



**Analisa Pengaruh *Soot Blower* Pada Sistem
Economizer Terhadap Efisiensi *Boiler* Unit 03 di
PT. Bintan Alumina Indonesia**

Tugas Akhir

**Oleh:
Miza Ramadan (4232101011)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Analisa Pengaruh *Soot Blower* pada Sistem *Economizer* Terhadap Efisiensi *Boiler* Unit 03 di PT. Bintang Alumina Indonesia” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 10 Januari 2025



Miza Ramadan

NIM: 4232101011

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Miza Ramadan (4232101011)

Tanggal Sidang: 08-01-2024

Disetujui Oleh

Penguji I



Ridwan S.ST., M. Tr.T
NIK: 113113

Dosen Pembimbing



Hasnira, S.ST., M. Tr. T
NIK: 113112

Penguji II



Dr. Didi Istardi, S. T., M. Sc.
NIK: 102022

Lembar Pengesahan Industri

Data laporan Tugas Akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapat izin untuk disimpan, dikelola dan dipublikasikan untuk kepentingan akademik.

Disusun oleh:
Miza Ramadan (4232101011)

Program Studi : Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan : Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam

Judul Tugas Akhir : Analisa Pengaruh *Soot Blower* pada Sistem *Economizer*
Terhadap Efisiensi *Boiler* Unit 03 di PT. Bintang Alumina Indonesia.

Perusahaan : PT Bintang Alumina Indonesia (BAI)

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing



Hasnira, S.ST., M. Tr. T
NIK: 113112

Pembimbing Industri

A black ink signature of Muhamad Rama Ardiansyah.

Muhamad Rama Ardiansyah
NIK: I21100044

HRD/Manager



Jeprianto
NIK: I2007003

Analisa Pengaruh *Soot Blower* Pada Sistem *Economizer* Terhadap Efisiensi *Boiler* Unit 03 di PT. Bintang Aluimina Indonesia

Abstrak

Efisiensi *boiler* sangat dipengaruhi oleh kinerja *economizer*. Jika *economizer* bekerja dalam kondisi tidak optimal, hal ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi yang signifikan. Performa *economizer* sangat dipengaruhi oleh adanya tumpukan debu atau kerak yang menempel pada pipa-pipa *economizer*. Jika tumpukan debu atau kerak dibiarkan menempel pada pipa-pipa *economizer*, maka dapat menghambat perpindahan panas antara gas buang dan air umpan, sehingga temperatur air umpan yang akan dialirkan kedalam *boiler* masih rendah. Ketika temperatur air umpan yang dialirkan kedalam *boiler* masih rendah maka diperlukan pemanasan yang lebih lama di dalam *boiler* dan membutuhkan bahan bakar yang banyak untuk merubah air menjadi uap, hal ini dapat mengurangi efisiensi *boiler*. Maka untuk mengatasi masalah tersebut digunakan *sootblower* pada *economizer* untuk membersihkan debu atau kerak yang menempel pada pipa-pipa *economizer*. Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan efisiensi *boiler* sebelum *sootblower* yaitu sebesar 80,56% dengan penggunaan bahan bakar sebesar 22960 (kg/h) sedangkan setelah dilakukan *sootblower* yaitu sebesar 87,48% dengan penggunaan bahan bakar sebesar 22700 (kg/h). penggunaan *sootblower* pada *economizer* dapat meningkatkan efisiensi *boiler* dan menghemat penggunaan bahan bakar.

Kata kunci: *Economizer*, *Sootblower*, Efisiensi *Boiler*.

Analysis of the Effect of Soot Blower on Economizer System on Boiler Efficiency Unit 03 at PT. Bintan Alumina Indonesia

Abstract

The efficiency of the boiler is greatly influenced by the performance of the economizer. If the economizer is operating under suboptimal conditions, this can lead to a significant decrease in efficiency. The performance of the economizer is greatly affected by the presence of dust or scale that sticks to the economizer pipes. If dust or scale accumulations are allowed to stick to the economizer pipes, it can inhibit heat transfer between the exhaust gas and the feed water, so that the temperature of the feed water to be flowed into the boiler is still low. When the temperature of the feed water flowing into the boiler is still low, it requires longer heating in the boiler and requires a lot of fuel to convert water into steam, this can reduce the efficiency of the boiler. So to overcome this problem, a sootblower is used on the economizer to clean dust or scale that sticks to the economizer pipes. After calculations, the efficiency of the boiler before the sootblower was 80.56% with a fuel consumption of 22960 (kg/h) while after the sootblower was 87.48% with a fuel consumption of 22700 (kg/h). The use of sootblower in economizers can improve boiler efficiency and save fuel consumption.

Keywords: Economizer, Sootblower, Boiler Efficiency.

Kata Pengantar

Puji dan Syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, karena berkat Rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Pengaruh *Soot Blower* pada Sistem *Economizer* Terhadap Efisiensi *Boiler* Unit 03 di PT. Bintang Alumina Indonesia.”

Tugas Akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik prodi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam.

Selama penulisan Tugas Akhir ini, saya banyak menerima bantuan dan dukungan sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang senantiasa mendoakan, memotivasi, serta dukungan baik secara moral maupun finansial.
2. Ibu Hasnira, S.Si., M. Tr. T selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan masukan, memberi dukungan dan motivasi kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir.
3. Bapak Fauzun Atabiq, S. T., M.Cs selaku Dosen wali Prodi RPE kelas pagi-A
4. Bapak Irwanto Zarma Putra, s.pd., M.Eng. selaku ketua program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.
5. Seluruh dosen dan staff karyawan Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi.
6. Abang Muhamad Rama Ardiansyah selaku pembimbing lapangan di PLTU PT Bintang Alumina Indonesia.
7. Seluruh senior-senior divisi boiler yang telah banyak memberi ilmu pengetahuan dan praktik lapangan kepada penulis.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca. Penulis ucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan perhatian serta bimbingannya kepada penulis dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Batam, 27 Desember 2024



Miza Ramadan

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Pengesahan Industri.....	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	iv
Abstract	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	x
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan.....	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka	3
2.1. Prinsip Kerja PLTU	3
2.1.1. Siklus Rankine PLTU	4
2.2. <i>Boiler</i> (Katel uap).....	5
2.2.1. Boiler Pulverized	6
2.2.2. Desain Boiler.....	7
2.2.3. Komponen Utama Boiler	8
2.3. Economizer	9
2.3.1. Mekanisme Economizer	11
2.3.2. Kontruksi Economizer	12
2.4. Analisa Perhitungan Economizer	12
2.5. Analisis Efisiensi Boiler.....	13

2.5.1. Perhitungan Efisiensi Boiler	14
2.6. Pengaruh sootblower pada economizer	14
2.6.1. Cara Kerja Sootblower.....	15
Bab 3. Metodologi Penelitian / Metode Pelaksanaan.....	17
3.1. Gambaran umum	17
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....	18
3.3. Teknik Pengumpulan Data	18
3.4. Pengolahan Data	20
3.5. Analisis Data.....	21
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	22
4.1. Data Hasil Penelitian.....	22
4.1.1. Analisis Economizer.....	26
4.1.2. Analisis Efisiensi Boiler	28
4.2. Grafik dan Pembahasan.....	31
4.2.1 Efisiensi Economizer	31
4.2.2 Efisiensi Boiler	33
Bab 5. Kesimpulan dan Saran.....	35
5.1. Kesimpulan	35
5.2. Saran	35
Daftar Pustaka.....	36
Biodata	37
Lampiran.....	38

Daftar Gambar

Gambar 1. Proses Konversi Energi PLTU	3
Gambar 2. Prinsip Siklus Rankine	4
Gambar 3. Skema Boiler di PLTU PT. BAI.....	5
Gambar 4. Boiler Pipa Api	7
Gambar 5. Boiler Pipa Air.....	8
Gambar 6. . Mekanisme Economizer	11
Gambar 7. Economizer	12
Gambar 8. Naraca Panas Energi Boiler.....	13
Gambar 9. Posisi Sootblower Pada Economizer	15
Gambar 10. Posisi Sootblower di Sistem DCS PT. BAI	16
Gambar 11. Diagram Alir Tahapan Penelitian	17
Gambar 12. Lokasi Penelitian	18
Gambar 13. Grafik hubungan temperatur air umpan terhadap efisiensi economizer sebelum sootblower dan sesudah sootblower pada bulan Oktober.....	31
Gambar 14. Grafik hubungan temperatur air umpan terhadap efisiensi economizer sebelum sootblower dan sesudah sootblower pada bulan November.....	32
Gambar 15. Grafik hubungan penggunaan bahan bakar terhadap efisiensi boiler sebelum sootblower dan sesudah sootblower pada bulan Oktober.....	33
Gambar 16. Grafik hubungan penggunaan bahan bakar terhadap efisiensi boiler sebelum sootblower dan sesudah sootblower pada bulan November	33

Daftar Tabel

Tabel 1. Spesifikasi <i>Boiler</i> di PLTU PT. BAI	6
Tabel 2. Spesifikasi Economizer PLTU PT.BAI	10
Tabel 3. Tabel Parameter <i>Economizer</i> Sebelum dan Sesudah Pengoprasian <i>SootBlower</i>	19
Tabel 4. Table parameter data <i>Boiler</i> sebelum dan sesudah pengoprasian <i>sootblower</i>	19
Tabel 5. Tabel Parameter Nilai <i>Economizer</i> Sebelum Dilakukan <i>Sootblower</i> Pada Bulan Oktober	22
Tabel 6. Tabel Parameter Nilai Economizer Sesudah dilakukan Sootblower Pada Bulan Oktober	22
Tabel 7. Tabel Parameter Nilai Economizer Sebelum dilakukan Sootblower Pada Bulan November	23
Tabel 8. Tabel Parameter Nilai Economizer Sesudah dilakukan Sootblower Pada Bulan November	23
Tabel 9. Tabel Parameter Nilai Boiler Sebelum dilakukan Sootblower Pada Bulan Oktober	24
Tabel 10. Tabel Parameter Nilai Boiler Sesudah dilakukan Sootblower Pada Bulan Oktober	24
Tabel 11. Tabel Parameter Nilai Boiler Sebelum dilakukan Sootblower Pada Bulan November	25
Tabel 12. Tabel Parameter Nilai Boiler Sesudah dilakukan Sootblower Pada Bulan November	25

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) menjadi sumber energi utama yang digunakan sebagai penghasil listrik untuk memenuhi kebutuhan industri di kawasan PT. Bintan Alumina Indonesia (BAI). PLTU merupakan sistem pembangkit listrik yang memiliki biaya operasional tergolong rendah karena menggunakan air sebagai fluida kerja. Pembangkit Listrik Tenaga Uap di PT BAI (Bintan Alumina Indonesia) menggunakan batu bara sebagai bahan bakar yang digunakan dalam proses pembakaran pada boiler guna menghasilkan uap yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik. Dalam proses tersebut, boiler memiliki peranan penting karena menjadi tempat pemanasan air yang akan dirubah menjadi uap kering dengan temperatur tertentu. Oleh karena itu, efisiensi boiler menjadi salah satu faktor utama dalam menentukan kinerja keseluruhan PLTU.

Efisiensi boiler sangat dipengaruhi oleh kinerja economizer. Jika economizer bekerja dalam kondisi tidak optimal, hal ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi yang signifikan. Sistem economizer mempunyai peran yang vital dalam menaikkan efisiensi boiler dengan memanfaatkan panas gas buang dalam memanaskan air umpan apabila masuk pada boiler[1]. Namun, salah satu tantangan utama untuk mempertahankan performa economizer adalah penumpukan debu atau kerak yang dikenal sebagai soot pada pipa-pipa economizer. Dampak dari penumpukan soot ini dapat mengurangi kemampuan perpindahan panas antara gas buang dan air sehingga dapat mengurangi efisiensi sistem secara keseluruhan. Ketika kemampuan perpindahan panas menurun, maka boiler memerlukan lebih banyak bahan bakar untuk mencapai suhu operasi yang diperlukan sehingga menyebabkan meningkatnya biaya operasional dan menurunkan efisiensi energi[2]. Yang menjadi solusi untuk diterapkan dalam mengupayakan masalah ini melalui penggunaan soot blower pada economizer.

