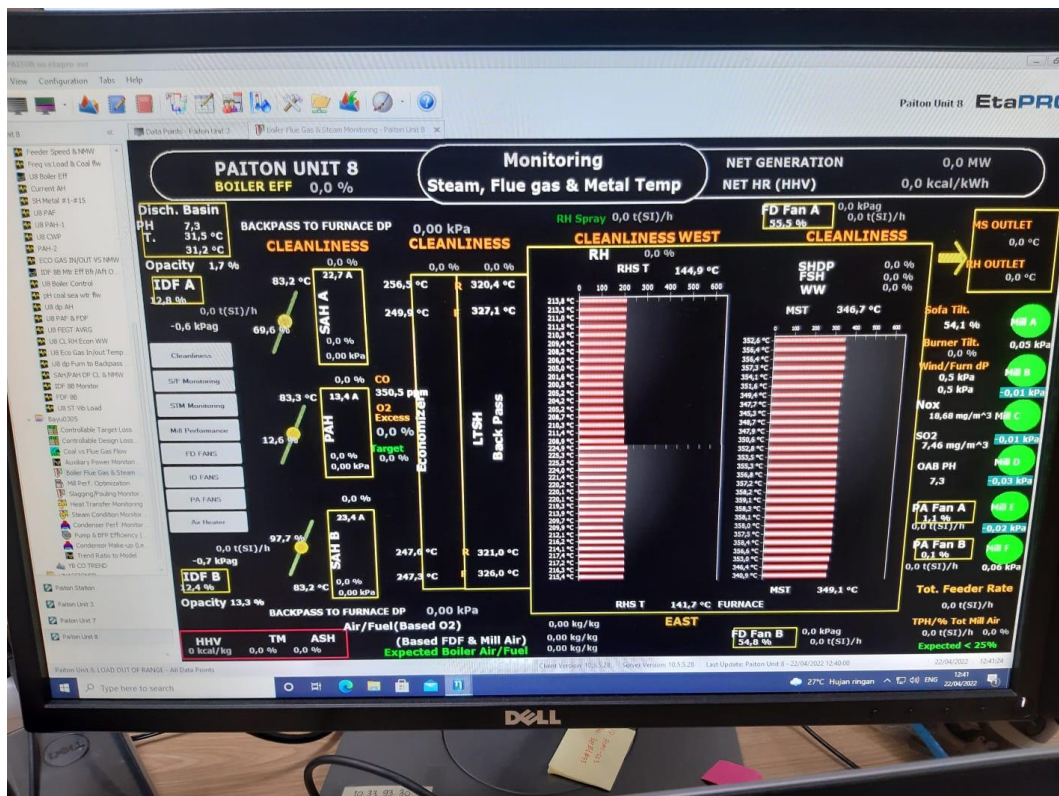
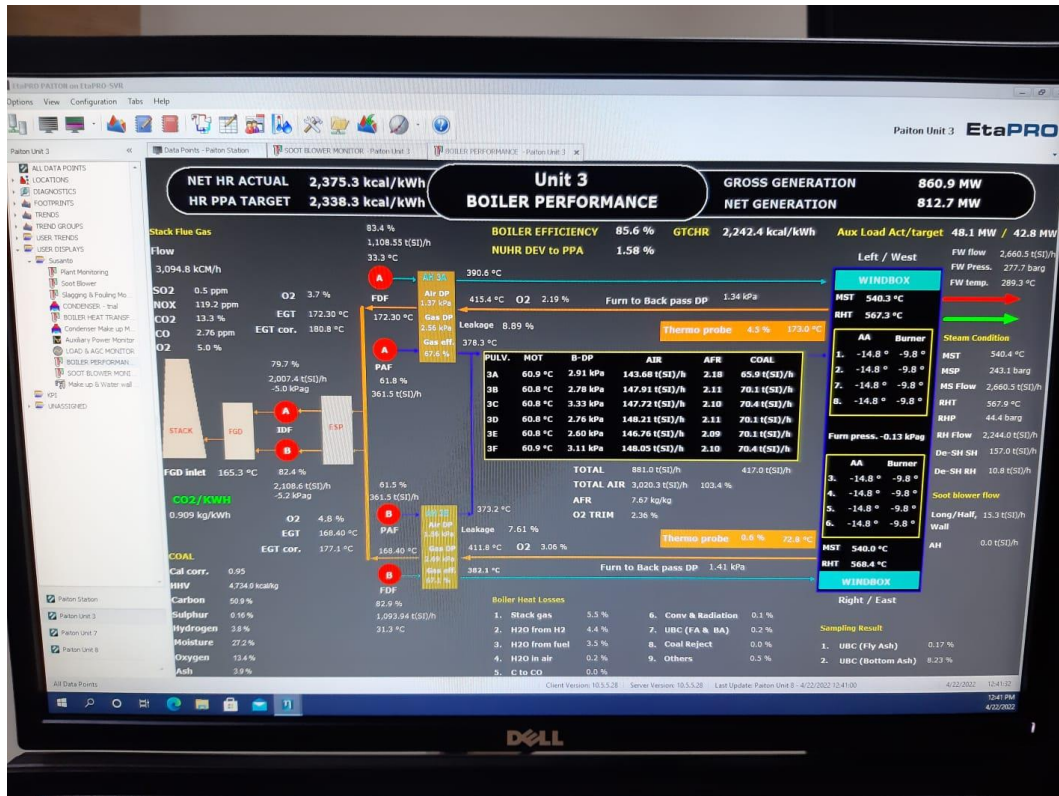
Bambang Jiwantoro
CSR, Facilities & Security Manager