Sootblower merupakan sebuah alat yang bekerja dengan meniupkan uap atau udara bertekanan tinggi untuk membersihkan lapisan soot dari pipa-pipa economizer. Dengan menerapkan penggunaan sootblower secara efektif, maka diharapkan dapat memaksimalkan penyerapan panas dan membersihkan debu atau kerak yang menempel pada pipa-pipa economizer, sehingga dapat meningkatkan efisiensi boiler. Oleh sebab itu, saya mengangkat masalah ini kedalam tugas akhir saya melalui judul "Pengaruh sootblower pada sistem economizer terhadap efisiensi boiler di unit O3 di PT. Bintan Alumina Indonesia".

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan ruang lingkup masalah yang penulis tentukan dan latar belakang sehingga mampu dirumuskan topik permasalahan yang perlu dijelaskan dalam tugas akhir yang dijalankan ini, yakni:

1. Bagaimana pengaruh *sootblower* terhadap temperatur air umpan?
2. Bagaimana dampak *sootblower* pada *economizer* terhadap peningkatan efisiensi *output* boiler sebelum dan sesudah dilakukan *sootblowing* pada *economizer*?

1.3. Tujuan

Bersumber rumusan dari masalah yang sudah disampaikan, tujuan pada tugas akhir ini merupakan:

1. Memahami dan mengetahui perbedaan temperatur air umpan sebelum dan sesudah penggunaan *SootBlower*
2. Menganalisis pengaruh *SootBlower* pada *Economizer* terhadap peningkatan efisiensi keluaran Boiler sebelum maupun sesudah dijalankan *SootBlowing* di *Economizer*

1.4. Manfaat

1. Mengetahui lebih dalam tentang pentingnya *SootBlower* pada *Economizer* terhadap efisiensi *Boiler*
2. Manfaat untuk penulis agar meningkatkan khasanah terkait ilmu pengetahuan serta pengalaman sehingga mampu dalam menjalankan aktivitas yang sama kelak sesudah terjun kelapangan maupun bekerja
3. Hasil pada penelitian yang dilakukan ini mampu dimanfaatkan menjadi referensi untuk penelitian dimasa depan yang berkaitan dengan *SootBlower*

1.5. Batasan

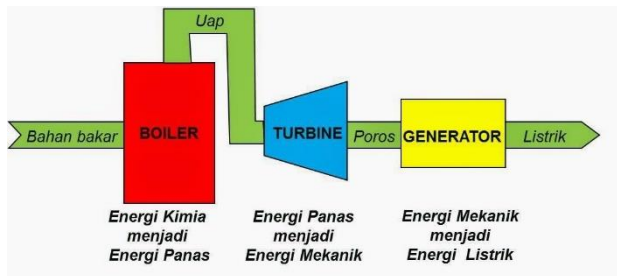
Berdasarkan permasalahan yang wajib diselesaikan pada penelitian ini, sehingga wajib adanya batasan dari masalah untuk menjalankan analisis yang akhirnya tidak melebar serta memberikan kemudahan untuk menjalankan perhitungan. Batasan dari masalah yang ada yakni:

1. Pengambilan dari data difokuskan dalam Boiler unit 3 di PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia.
2. Analisis didasarkan pada data dari operasi yang didapatkan pada Control Room (CR).
3. Penelitian ini mencakup tentang nilai efisiensi *Economizer* dan Efisiensi *Boiler* saja

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Prinsip Kerja PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memanfaatkan energi jenis kinetik dari uap dalam memperoleh listrik. Sistem ini mengubah energi jenis kimia yang diubah dalam energi listrik melalui uap yang dijadikan fluida kerjanya. Uap tersebut dihasilkan melalui reaksi kimia bahan bakar untuk pembakaran dalam *boiler*, yang berfungsi memanaskan air dalam *boiler*. [3].

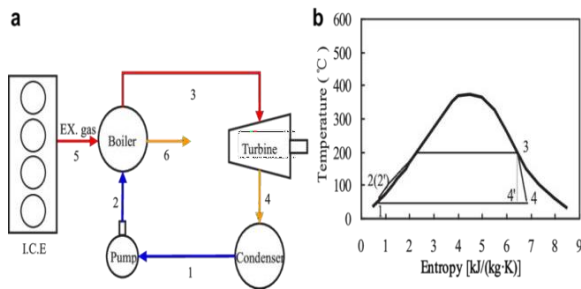


Gambar 1. Proses Konversi Energi PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan uap dan air sebagai fluida kerja dalam siklus tertutup, di mana fluida yang serupa digunakan terus-menerus. Sederhananya, air diisi ke dalam ketel hingga menutupi seluruh permukaan pemindah panas. Di dalam ketel, air dipanaskan oleh pemanas yang memanfaatkan bahan bakar untuk pembakaran contohnya batu bara, minyak, maupun gas hingga berubah menjadi uap melalui tekanan maupun suhu yang sudah ditentukan. Uap yang diperoleh kemudian dialirkan ke turbin untuk memperoleh energi mekanik. Putaran turbin ini dihubungkan melalui generator dalam memperoleh energi listrik. Uap sisa dari turbin didinginkan di kondensor menggunakan air pendingin hingga dikonversi dalam bentuk air kondensat, yang kemudian dipompa kembali ke *boiler* menjadi air pengisi. Siklus ini terjadi secara berkepanjangan.

2.1.1. Siklus Rankine PLTU

Siklus dari Rankine merupakan siklus termodinamika dengan menggambarkan cara kerja PLTU dalam mengubah energi kimia pada bahan untuk pembakaran dalam bentuk energi jenis mekanik, yang selanjutnya dikonversi dalam bentuk energi listrik. Dalam proses ini, bahan untuk pembakaran contohnya batu bara, minyak bakar, maupun gas alam digunakan dalam memanaskan air sampai berubah uap. Uap yang diperoleh dari pemanasan tersebut disalurkan pada turbin uap dalam menggerakkan generator. Siklus Rankine pada PLTU terdiri dari empat tahap utama, yang mampu diperhatikan pada gambar yang ada :



Gambar 2. Prinsip Siklus Rankine

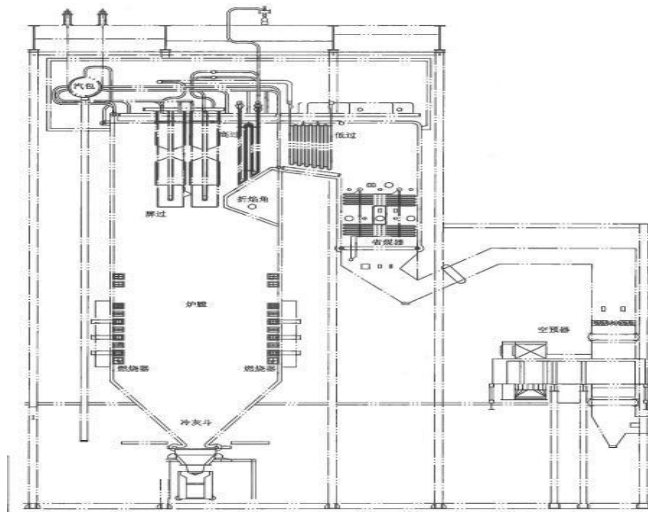
(Sumber: (Google) https://www.researchgate.net/figure/Standard-Rankine-steam-bottom-cycle-working-principle-and-TeS-diagram_fig4_271576345)

1. Pemompaan (proses 1-2): Air umpan (*feedwater*) dipompa pada tekanan yang rendah menuju tekanan yang tinggi. Proses yang dilakukan ini memerlukan energi, tetapi jumlahnya relatif kecil dibandingkan dengan energi yang dihasilkan oleh turbin.
2. Pemanasan (proses 2-3): Air bertekanan tinggi kemudian dialirkan ke dalam boiler, di tahap ini air dipanaskan hingga berubah menjadi uap jenuh atau uap super panas. Proses ini memerlukan jumlah energi panas yang besar.
3. Ekspansi (proses 3-4): Uap bertekanan tinggi diarahkan ke turbin. Saat melewati bilah-bilah turbin, uap mengembang dan mendorong bilah-bilah turbin berputar. Energi kinetik dari uap ini kemudian diubah menjadi energi mekanik.
4. Kondensasi (proses 4-1): Uap yang keluar dari turbin telah kehilangan sebagian besar energinya. Uap tersebut kemudian diarahkan ke kondensator dan didinginkan sehingga kembali berubah menjadi air. Proses ini menghasilkan panas sisa yang dibuang ke lingkungan.

Sebelum uap masuk ke turbin uap, uap tersebut wajib dipanaskan di dalam boiler sampai berada pada suhu dan tekanan yang lebih tinggi. Uap akan mengembang saat melewati bilah – bilah turbin sehingga suhu dan tekanannya turun yang menyebabkan turbin berputar. Energi jenis mekanis yang diperoleh dari turbin dimanfaatkan dalam menggerakkan generator pembangkit listrik yang memproduksi listrik.

2.2. Boiler (Katel uap)

Boiler atau ketel uap merupakan bejana jenis tertutup yang menyediakan uap pada suhu sekitar 2500-3000°F dengan mengalirkan panas dari proses pembakaran ke air. Uap yang terbentuk memiliki tekanan tertentu yang dimanfaatkan untuk mentransfer panas ke suatu proses agar dapat menghasilkan energi. Volume uap ini sekitar 1600 kali lebih besar daripada volume air, sehingga energi yang dihasilkan serupa dengan daya ledak bubuk mesiu. Boiler terdiri dari beberapa komponen penting seperti drum uap, pemanas lanjut (*superheater*), dan penghemat (*economizer*).



Gambar 3. Skema Boiler di PLTU PT. BAI

(Sumber: Buku Pengoperasian Boiler PT. BAI)

Air dalam pipa dipanaskan hingga berubah menjadi uap akibat panas pada hasil pembakaran dari bahan bakar. Proses pembakaran berlangsung dengan

terus-menerus pada ruang bakar melalui pasokan bahan bakar maupun udara yang bersumber pada luar. Uap yang diciptakan dari boiler merupakan uap superheat melalui tekanan dan suhu tinggi. Jumlah dari uap yang dihasilkan menyesuaikan pada luas dari permukaan perpindahan panas, laju dari aliran, maupun intensitas pembakaran. Boiler yang mencakup pipa-pipa yang mengandung air dinamakan sebagai water tube boiler.

Tabel 1. Spesifikasi Boiler di PLTU PT. BAI

Nama	Satuan	Parameter
<i>Model Boiler</i>	HX220/9.8-II 2	
Uap utama	T/h	220
Tekanan Kerja Drum	MPa	11.39
Tekanan <i>Outlet Superheater</i>	MPa	9.8
Suhu <i>Outlet Superheater</i>	°C	540
Suhu Air Umpan masuk <i>Economizer</i>	°C	215
Suhu Gas Buang <i>Inlet Preheater</i>	°C	392
Suhu cerobong	°C	142
Konsumsi Bahan Bakar	T/h	35
Konsumsi Udara berlebih		1.2
Efisiensi <i>Boiler</i>	%	96.64
Kehilangan Asap	%	7.3
Kerugian Pembakaran tidak Sempurna	%	0
Kerugian Pembakaran tidak Sempurna	%	1
Kehilangan Panas	%	0.57
Kehilangan Panas Abu	%	0.03

2.2.1. Boiler Pulverized

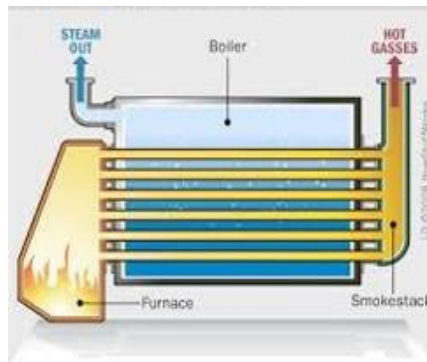
PT BAI menggunakan boiler jenis Pulverized Combustion, yang merupakan salah satu boiler paling umum digunakan sekarang. Boiler memanfaatkan coal mill dalam menggiling batu bara yang diubah dalam bentuk serbuk halus sebelum dikirimkan ke ruang bakar. Batu bara digiling hingga berukuran partikel kurang dari 2% yang lebih besar dari 300 mikrometer (μm) dan 70-75% partikel di bawah 75 mikrometer bagi batu bara bituminous. Proses pembakaran yang berjalan dalam suhu antara 1300-1700 °C, tergantung pada kualitas batu bara yang digunakan. Keunggulan dari boiler pulverized mencakup kemampuannya untuk menggunakan beragam kualitas dari batu bara, respons yang cepat pada perubahan beban, serta penggunaan dari udara pre-heat dengan suhu tinggi.

2.2.2. Desain Boiler

Secara umum, boiler mencakup sebuah drum yang memiliki ujung tertutup, maupun pada perkembangannya disediakan pada pipa jenis api dan pipa jenis air. Fluida yang mengalir dalam pipa api boiler adalah gas hasil pembakaran. Sementara itu, fluida pada pipa air merupakan air, yang menerima panas bersumber pada luar pipa untuk memanaskan air di dalam boiler.

1. Boiler Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

Dalam boiler pipa jenis api, gas panas hasil pembakaran berjalan di dalam pipa dan mentransfer energi panasnya ke air di dalam boiler melalui permukaan pemanas. Proses ini dimulai dengan pembakaran pada pipa, di mana panas yang didapatkan langsung dialirkan ke dalam boiler yang mengandung air. Ukuran maupun konstruksi boiler secara signifikan memberikan pengaruh pada kapasitas maupun tekanan yang diciptakan. Pipa api berfungsi untuk mempermudah distribusi panas ke air dalam boiler. Dalam sistem ini, gas hasil pembakaran berjalan di dalam pipa, sementara air atau uap terletak pada luar pipa dalam drum, yang juga berfungsi sebagai permukaan pemanas. Luas permukaan pemanas yang dapat dibuat terbatas karena berada di dalam drum [4].



Gambar 4. Boiler Pipa Api

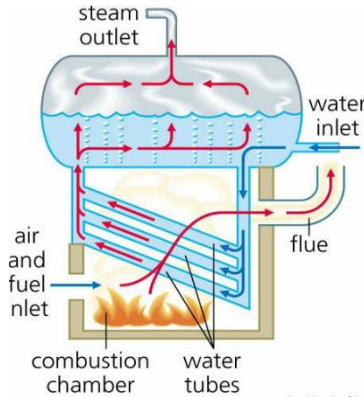
(Sumber: Pengetahuan umum boiler)

2. Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Dalam boiler pipa air, fluida yang berjalan merupakan air. Energi tipe panas yang dikirimkan berasal pada luar pipa (ruang pembakaran) menuju air di dalam ketel [5]. Cara kerja dalam boiler pipa jenis air dimulai dengan

pembakaran yang berlangsung di luar pipa, menghasilkan panas yang dimanfaatkan dalam memanaskan air pada pipa.

Boiler pipa air menawarkan beberapa keunggulan, termasuk kapasitas steam dengan ukuran besar, tekanan dari operasi hingga 100 bar, serta efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan boiler pipa api. Namun, ada beberapa kekurangan seperti konstruksi yang lebih kompleks, investasi pada awal yang angkanya lebih mahal, dan penanganan dari air yang masuk pada boiler lebih sensitif.



Gambar 5. Boiler Pipa Air

(Sumber: Pengetahuan umum boiler)

2.2.3. Komponen Utama Boiler

1. Economizer

Economizer adalah alat yang bermanfaat untuk memanaskan air dari umpan sebelum memasuki drum dari boiler. Sisa panas dari gas hasil yang diperoleh pada pembakaran yang seharusnya dialirkan pada atmosfer dengan cerobong, sebelum dialirkan pada *economizer*. Proses ini dapat menurunkan panas gas buang maupun meningkatkan suhu air umpan yang akan masuk ke dalam boiler.

2. Steam Drum

Dari *economizer*, air dialirkan melalui pipa ke dalam *economizer*. Jika uap air yang dihasilkan dari pemanasan di *economizer* belum mencapai keadaan jenuh (Saturated), separator di dalam drum uap akan melakukan bypass dan memungkinkan air untuk turun ke tahap berikutnya.

3. Downcomer

Downcomer merupakan komponen dari boiler yang berfungsi mengalirkan air dari drum ke bagian bawah - bawah boiler. Dalam proses ini, air akan dipanaskan oleh panas yang diperoleh pada pembakaran dari bahan hasil pembakaran pada boiler.

4. Ruang Bakar (*Furnance*)

Ruang bakar (*Furnance*) merupakan sebuah ruangan yang berfungsi untuk menerima bahan bakar untuk proses pembakaran. Dibagian bawah *furnance* terdapat fire grate yang berguna sebagai alas untuk menampung bahan bakar maupun sekelilingnya terdapat beberapa pipa air katel yang melekat di dinding-dinding *furnance* yang berfungsi sebagai penyerap panas pada pembakaran. Proses pembakaran terjadi di dalam *furnance* dengan ukuran sekitar 6-10 meter. Pada dinding dari ruang bakar dilengkapi pipa-pipa yang mengandung air dan akan berubah menjadi uap setelah mendapatkan panas dari proses pembakaran. Pipa-pipa ini juga berguna untuk tempat pembentukan uap dan menjaga suhu di dalam *Furnance* agar tidak terlalu tinggi. Bagian luar ruang bakar diisolasi agar aman saat disentuh.

5. Superheater

Proses ini melibatkan beberapa siklus umpan balik atau backpass, di mana uap bergerak dari superheater suhu rendah ke superheater suhu sedang, dan kemudian dialirkan kembali ke drum uap, sebelum akhirnya menuju superheater suhu tinggi. Proses superheater suhu tinggi merupakan tahap akhir di mana uap mengalami pemanasan berulang-ulang pada kondisi suhu rendah dan sedang.

2.3. Economizer

Economizer merupakan instrumen penukar panas yang memiliki bentuk tabung yang berfungsi dalam memanaskan air umpan dari boiler sebelum menuju ke drum uap. Fungsi *economizer* adalah untuk meningkatkan efisiensi boiler dengan menggunakan gas buang yang menyediakan energi untuk meningkatkan suhu air sebelum dibuang ke cerobong[6]. Sebutan "*Economizer*" berasal pada fungsi alat yang disebutkan, yakni dalam menghemat pemanfaatan bahan untuk pembakaran melalui cara mengambil zat panas dari gas buang terlebih dahulu untuk disalurkan pada atmosfer melalui cerobong.

Kinerja dari *economizer* dipengaruhi dari gas sebagai fluida yang memiliki koefisien dalam perpindahan dari panas dengan tingkatan rendah [7]. Kecepatan dalam perpindahan dari panas mampu dinaikkan melalui peningkatan koefisien

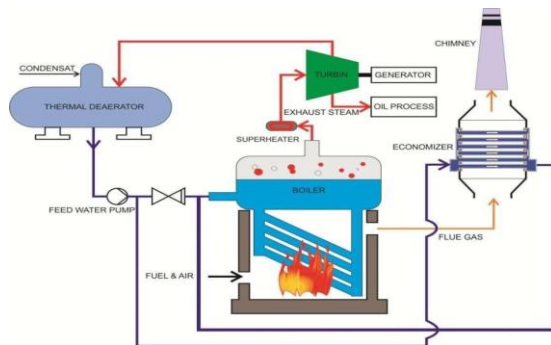
dari perpindahan zat panas secara total melalui pengaturan pada tubing/property fan dan memperluas area kontak perpindahan panas. Hasil dari economizer mencakup efektivitas perpindahan dari panas maupun biaya operasionalnya. Efektivitas perpindahan dari panas merupakan rasio antara jumlah energi yang mampu diserap dengan jumlah energi yang tersedia. Semakin tinggi efisiensi dari perpindahan zat panas dalam economizer, semakin banyak panas sisa gas yang dapat dimanfaatkan. Efisiensi economizer akan meningkat seiring dengan peningkatan efektivitas perpindahan panas. Biaya operasional economizer dipengaruhi oleh fan maupun pompa. Fan berfungsi dalam mengalirkan udara pada pembakaran menuju boiler dengan economizer. Semakin jumlahnya banyak loop maupun semakin kompleks susunan dari tubing dalam economizer, semakin besar kebutuhan daya untuk fan. Sementara itu, pompa bertugas dalam mengalirkan air dari umpan pada boiler menuju drum uap dengan economizer. Semakin panjang maupun rumit loop dalam economizer, semakin besar daya yang diperlukan oleh pompa.

Tabel 2. Spesifikasi Economizer PLTU PT.BAI

Nama	Item	Satuan	Spesifikasi	Keterangan	
Economizer	Tipe		Tipe non-boiling	Economizer mengadopsi pengaturan in-line dua tahap. Ada pipa resirkulasi antara downcomer pertama di sisi kanan boiler dan pipa air umpan di inlet economizer.	
	Jumlah		2		
	Diameter luar dan ketebalan dinding	mm	$\Phi 32 \times 4$ $\Phi 42 \times 5$ Tabung berkelok $\Phi 32 \times 4$ Tabung gantung $\Phi 42 \times 5$		
	temperatur uap keluar		20G		
	bahan		295		

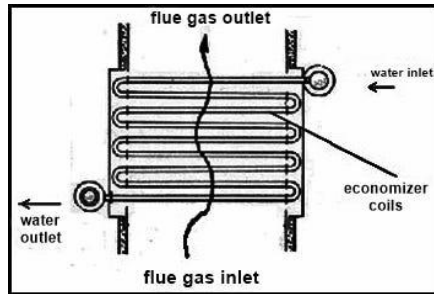
2.3.1. Mekanisme Economizer

Kinerja economizer sangat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu air umpan. Jika suhu air umpan tidak optimal, biaya operasional dapat meningkat. Dalam deaerator, air dipanaskan hingga 100-105°C dari kondisi awal 30-50°C. Setelah pemanasan di awal, air disalurkan pada economizer dalam dipanaskan lagi sampai mencapai 150-160°C dengan memanfaatkan gas buang pada pembakaran dalam boiler sebelum akhirnya dibuang ke atmosfer melalui cerobong. Setelah dipanaskan di economizer, air kemudian dialirkan ke drum boiler untuk dipanaskan lebih lanjut di dalam boiler. Proses pembakaran dalam boiler mengubah air menjadi uap pada suhu 400-459°C. Namun, pada tahap ini, uap belum cukup panas untuk memutar turbin, sehingga dialirkan ke superheater untuk meningkatkan suhu uap hingga 500-600°C. Uap dalam suhu ini mampu digunakan dalam memutar turbin maupun generator guna menciptakan listrik. Sisa uap yang digunakan untuk memutar dari turbin dialirkan menuju ke deaerator dalam pemanasan untuk awal air, dan siklus ini berlangsung terus menerus.