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

Dokumentasi Magang







Lembar Penilaian Pembimbing Lapangan

Form Penilaian dari Pembimbing Lapangan / Mitra

Nama Mahasiswa : Immadudin Prima Sudewa

NRP : 10211910010027

Nama Mitra/Industri : PT. Paiton Operation & Maintenance Indonesia

Unit Kerja : Divisi Production

Nama Pembimbing Lapangan: Bpk. Hamam Suhaily

Waktu Magang : 4 April 2022 – 5 Mei 2022

NO	KOMPONEN	NILAI	KRITERIA PENILAIAN					
			<56	56-60	61-65	66-75	75-85	≥86
1	Kehadiran	90	<82%	82-84%	85-90%	89-91%	92-95%	>95%
2	Ketepatan waktu kerja*	90	<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	85,0	Nilai Akhir PL = $\sum \text{Nilai}/11$					

*)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 : ... hari b. Sakit : ... hari c. Tanpa Izin : ... hari

Probolinggo, 4 Juli 2022

Pembimbing Magang,




(HAMAM SUHAILY)

Lembar Penilaian Dosen Pembimbing

PENILAIAN DOSEN PEMBIMBING MAGANG INDUSTRI

Nama Mahasiswa : Immadudin Prima Sudewa
 NRP : 10211910010027
 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

Form Asistensi

Nama mahasiswa : Immadudin Prima Sudewa

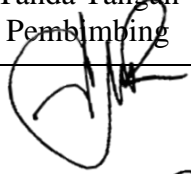

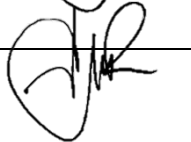


NRP : 10211910010027

Nama Mitra : PT. Paiton Maintenance & Operation Indonesia

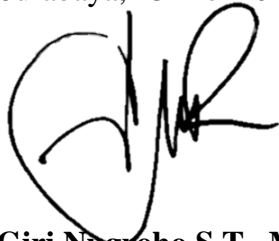
Unit Kerja : Departemen Produksi

Nama Pembimbing Lapangan : Hamam Suhaily

Nama Pembimbing Departemen : Giri Nugroho S.T., M.Sc

No	Tanggal	Materi yang dibahas	Tanda Tangan Pembimbing
1	5 April 2022	Perkenalan dan penjelasan cakupan magang industri	
2	14 April 2022	Asistensi mengenai pelaporan kegiatan yang dilakukan, materi tentang boiler	
3	22 April 2022	Asistensi mengenai pelaporan kegiatan di plant pembangkit dan pembahasan topik 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