Gambar 6. . Mekanisme Economizer

2.3.2. Kontruksi Economizer



Gambar 7. Economizer

Economizer dirancang dengan sirip-sirip logam untuk meningkatkan area perpindahan panas antara gas buang yang bersuhu tinggi dan air yang bersuhu lebih rendah, sehingga air dalam economizer dapat menyerap panas dengan lebih efisien. Air yang keluar dari economizer memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan dengan suhu lingkungan, sehingga ketika masuk ke dalam boiler, tidak diperlukan banyak energi panas.

Economizer pada boiler biasanya terdiri dari beberapa tingkatan, dan diantara tingkatan satu dengan tingkatan lainnya dipisahkan oleh ruangan yang dilengkapi dengan soot blower untuk membersihkan kotoran maupun debu-debu yang melekat dalam pipa-pipa *economizer* dibagian luar. Tingkatan economizer dihubungkan melalui header yang bermanfaat dalam pengumpul dari air maupun mempermudah pemeliharaan jika terjadi kerusakan pada pipa-pipa economizer. Selain itu, terdapat beberapa manhole di dinding boiler antara lapisan economizer satu dengan yang lainnya untuk memungkinkan akses bagi pekerja untuk memeriksa kondisi pipa-pipa economizer saat boiler *shutdown*.

2.4. Analisa Perhitungan Economizer

$$\eta E = \frac{m_a \times (h_2 - h_1)}{m_g \times (h_3 - h_4)} \times 100\%$$

Dimana:

\dot{m}_a = Laju dari aliran air yang dipanaskan pada economizer (kg/s).

h_1 = Enthalpi suhu air masuk ke economizer (kJ/kg).

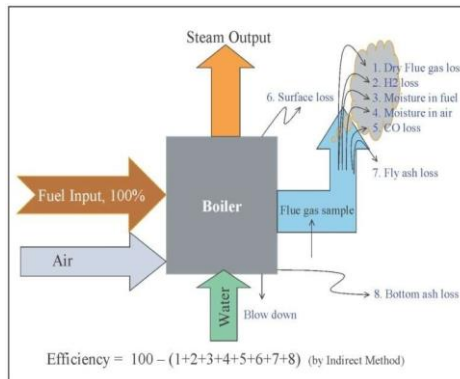
h_2 = Enthalphi suhu air keluar dari economizer (kJ/kg).

\dot{m}_g = Laju dari aliran gas yang dipanaskan pada economizer (kg/s).

- h3 = Enthalpi suhu gas masuk ke economizer (kJ/kg).
- h4 = Enthalpi suhu gas keluar dari economizer (kJ/kg).

2.5. Analisis Efisiensi Boiler

Proses dari pembakaran pada boiler mampu dijelaskan melalui diagram aliran energi. Diagram yang ada ini dengan cara yang visual menggambarkan bagaimana terkait energi yang bersumber pada bahan bakar dikonversi dalam berbagai bentuk aliran dari energi yang berguna serta aliran dari kehilangan panas maupun energi. Panah yang tebal dalam diagram menunjukkan jumlah dari energi pada setiap aliran.



Gambar 8. Naraca Panas Energi Boiler

Naraca panas adalah konsep yang menggambarkan keseimbangan total energi yang masuk ke boiler dengan yang keluar dalam berbagai bentuk. Gambar diatas menggambarkan berbagai jenis kehilangan energi yang terjadi selama proses pembangkitan steam.

Efisiensi merupakan kemampuan kinerja suatu alat utilitas dalam menjalankan fungsinya. Dalam konteks boiler, efisiensi diartikan sebagai kemampuan kinerja boiler maupun ketel uap dengan diukur melalui perbandingan pada energi yang diserap dari fluida kerja pada dalam boiler dan energi kimia pada bahan pembakaran. Umumnya, boiler memiliki tingkat efisiensi sekitar 70% sampai 90%.

Parameter yang digunakan untuk menghitung efisiensi boiler sebagai berikut:

- Jumlah dari steam yang diciptakan per jam (ms) pada kg/jam.
- Jumlah dari bahan bakar yang dimanfaatkan per jam (mbb) pada kg/jam.
- Tekanan dari uap dalam (MPa) maupun suhu uap dalam (°C).
- Suhu dari air umpan atau feedwater (°C).
- Nilai kalor bahan pembakaran (LHVbb) dalam kJ/kg.

2.5.1. Perhitungan Efisiensi Boiler

$$\eta = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{fw})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\%$$

Keterangan :

\dot{m}_s = Total steam yang diperoleh perjam (Kg/jam).

h_s = Enthalpi steam jenuh (Kj/Kg).

h_{fw} = Enthalpi feedwater economizer (Kj/Kg).

\dot{m}_{bb} = Jumlah masa bahan bakar yang digunakan perjam (Kg/jam).

LHV_{bb} = Nilai kalor bahan bakar (Kj/Kg)

2.6. Pengaruh sootblower pada economizer

Penggunaan sootblower pada sistem economizer sangat penting untuk menjaga efisiensi dan kestabilan operasi economizer. Soot blower berguna dalam membersihkan kerak yang melekat dalam beberapa pipa economizer yang mampu mengganggu pertukaran panas dan menurunkan efisiensi system. Kerak yang terakumulasi dapat menyebabkan penurunan suhu gas buang dan meningkatkan jumlah konsumsi bahan bakar sehingga mengakibatkan emisi gas buang yang lebih tinggi.

Sootblower bekerja dengan cara menyemperotkan udara atau uap panas ke permukaan pipa-pipa economizer untuk menghilangkan kerak. Pengoperasian sootblower pada economizer harus dijalankan dengan cara yang berkala berdasarkan pada jadwal yang telah diatur untuk menjaga kestabilan operasi dan mencegah kerusakan pada komponen-komponennya.



Gambar 9. Posisi Sootblower Pada Economizer

(Dokumentasi Pribadi)

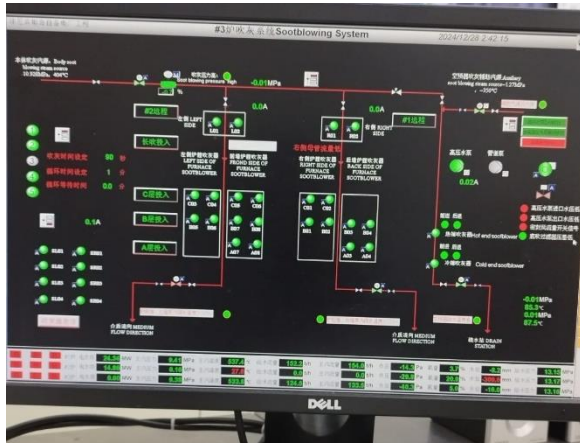
2.6.1. Cara Kerja Sootblower

Cara kerja sootblower adalah dengan cara menyemprotkan udara-udara atau uap panas yang dimanfaatkan untuk membersihkan kerak yang melekat dalam beberapa pipa economizer. sootblower pada economizer dilakukan Ketika gas buang yang keluar dari economizer berada di temperatur 330°C-360°C. Berikut ini adalah proses kerja sootblower.

- 1) Sootblower memasukkan udara atau uap panas melalui nozzle yang terletak di dalam ruangan economizer.
- 2) Udara atau uap panas yang dihasilkan oleh nozzle akan menyemprotkan kerak yang menempel dalam beberapa pipa economizer.
- 3) Kerak yang menempel dalam beberapa pipa economizer akan terlepas dan dikeluarkan melalui sistem pembuangan.
- 4) Setelah proses pembersihan selesai, maka penggunaan sootblower akan dihentikan dan sistem economizer akan kembali berjalan normal.

Pengaruh efektivitas penggunaan sootblower dapat dipengaruhi beberapa factor sebagai berikut:

- a. Tekanan udara atau uap panas yang digunakan
- b. Jarak antara nozzle dengan permukaan yang akan dibersihkan
- c. Kecepatan rotasi nozzle
- d. Frekuensi pembersihan

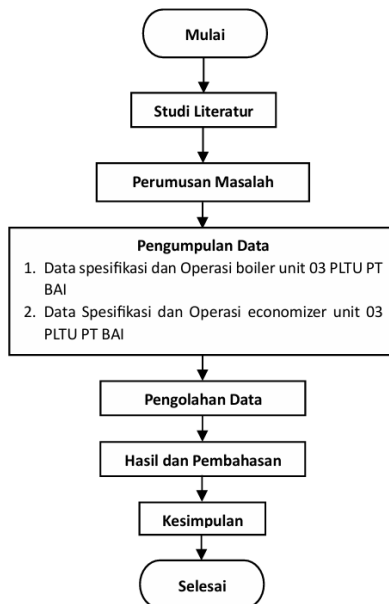


Gambar 10. Posisi Sootblower di Sistem DCS PT. BAI
(Dokumentasi Pribadi)

Bab 3. Metodologi Penelitian / Metode Pelaksanaan

3.1. Gambaran umum

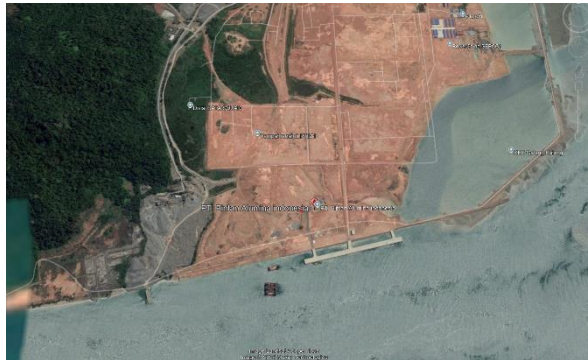
Penelitian tugas akhir yang dijalankan ini memanfaatkan metode jenis deskriptif kuantitatif. Metode deskriptif diterapkan dalam menganalisis objek, sistem pemikiran, atau peristiwa. Tujuan pada penelitian yang dijalankan ini yaitu dalam menghasilkan gambaran terkait faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan efisiensi boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Bintan Alumina Indonesia.



Gambar 11. Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penulis menjalankan penelitian yang ada ini pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) unit 3 di PT. Bintan Alumina Indonesia yang terletak di gunung Kijang, Kabupaten Bintan. Waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai pada tanggal 25 September 2024. Lokasi lebih lengkapnya mampu dipehatikan pada gambar yang ada di bawah ini



Gambar 12. Lokasi Penelitian

(Google Earth)

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian yang dijalankan ini, beberapa teknik yang dijalankan dalam pengumpulan dari data, yaitu:

1. Studi Literatur

Penulis menjalankan studi dari literatur dengan mengumpulkan data yang berhubungan pada boiler pulverized dan economizer. Penulis mencari referensi untuk pengolahan data yang terkait yaitu pada buku standar operasi boiler PT. Bintan Alumina Indonesia dan juga mencari referensi dari jurnal lainnya untuk melanjutkan pengolahan data.

2. Metode Pengumpulan Data

Metode dari pengumpulan data yang dimanfaatkan oleh penulis pada penelitian terkait tugas akhir yang dijalankan ini dengan mengambil data langsung pada boiler unit 03 yang ada pada DCS di Control Room (CR) PLTU PT Bintan Alumina Indonesia.

Tabel 3. Tabel Parameter *Economizer* Sebelum dan Sesudah Pengoperasian *SootBlower*

No	Parameter	Notasi	Tanggal/Bulan/Tahun		Satuan
			Sebelum Pengoperasian	Sesudah Pengoperasian	
1	Temperature outlet flue gas	(T_{gas})			(°C)
2	Air inlet Economizer	(T_{in})			(°C)
3	Air outlet economizer	(T_{out})			(°C)
4	Laju aliran air masuk economizer	(\dot{m}_{air})			(Kg/s)
5	Laju aliran gas masuk economizer	(\dot{m}_g)			(kg/s)

Tabel 4. Table parameter data *Boiler* sebelum dan sesudah pengoperasian *sootblower*

No	Parameter	Notasi	Tanggal/Bulan/Tahun		Satuan
			Sebelum Pengoperasian	Sesudah Pengoperasian	
1	Nilai Kalori bahan bakar	LHV_{bb}			(kJ/Kg)
2	Jumlah Batu bara	\dot{m}_{bb}			(Kg/Jam)
3	Entalpi steam jenuh	h_s			(kJ/Kg)
4	Jumlah steam yang dihasilkan	\dot{m}_s			(Kg/Jam)
5	Entalpi feedwater economizer	h_{fw}			(kJ/Kg)
6	Tekanan Uap				(Mpa)

3.4. Pengolahan Data

Dalam pengolahan data penulis akan menghitung efisiensi economizer dan efisiensi boiler dengan menggunakan persamaan berikut;

a. Efisiensi economizer

$$\eta_E = \frac{m_a \times (h_2 - h_1)}{m_g \times (h_3 - h_4)} \times 100\% \quad 1$$

Dimana:

\dot{m}_a = Laju dari aliran air yang dipanaskan pada economizer (kg/s).

h_1 = Enthalpi suhu air masuk ke economizer (kJ/kg).

h_2 = Enthalpi suhu air keluar dari economizer (kJ/kg).

\dot{m}_g = Laju dari aliran gas yang dipanaskan pada economizer (kg/s).

h_3 = Enthalpi suhu gas masuk ke economizer (kJ/kg).

h_4 = Enthalpi suhu gas keluar dari economizer (kJ/kg).

b. Efisiensi boiler

$$\eta = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{fw})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\% \quad 2$$

Dimana:

\dot{m}_s = Total steam yang diperoleh per jam (kg/jam).

h_s = Enthalpi steam jenuh (kJ/kg).

h_{fw} = Enthalpi feedwater (kJ/kg).

\dot{m}_{bb} = Total massa bahan bakar yang dimanfaatkan per jam (kg/jam)

LHV_{bb} = Nilai dari kalor bahan bakar (kJ/kg).

3.5. Analisis Data

Sesudah mengumpulkan data yang dibutuhkan, langkah seterusnya yaitu menganalisis dari data tersebut berdasarkan studi literatur yang telah disusun sebelumnya. Data yang diperoleh pada Control Room (CR) selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi economizer maupun efisiensi boiler menggunakan parameter-parameter yang telah ditentukan.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

Dalam pengambilan data pada Tugas Akhir ini menggunakan data operasional PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia. Pengambilan data dilakukan selama 10 hari di setiap bulan Oktober dan November 2024. Data di ambil pada tanggal 2-11 Oktober 2024 dan 13-22 November 2024. Untuk menghitung efisisiensi economizer dan boiler maka diambil 1 contoh data perhitungan di setiap bulan Oktober Dan November 2024 yaitu pada tanggal 7 Oktober 2024 dan 21 November 2024 agar mendapatkan nilai efisiensi sebelum dan sesudah dilakukannya sootblower pada *Economizer*.

Tabel 5. Tabel Parameter Nilai *Economizer* Sebelum Dilakukan *Sootblower* Pada Bulan Oktober

Tanggal	Jam	Temp Water		Flow Water		Enthalphi Water Inlet	Enthalphi Water Outlet	Temp Gas		Flow Gas	Press Gas	Enthalphi Gas Inlet	Enthalphi Gas Outlet
		Tin (°C)	Tout (°C)	(t/h)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	Tin (°C)	Tout (°C)	(kg/s)	Mpa	(kJ/kg)	(kJ/kg)
2/10/2024	08.09 am	190,36	259,89	151,89	42,19	809,17	1134,28	398,61	347,01	177,65	0,25	3271,72	3164,8
3/10/2024	16.12 pm	190,24	260,03	140,98	39,16	808,64	1134,98	381,87	330,65	165,06	0,27	3236,86	3130,71
4/10/2024	11.07 am	191,55	260,71	143,65	39,90	814,48	1138,36	381,93	332,43	170,42	0,26	3236,85	3134,59
5/10/2024	10.54 am	192,60	260,96	143,57	39,88	819,18	1139,6	385,4	336,43	169,61	0,26	3244,06	3142,81
6/10/2024	10.05 am	190,23	267,16	144,93	40,26	808,59	1170,69	403,82	348,54	173,64	0,27	3282,28	3167,56
7/10/2024	08.12 am	191,71	259,77	144,49	40,14	815,19	1133,68	377,95	327,64	170,96	0,26	3228,59	3124,74
8/10/2024	09.18 am	193,11	268,85	151,76	42,16	821,46	1179,25	393,05	336,98	176,05	0,27	3259,82	3143,74
9/10/2024	07.59 am	193,66	265,36	151,11	41,98	823,92	1161,62	411,78	353,11	162,38	0,26	3299,08	3177,18
10/10/2024	08.07 am	196,75	268,38	142,82	39,67	837,77	1176,87	393,15	343,10	172,57	0,26	3260,19	3156,54
11/10/2024	09.13 am	200,40	265,52	144,52	40,14	854,19	1162,42	385,47	339,82	169,08	0,27	3243,98	3149,59

Tabel 6. Tabel Parameter Nilai *Economizer* Sesudah dilakukan *Sootblower* Pada Bulan Oktober

Tanggal	Jam	Soot Blower	Temp Water		Flow Water		Enthalphi Water Inlet	Enthalphi Water Outlet	Temp Gas		Flow Gas	Press Gas	Enthalphi Gas Inlet	Enthalphi Gas Outlet
		A	Tin (°C)	Tout (°C)	(t/h)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	Tin (°C)	Tout (°C)	(kg/s)	(Mpa)	kJ/kg	kJ/kg
2/10/2024	08.32 am	-0,1	190,15	266,41	155,66	43,24	808,23	1166,91	375,06	324,09	176,58	0,27	3222,42	3117,23
3/10/2024	16.26 pm	-0,1	190,74	268,99	146,06	40,25	810,87	1179,96	372,47	319,22	164,52	0,27	3217,05	3107,23
4/10/2024	11.31 am	-0,1	192,64	271,07	144,94	40,26	819,35	1190,55	356,83	306,72	167,20	0,27	3184,68	3081,6
5/10/2024	11.32 am	-0,1	192,41	271,70	144,48	40,18	818,33	1193,76	357,02	306,54	166,13	0,27	3185,07	3081,23
6/10/2024	10.25 am	-0,1	189,35	270,92	144,46	40,13	804,67	1189,78	377,78	324,84	168,81	0,27	3228,06	3118,77
7/10/2024	08.36 am	-0,1	191,76	267,26	147,57	40,99	815,42	1171,2	360,77	311,23	169,08	0,26	3193,01	3091,08
8/10/2024	09.42 am	-0,1	195,78	278,42	154,84	43,01	833,42	1228,43	385,12	325,23	169,35	0,27	3243,31	3119,57
9/10/2024	08.42 am	-0,1	197,90	276,94	152,48	42,36	842,94	1220,74	380,89	321,45	158,90	0,26	3234,69	3112,03
10/10/2024	08.33 am	-0,1	196,75	275,10	143,65	39,90	837,77	1211,22	369,08	319,04	167,21	0,27	3210,02	3106,86
11/10/2024	09.31 am	-0,1	197,05	276,53	142,02	39,45	839,12	1218,61	364,03	315,20	164,53	0,27	3203,7	3098,98

Tabel 5 dan 6 merupakan tabel parameter economizer sebelum dan setelah sootblower pada bulan Oktober. Tabel 5 merupakan parameter economizer

sebelum sootblower, dapat dilihat bahwa temperatur gas buang yang keluar dari economizer masih tinggi yang menandakan penyerapan panas pada pipa-pipa economizer kurang efektif sedangkan pada Tabel 6 merupakan parameter economizer setelah sootblower, dapat dilihat bahwa temperatur gas buang yang keluar dari economizer sudah lebih rendah yang menandakan bahwa penyerapan panas pada pipa-pipa economizer berjalan dengan baik sehingga temperatur air umpan yang keluar dari economizer lebih tinggi dibandingkan dengan air umpan yang keluar dari economizer sebelum sootblower pada tabel 5.

Tabel 7. Tabel Parameter Nilai Economizer Sebelum dilakukan Sootblower Pada Bulan November

Tanggal	Jam	Temp Water		Flow Water		Enthalphi Water Inlet	Enthalphi Water Outlet	Temp Gas		Flow Gas	Press Gas	Enthalphi Gas Inlet	Enthalphi Gas Outlet
		Tin (°C)	Tout (°C)	(t/h)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	Tin (°C)	Tout (°C)	(kg/s)	(Mpa)	kJ/kg	kJ/kg
13/11/2024	08.33 am	191,44	257,17	150,31	41,75	813,99	1120,81	384,59	330,09	161,04	0,26	3242,38	3129,78
14/11/2024	09.05 am	203,91	266,82	146,37	40,66	870,05	1168,98	386,59	335,32	163,72	0,25	3246,77	3140,74
15/11/2024	08.17 am	200,78	272,81	143,36	39,82	855,91	1199,44	407,56	348,99	159,97	0,26	3290,25	3168,68
16/11/2024	08.12 am	202,49	266,32	149,39	41,50	863,63	1166,45	386,76	336,09	169,08	0,27	3246,72	3141,91
17/11/2024	14.51 pm	191,29	266,59	141,17	39,21	813,32	1167,81	416,89	359,23	162,65	0,26	3309,78	3189,82
18/11/2024	09.16 am	189,77	260,21	141,48	39,30	806,54	1135,87	391,89	335,53	156,22	0,26	3257,56	3140,96
19/11/2024	10.14 am	193,15	263,16	151,95	42,21	821,64	1150,58	392,58	332,48	159,44	0,27	3258,84	3134,48
20/11/2024	07.21 am	190,61	263,40	148,26	41,18	810,29	1151,78	392,94	333,29	160,51	0,25	3259,91	3136,57
21/11/2024	16.35 pm	194,17	264,21	143,69	39,91	826,20	1155,84	390,30	337,22	159,97	0,26	3254,25	3144,44
22/11/2024	08.09 am	201,67	264,67	142,06	39,46	859,93	1158,15	384,79	334,85	155,15	0,26	3242,63	3139,35

Tabel 8. Tabel Parameter Nilai Economizer Sesudah dilakukan Sootblower Pada Bulan November

Tanggal	Jam	Soot blower	Temp Water		Flow Water		Enthalphi Water Inlet	Enthalphi Water Outlet	Temp Gas		Flow Gas	Press Gas	Enthalphi Gas Inlet	Enthalphi Gas Outlet
			Tin (°C)	Tout (°C)	(t/h)	(kg/s)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	Tin (°C)	Tout (°C)	(kg/s)	(Mpa)	kJ/kg	kJ/kg
			A											
13/11/2024	08.49 am	-0,1	195,54	263,76	154,90	43,03	832,34	1153,59	374,86	321,87	157,29	0,27	3222	3112,67
14/11/2024	09.38 am	-0,1	202,90	278,20	145,63	40,45	865,49	1227,28	368,62	314,03	159,17	0,26	3209,25	3096,82
15/11/2024	08.43 am	-0,1	200,91	279,77	142,39	39,55	856,49	1235,47	378,27	323,86	153,27	0,26	3229,25	3116,98
16/11/2024	08.36 am	-0,1	200,64	276,51	146,93	40,81	855,28	1218,51	365,63	313,80	165,87	0,27	3202,88	3096,11
17/10/2024	15.29 pm	-0,1	193,58	272,59	141,95	39,43	823,56	1198,32	365,80	311,66	158,36	0,26	3203,41	3091,96
18/11/2024	09.44 am	-0,1	193,58	266,84	141,15	39,21	823,56	1169,08	360,66	308,54	154,88	0,27	3192,59	3085,33
19/11/2024	10.46 am	-0,1	195,40	270,41	152,20	42,29	831,71	1187,23	364,93	307,56	157,56	0,27	3201,43	3083,32
20/11/2024	07.48 am	-0,1	192,77	274,07	151,62	42,11	819,94	1205,91	374,22	311,89	157,83	0,26	3220,85	3092,43
21/11/2024	16.54 pm	-0,1	194,13	274,74	144,39	40,11	826,02	1209,36	369,73	312,98	154,61	0,27	3211,37	3094,43
22/11/2024	08.33 am	-0,1	198,85	273,36	142,93	39,70	847,21	1202,27	363,75	311,84	145,77	0,26	3198,98	3092,09

Tabel 7 dan 8 merupakan tabel parameter economizer sebelum dan setelah sootblower pada bulan November. Tabel 7 merupakan parameter economizer sebelum sootblower, dapat dilihat bahwa temperatur gas buang yang keluar dari economizer masih tinggi yang menandakan penyerapan panas pada pipa-pipa economizer kurang efektif sedangkan pada Tabel 8 merupakan parameter

economizer setelah sootblower, dapat dilihat bahwa temperatur gas buang yang keluar dari economizer sudah lebih rendah yang menandakan bahwa penyerapan panas pada pipa-pipa economizer berjalan dengan baik sehingga temperatur air umpan yang keluar dari economizer lebih tinggi dibandingkan dengan air umpan yang keluar dari economizer sebelum sootblower pada tabel 7.

Tabel 9. Tabel Parameter Nilai Boiler Sebelum dilakukan Sootblower Pada Bulan Oktober

Tanggal	Jam	Boiler				Energi Bahan Bakar			Temp Feed Water	Enthalphi Feed Water
		Pressure Steam	Temp Steam	Enthalphi Steam	Main Steam Flow	Massa Bahan Bakar	K calor Bahan Bakar			
		(Mpa)	(°C)	(Kj/kg)	(kg/h)	(kg/h)	(Kcal/kg)	(kj/kg)	(°C)	(Kj/kg)
2/10/2024	08.09 am	9,12	540,06	3485,1	147460	23860	4236,29	17736,49	259,89	1134,28
3/10/2024	16.12 pm	9,13	530,81	3461,99	142320	22310	4229,18	17706,73	260,03	1134,98
4/10/2024	11.07 am	8,87	536,34	3478,47	144530	22890	4269,53	17875,67	260,71	1138,36
5/10/2024	10.54 am	9,32	535,66	3472,06	140650	22790	4286,38	17946,22	260,96	1139,6
6/10/2024	10.05 am	9,07	533,54	3469,42	144310	23310	4243,49	17766,64	267,16	1170,69
7/10/2024	08.12 am	9,34	537,63	3476,77	140690	22960	4256,34	17820,44	259,77	1133,68
8/10/2024	09.18 am	8,96	539,29	3484,84	152320	23660	4259,55	17833,88	268,85	1179,25
9/10/2024	07.59 am	9,29	538,42	3479,26	144970	21810	4272,34	17887,43	265,36	1161,62
10/10/2024	08.07 am	9,06	543,96	3495,38	146150	23170	4279,82	17918,75	268,38	1176,87
11/10/2024	09.13 am	9,22	528,77	3455,93	142250	22700	4252,82	17805,71	265,52	1162,42

Tabel 10. Tabel Parameter Nilai Boiler Sesudah dilakukan Sootblower Pada Bulan Oktober

Tanggal	Jam	Boiler				Energi Bahan Bakar			Temp Feed Water	Enthalphi Feed Water
		Pressure Steam	Temp Steam	Enthalphi Steam	Main Steam Flow	Massa Bahan Bakar	K calor Bahan Bakar			
		(Mpa)	(°C)	(Kj/kg)	(kg/h)	(kg/h)	(Kcal/kg)	(kj/kg)	(°C)	(Kj/kg)
2/10/2024	08.32 am	8,96	536,07	3476,86	154200	23740	4236,29	17736,49	266,41	1166,91
3/10/2024	16.26 pm	9,02	534,38	3472,04	149400	22030	4229,18	17706,73	268,99	1179,96
4/10/2024	11.31 am	9,34	536,16	3473,1	150130	22450	4269,53	17875,67	271,07	1190,55
5/10/2024	11.32 am	9,28	535,55	3472,21	148580	22330	4286,38	17946,22	271,70	1193,76
6/10/2024	10.25 am	8,86	533,76	3472,19	149680	22680	4243,49	17766,64	270,92	1189,78
7/10/2024	08.36 am	9,14	531,81	3464,37	154320	22700	4256,34	17820,44	267,26	1171,2
8/10/2024	09.42 am	9,50	537,68	3475,22	157220	22760	4259,55	17833,88	278,42	1228,43
9/10/2024	08.42 am	9,35	532,16	3463	152480	21350	4272,34	17887,43	276,94	1220,74
10/10/2024	08.33 am	8,97	536,03	3476,66	151320	22450	4279,82	17918,75	275,10	1211,22
11/10/2024	09.31 am	9,00	539,94	3486,04	146780	22100	4252,82	17805,71	276,53	1218,61

Tabel 9 dan 10 merupakan parameter boiler sebelum dan setelah dilakukan sootblower pada bulan Oktober. Dapat dilihat pada tabel 9 (parameter boiler sebelum sootblower) bahwa penggunaan bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar pada tabel 10 (parameter boiler setelah sootblower). Hal ini dikarenakan temperatur air umpan yang masuk kedalam boiler pada tabel 9 (parameter boiler sebelum sootblower) lebih rendah

dibandingkan dengan tabel 10 (parameter boiler setelah sootblower) sehingga boiler membutuhkan waktu yang lama untuk merubah air menjadi uap dengan temperatur tertentu.

Tabel 11. Tabel Parameter Nilai Boiler Sebelum dilakukan Sootblower Pada Bulan November

Tanggal	Jam	Boiler				Energi Bahan Bakar			Temp Feed Water	Enthalphi Feed Water
		Pressure Steam	Temp Steam	Enthalphi Steam	Main Steam Flow	Massa Bahan Bakar	Kalor Bahan Bakar			
		(Mpa)	(°C)	(Kj/kg)	(kg/h)	(kg/h)	(Kcal/kg)	(kj/kg)	(°C)	(Kj/kg)
13/11/2024	08.33 am	9,37	532,25	3463,02	141720	21620	4274,57	17896,77	257,17	1120,81
14/11/2024	09.05 am	9,26	532,39	3464,54	143310	21980	4264,57	17854,90	266,82	1168,98
15/11/2024	08.17 am	9,42	524,07	3441,96	144590	21500	4267,87	17868,72	272,81	1199,44
16/11/2024	08.12 am	9,25	528,57	3455,1	146930	22710	4285,37	17941,99	266,32	1166,45
17/11/2024	14.51 pm	8,66	502,91	3397,52	142780	21850	4257,39	17824,84	266,59	1167,81
18/11/2024	09.16 am	9,38	526,87	3449,43	140410	21000	4272,58	17888,44	260,21	1135,87
19/11/2024	10.14 am	8,97	535,02	3474,16	140700	21420	4284,66	17939,01	263,16	1150,58
20/11/2024	07.21 am	9,20	542,38	3490,03	142520	21590	4263,74	17851,43	263,40	1151,78
21/11/2024	16.35 pm	9,29	540,96	3485,58	140670	21490	4257,65	17825,93	264,21	1155,84
22/11/2024	08.09 am	9,16	533,26	3467,77	138970	20830	4256,84	17822,54	264,67	1158,15

Tabel 12. Tabel Parameter Nilai Boiler Sesudah dilakukan Sootblower Pada Bulan November

Tanggal	Jam	Boiler				Energi Bahan Bakar			Temp Feed Water	Enthalphi Feed Water
		Pressure Steam	Temp Steam	Enthalphi Steam	Main Steam Flow	Massa Bahan Bakar	Kalor Bahan Bakar			
		(Mpa)	(°C)	(Kj/kg)	(kg/h)	(kg/h)	(Kcal/kg)	(kj/kg)	(°C)	(Kj/kg)
13/11/2024	08.49 am	9,35	527,44	3451,19	146520	21120	4274,57	17896,77	263,76	1153,59
14/11/2024	09.38 am	8,79	533,82	3473,08	147630	21370	4264,57	17854,90	278,20	1227,28
15/11/2024	08.43 am	9,59	530,72	3456,82	146760	20600	4267,87	17868,72	279,77	1235,47
16/11/2024	08.36 am	9,35	531,27	3460,78	154110	22270	4285,37	17941,99	276,51	1218,51
17/11/2024	15.29 pm	9,00	508,80	3408,31	148610	21290	4257,39	17824,84	272,59	1198,32
18/11/2024	09.44 am	9,22	535,43	3472,54	146720	20810	4272,58	17888,44	266,84	1169,08
19/11/2024	10.46 am	9,49	529,25	3454,21	148660	21150	4284,66	17939,01	270,41	1187,23
20/11/2024	07.48 am	9,32	539,54	3481,73	149590	21230	4263,74	17851,43	274,07	1205,91
21/11/2024	16.54 pm	9,07	537,63	3479,59	146630	20760	4257,65	17825,93	274,74	1209,36
22/11/2024	08.33 am	9,33	534,36	3468,71	144980	20370	4256,84	17822,54	273,36	1202,27

Tabel 11 dan 12 merupakan parameter boiler sebelum dan setelah dilakukan sootblower pada bulan November. Dapat dilihat pada tabel 11 (parameter boiler sebelum sootblower) bahwa penggunaan bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar pada tabel 12 (parameter boiler setelah sootblower). Hal ini dikarenakan temperatur air umpan yang masuk kedalam boiler pada tabel 11 (parameter boiler sebelum sootblower) lebih rendah dibandingkan dengan tabel 12 (parameter boiler setelah sootblower) sehingga boiler membutuhkan waktu yang lama untuk merubah air menjadi uap dengan temperatur tertentu.

4.1.1. Analisis Economizer

Berdasarkan pada tabel 5 s/d 8, nilai kinerja economizer dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan (hanya mengambil 1 contoh data perhitungan pada tanggal 07 Oktober 2024 dan 21 November 2024, baik sebelum dilakukannya sootblower maupun sesudah dilakukannya sootblower pada economizer).

1. Data operasional economizer sebelum sootblower (07/10/2024).

- Laju aliran air umpan economizer (ma) : 40,14 (kg/s).
- Laju aliran gas buang economizer (mg) : 170,96 (kg/s).
- Enthalphi air masuk economizer (h1) : 815,19 (kJ/kg).
- Enthalphi air keluar economizer (h2) : 1133,68 (kJ/kg).
- Enthalphi gas masuk melewati economizer (h3) : 3228,59 (kJ/kg).
- Enthalphi gas keluar melewati economizer (h4) : 3124,74 (kJ/kg).

a) Menghitung Efisiensi economizer

Perhitungan berikut menggunakan rumus persamaan 1. Sebagai berikut:

$$\eta E = \frac{ma \times (h2-h1)}{mg \times (h3-h4)} \times 100\%$$

$$\eta E = \frac{40,14 \times (1133,68-815,19)}{170,96 \times (3228,59-3124,74)} \times 100\%$$

$$\eta E = \frac{12784,19}{17754,19} \times 100\%$$

$$\eta E = 72,01\%$$

2. Data operasional economizer sesudah sootblower (07/10/2024).

- Laju aliran air umpan economizer (ma) : 40,99 (kg/s).
- Laju aliran gas buang economizer (mg) : 169,08 (kg/s).
- Enthalphi air masuk economizer (h1) : 815,42 (kJ/kg).
- Enthalphi air keluar economizer (h2) : 1171,2 (kJ/kg).
- Enthalphi gas masuk melewati economizer (h3) : 3193,01 (kJ/kg).
- Enthalphi gas keluar melewati economizer (h4) : 3091,08 (kJ/kg).

a) Menghitung Efisiensi economizer

Perhitungan berikut menggunakan rumus persamaan 1. Sebagai berikut:

$$\eta E = \frac{ma \times (h2 - h1)}{mg \times (h3 - h4)} \times 100\%$$

$$\eta E = \frac{40,99 \times (1171,2 - 815,42)}{169,08 \times (3193,01 - 3091,08)} \times 100\%$$

$$\eta E = \frac{14583,42}{17234,32} \times 100\%$$

$$\eta E = 84,61\%$$

Perhitungan 1 dan 2 merupakan perhitungan efisiensi economizer sebelum dan setelah sootblower pada tanggal 07/10/2024. Dari perhitungan 1 didapatkan nilai efisiensi economizer sebelum sootblower yaitu sebesar 72,01% dan perhitungan 2 didapatkan nilai efisiensi economizer setelah sootblower yaitu sebesar 84,61%. Nilai efisiensi economizer setelah sootblower mengalami peningkatan sebesar 12,60%.

3. Data operasional economizer sebelum sootblower (21/11/2024).

- Laju aliran air umpan economizer (ma) : 39,91 (kg/s).
- Laju aliran gas buang economizer (mg) : 159,97 (kg/s).
- Enthalphi air masuk economizer (h1) : 826,20 (kJ/kg).
- Enthalphi air keluar economizer (h2) : 1155,84 (kJ/kg).
- Enthalphi gas masuk melewati economizer (h3) : 3254,25 (kJ/kg).
- Enthalphi gas keluar melewati economizer (h4) : 3144,44 (kJ/kg).

a) Menghitung Efisiensi economizer

Perhitungan berikut menggunakan rumus persamaan 1. Sebagai berikut:

$$\eta E = \frac{ma \times (h2 - h1)}{mg \times (h3 - h4)} \times 100\%$$

$$\eta E = \frac{39,91 \times (1155,84 - 826,20)}{159,97 \times (3254,25 - 3144,44)} \times 100\%$$

$$\eta E = \frac{13155,93}{17566,31} \times 100\%$$

$$\eta E = 74,89\%$$

4. Data operasional economizer sesudah sootblower (21/11/2024).

- Laju aliran air umpan economizer (ma) : 40,11 (kg/s).
- Laju aliran gas buang economizer (mg) : 154,61 (kg/s).
- Enthalphi air masuk economizer (h1) : 826,02 (kJ/kg).
- Enthalphi air keluar economizer (h2) : 1209,36 (kJ/kg).
- Enthalphi gas masuk melewati economizer (h3) : 3211,37 (kJ/kg).
- Enthalphi gas keluar melewati economizer (h4) : 3094,43 (kJ/kg).

a) Menghitung Efisiensi economizer

Perhitungan berikut menggunakan rumus persamaan 1. Sebagai berikut:

$$\eta E = \frac{ma \times (h2 - h1)}{mg \times (h3 - h4)} \times 100\%$$

$$\eta E = \frac{40,11 \times (1209,36 - 826,02)}{154,61 \times (3211,37 - 3094,43)} \times 100\%$$

$$\eta E = \frac{15375,77}{18080,09} \times 100\%$$

$$\eta E = 85,04\%$$

Perhitungan 3 dan 4 merupakan perhitungan efisiensi economizer sebelum dan setelah sootblower pada tanggal 21/11/2024. Dari perhitungan 3 didapatkan nilai efisiensi economizer sebelum sootblower yaitu sebesar 74,89% dan perhitungan 4 didapatkan nilai efisiensi economizer setelah sootblower yaitu sebesar 85,04%. Nilai efisiensi economizer setelah sootblower mengalami peningkatan sebesar 10,15%.

4.1.2. Analisis Efisiensi Boiler

Berdasarkan pada tabel 9 s/d 12, nilai efisiensi boiler dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan (hanya mengambil 1 contoh data perhitungan pada tanggal 07 Oktober 2024 dan 21 November 2024, baik sebelum dilakukannya sootblower maupun sesudah dilakukannya sootblower).

1. Data operasional boiler sebelum sootblower (07/10/2024).

- Laju aliran uap (m.s) : 140690(kg/jam).
- Enthalphi steam (hs) : 3476,77 (kJ/kg).
- Enthalphi Feedwater (hfw) : 1133,68 (kJ/kg).
- Massa bahan bakar (mbb) : 22960 (kg/jam).
- Kalor bahan bakar (Lhvbb) : 17820,44 (kJ/kg).

a) Menghitung Efisiensi Boiler

Perhitungan berikut menggunakan rumus persamaan 2. Sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{fw})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{140690 \times (3476,77 - 1133,68)}{22960 \times 17820,44} \times 100\%$$

$$\eta = 80,56\%$$

2. Data operasional boiler sesudah sootblower (07/10/2024)

- Laju aliran uap (\dot{m}_s) : 154320 (kg/jam).
- Enthalphi steam (h_s) : 3464,37 (kJ/kg).
- Enthalphi Feedwater (h_{fw}) : 1171,2 (kJ/kg).
- Massa bahan bakar (\dot{m}_{bb}) : 22700 (kg/jam).
- Kalor bahan bakar (LHV_{bb}) : 17820,44 (kJ/kg).

a) Menghitung Efisiensi Boiler

Perhitungan berikut menggunakan rumus persamaan 2. Sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{fw})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{154320 \times (3464,37 - 1171,2)}{22700 \times 17820,44} \times 100\%$$

$$\eta = 87,48\%$$

Pada bagian analisis efisiensi boiler, Perhitungan 1 dan 2 merupakan perhitungan efisiensi boiler sebelum dan setelah sootblower pada tanggal 07/10/2024. Dari perhitungan 1 didapatkan nilai efisiensi boiler sebelum sootblower yaitu sebesar 80,56% dan perhitungan 2 didapatkan nilai efisiensi boiler setelah sootblower yaitu

sebesar 87,48%. Nilai efisiensi boiler setelah sootblower mengalami peningkatan sebesar 6,92%.

3. Data operasional boiler sebelum sootblower (21/11/2024).

- Laju aliran uap (\dot{m}_s) : 140670 (kg/jam).
- Enthalphi steam (h_s) : 3485,58 (kJ/kg).
- Enthalphi Feedwater (h_{fw}) : 1155,84 (kJ/kg).
- Massa bahan bakar (\dot{m}_{bb}) : 21490 (kg/jam).
- Kalor bahan bakar (LHV_{bb}) : 17825,93 (kJ/kg).

a) Menghitung Efisiensi Boiler

Perhitungan berikut menggunakan rumus persamaan 2. Sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{fw})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{140670 \times (3485,58 - 1155,84)}{21490 \times 17825,93} \times 100\%$$

$$\eta = 85,55\%$$

4. Data operasional boiler sesudah sootblower (21/11/2024).

- Laju aliran uap (\dot{m}_s) : 146630 (kg/jam).
- Enthalphi steam (h_s) : 3479,59 (kJ/kg).
- Enthalphi Feedwater (h_{fw}) : 1209,36 (kJ/kg).
- Massa bahan bakar (\dot{m}_{bb}) : 20760 (kg/jam).
- Kalor bahan bakar (LHV_{bb}) : 17825,93 (kJ/kg).

a) Menghitung Efisiensi Boiler

Perhitungan berikut menggunakan rumus persamaan 2. Sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\text{Panas Keluar}}{\text{Panas Masuk}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_s \times (h_s - h_{fw})}{\dot{m}_{bb} \times LHV_{bb}} \times 100\%$$

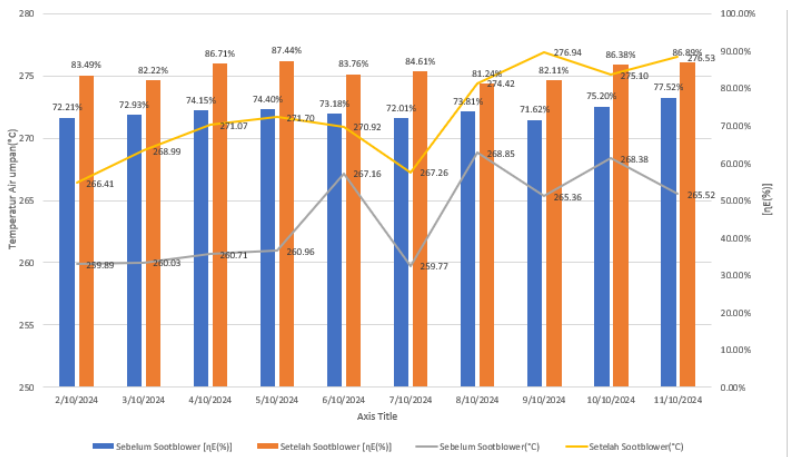
$$\eta = \frac{146630 \times (3479,59 - 1209,36)}{20760 \times 17825,93} \times 100\%$$

$$\eta = 89,95\%$$

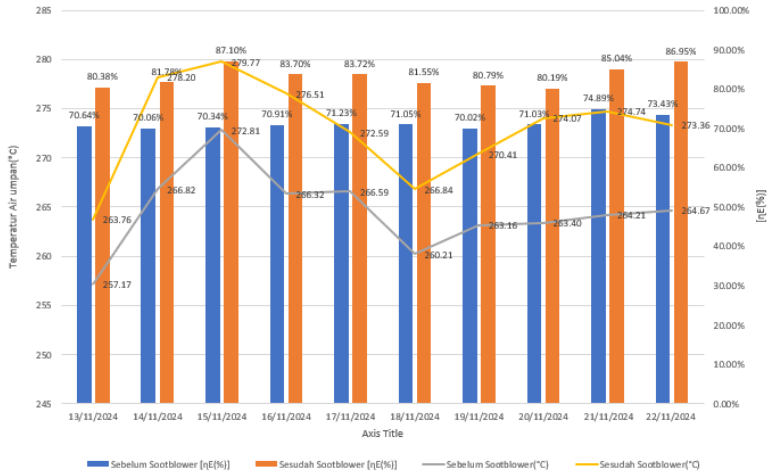
Pada bagian analisis efisiensi boiler, Perhitungan 3 dan 4 merupakan perhitungan efisiensi boiler sebelum dan setelah sootblower pada tanggal 21/11/2024. Dari perhitungan 3 didapatkan nilai efisiensi boiler sebelum sootblower yaitu sebesar 85,55% dan perhitungan 4 didapatkan nilai efisiensi boiler setelah sootblower yaitu sebesar 89,95%. Nilai efisiensi boiler setelah sootblower mengalami peningkatan sebesar 4,4%.

4.2. Grafik dan Pembahasan

4.2.1 Efisiensi Economizer



Gambar 13. Grafik hubungan temperatur air umpan terhadap efisiensi economizer sebelum sootblower dan sesudah sootblower pada bulan Oktober.

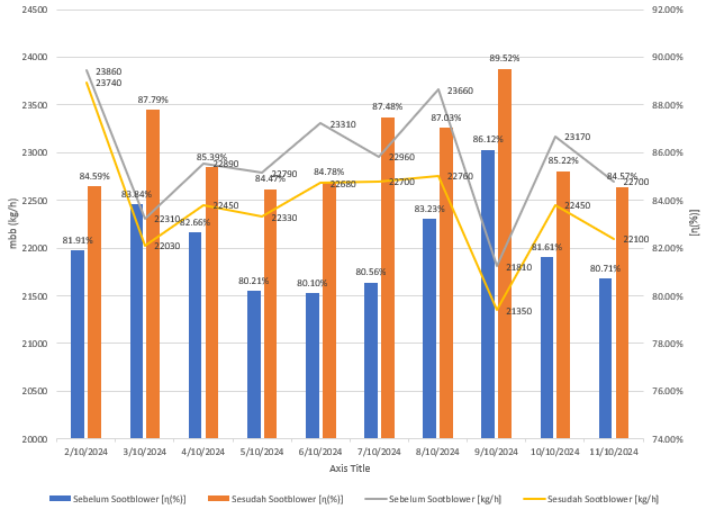


Gambar 14. Grafik hubungan temperatur air umpan terhadap efisiensi economizer sebelum sootblower dan sesudah sootblower pada bulan November.

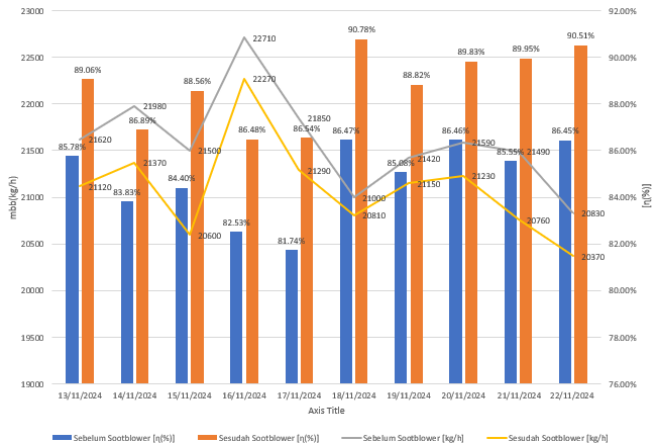
Pembahasan Grafik:

Pada Gambar 13 dan 14 menunjukkan perbandingan temperatur air umpan terhadap efisiensi *economizer* sebelum dan sesudah dilakukannya sootblower. Penggunaan sootblower dapat meningkatkan temperatur air umpan dan efisiensi *economizer*. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 13 di tanggal 07/10/2024, setelah dilakukannya soot blower temperatur air umpan mengalami peningkatan sebesar 267,26°C dengan efisiensi *economizer* sebesar 84,61% sedangkan sebelum sootblower temperatur air umpan yaitu sebesar 259,77°C dengan efisiensi *economizer* sebesar 72,01%. Pada gambar 14 di tanggal 21/11/2024 Temperatur air umpan juga mengalami peningkatan setelah dilakukannya sootblower yaitu sebesar 274,74°C dengan efisiensi *economizer* sebesar 85,04% sedangkan sebelum sootblower temperatur air umpan yaitu sebesar 264,21°C dengan efisiensi *economizer* sebesar 74,89%. Hal ini menandakan bahwa penyerapan panas pada *economizer* setelah dilakukannya sootblower berjalan secara efektif, dikarenakan sootblower membersihkan debu atau soot yang menempel pada pipa-pipa *economizer*, sehingga penyerapan panas pada pipa-pipa *economizer* dari sisa hasil gas buang pada pembakaran dapat dimanfaatkan dengan baik.

4.2.2 Efisiensi Boiler



Gambar 15. Grafik hubungan penggunaan bahan bakar terhadap efisiensi boiler sebelum sootblower dan sesudah sootblower pada bulan Oktober.



Gambar 16. Grafik hubungan penggunaan bahan bakar terhadap efisiensi boiler sebelum sootblower dan sesudah sootblower pada bulan November

Pembahasan Grafik:

Pada gambar 15 dan 16 merupakan hubungan antara penggunaan bahan bakar terhadap efisiensi boiler. Penggunaan sootblower dapat mengurangi penggunaan bahan bakar batu bara dan meningkatkan efisiensi pada boiler. Dapat dilihat pada gambar 15 di tanggal 7/10/2024 bahwa efisiensi boiler setelah sootblower lebih besar yaitu 87,48% dengan penggunaan bahan bakar sebesar 22700 (kg/h) sedangkan efisiensi boiler sebelum sootblower yaitu 80,56% dengan penggunaan bahan bakar sebesar 22960 (kg/h). Pada gambar 16 di tanggal 21/11/2024 efisiensi boiler setelah sootblower juga mengalami peningkatan yaitu 89,95% dengan penggunaan bahan bakar sebesar 20760 (kg/h) sedangkan efisiensi boiler sebelum sootblower yaitu 85,55% dengan penggunaan bahan bakar sebesar 21490 (kg/h). Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan melakukan sootblower pada economizer dapat meningkatkan efisiensi boiler dengan memanfaatkan penyerapan gas buang secara efektif untuk memanaskan air umpan yang melewati economizer sebelum dilakukan pemanasan lanjutan di dalam boiler. Hal ini dikarenakan temperatur air sebelum dilakukan pemanasan lanjutan didalam boiler sudah cukup tinggi, sehingga pemanasan untuk merubah air menjadi uap tidak butuh waktu yang lama sehingga dapat menghemat penggunaan bahan bakar untuk mencapai standar temperatur yang telah ditentukan.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan Analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan:

1. Penggunaan sootblower pada economizer dapat meningkatkan temperatur air umpan dan efisiensi pada economizer, yaitu sebesar 267,26°C dengan efisiensi economizer yaitu sebesar 84,61% sedangkan sebelum dilakukannya sootblower, temperatur air umpan hanya sebesar 259,77°C dengan efisiensi economizer sebesar 72,01% pada tanggal 7/10/2024.
2. Penggunaan sootblower pada economizer dapat mempengaruhi efisiensi Boiler. Efisiensi boiler setelah dilakukannya sootblower yaitu sebesar 87,48% sedangkan sebelum dilakukaannya sootblower efisiensi boiler yaitu sebesar 80,56%. Efisiensi boiler mengalami peningkatan sebesar 6,92% setelah dilakukannya sootblower pada tanggal 7/10/2024.
3. Dengan penggunaan sootblower pada economizer dapat meningkatkan tempratur air umpan dengan memanfaatkan gas buang dari pembakaran secara efektif sehingga dapat mengurangi penggunaan input bahan bakar dan meningkatkan efisiensi pada boiler.

5.2. Saran

Berdasarkan pengambilan dan perhitungan data yang dilakukan maka Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis sebagai berikut:

1. Mengganti penggunaan bahan bakar batubara dari spesifikasi kalor 4200kcal/kg menjadi >4800kcal/kg, agar mengurangi abu atau fly ash hasil sisa pembakaran yang dapat menempel pada pipa-pipa economizer akibat terbawa oleh gas buang.
2. Tidak melakukan sootblower secara berlebihan atau terus menerus karena dapat merusak dinding-dinding pada economizer.

Daftar Pustaka

- [1] "158130024 - Kasno Nunut Simbolon - Fulltext".
- [2] F. G. Sumarno, D. Budhi, P. Jurusan, T. Mesin, N. Semarang, dan J. H. Sudarto, "ANALISIS KINERJA EFISIENSI ECONOMIZER TERHADAP PEMAKAIAN BAHAN BAKAR BOILER DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT 4," 2018.
- [3] E. Pemakaian Bahan, B. Pada, P. Dengan, M. Metode, P. Studi, dan T. Elektro, "HALAMAN JUDUL".
- [4] "143310264 (1)".
- [5] D. Sebagai Salah Satu Syarat, "TUGAS AKHIR 3 TAHUN AVAILABILITY KINERJA BOILER PADA PKS SUMATERA MAKMUR LESTARI SEI PEJANGKI KAB. INHU RIAU."
- [6] "168130018 - Recsi Febian Adiansyah - Fulltext".
- [7] "Analisis Pemakaian Economizer Terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler Pulverized Pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Jeneponto".

Biodata



Nama : Miza Ramadan
TTL : Batam,26 November 2002
Agama : Islam
Alamat : Kavling Mangsang Permai Blok F no 71
Email : mizaramadan26@gmail.com
Riwayat Pendidikan SMK : SMK NEGERI 3 BATAM
SMP : SMP NEGERI 40 BATAM

Lampiran

Lampiran A. Tabel Effisiensi *economizer* bulan Oktober sebelum *sootblower*.

Tanggal	Jam	Flow Water	Enthalphi Water Inlet	Enthalphi Water outlet	Flow Gas	Enthalphi Gas Inlet	Enthalphi Gas Outlet	Effisiensi $\eta_E(\%)$
		kg/s	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kJ/kg	kJ/kg	
2/10/2024	08.09 am	42,19	809,17	1134,28	177,65	3271,72	3164,8	72,21%
3/10/2024	16.12 pm	39,16	808,64	1134,98	165,06	3236,86	3130,71	72,93%
4/10/2024	11.07 am	39,90	814,48	1138,36	170,42	3236,85	3134,59	74,15%
5/10/2024	10.54 am	39,88	819,18	1139,6	169,61	3244,06	3142,81	74,40%
6/10/2024	10.05 am	40,26	808,59	1170,69	173,64	3282,28	3167,56	73,18%
7/10/2024	08.12 am	40,14	815,19	1133,68	170,96	3228,59	3124,74	72,01%
8/10/2024	09.18 am	42,16	821,46	1179,25	176,05	3259,82	3143,74	73,81%
9/10/2024	07.59 am	41,98	823,92	1161,62	162,38	3299,08	3177,18	71,62%
10/10/2024	08.07 am	39,67	837,77	1176,87	172,57	3260,19	3156,54	75,20%
11/10/2024	09.13 am	40,14	854,19	1162,42	169,08	3243,98	3149,59	77,52%

Lampiran B. Tabel Effisiensi *economizer* bulan Oktober sesudah *sootblower*.

Tanggal	Jam	Flow Water	Enthalphi Water Inlet	Enthalphi Water outlet	Flow Gas	Enthalphi Gas Inlet	Enthalphi Gas Outlet	Effisiensi $\eta_E(\%)$
		kg/s	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kJ/kg	kJ/kg	
2/10/2024	08.32 am	43,24	808,23	1166,91	176,58	3222,42	3117,23	83,49%
3/10/2024	16.26 pm	40,25	810,87	1179,96	164,52	3217,05	3107,23	82,22%
4/10/2024	11.31 am	40,26	819,35	1190,55	167,20	3184,68	3081,6	86,71%
5/10/2024	11.32 am	40,18	818,33	1193,76	166,13	3185,07	3081,23	87,44%
6/10/2024	10.25 am	40,13	804,67	1189,78	168,81	3228,06	3118,77	83,76%
7/10/2024	08.36 am	40,99	815,42	1171,2	169,08	3193,01	3091,08	84,61%
8/10/2024	09.42 am	43,01	833,42	1228,43	169,35	3243,31	3119,57	81,24%
9/10/2024	08.42 am	42,36	842,94	1220,74	158,90	3234,69	3112,03	82,11%
10/10/2024	08.33 am	39,90	837,77	1211,22	167,21	3210,02	3106,86	86,38%
11/10/2024	09.31 am	39,45	839,12	1218,61	164,53	3203,7	3098,98	86,89%

Lampiran C. Tabel Effisiensi *economizer* bulan November sebelum *sootblower*.

Tanggal	Jam	Flow Water	Enthalphi Water Inlet	Enthalphi Water outlet	Flow Gas	Enthalphi Gas Inlet	Enthalphi Gas Outlet	Effisiensi $\eta_E(\%)$
		kg/s	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kJ/kg	kJ/kg	
13/11/2024	08.33 am	41,75	813,99	1120,81	161,04	3242,38	3129,78	70,64%
14/11/2024	09.05 am	40,66	870,05	1168,98	163,72	3246,7	3140,74	70,06%
15/11/2024	08.17 am	39,82	855,91	1199,44	159,97	3290,25	3168,68	70,34%
16/11/2024	08.12 am	41,50	863,63	1166,45	169,08	3246,72	3141,91	70,91%
17/11/2024	14.51 pm	39,21	813,32	1167,81	162,65	3309,78	3189,82	71,23%
18/11/2024	09.16 am	39,30	806,54	1135,87	156,22	3257,56	3140,96	71,05%
19/11/2024	10.14 am	42,21	821,64	1150,58	159,44	3258,84	3134,48	70,02%
20/11/2024	07.21 am	41,18	810,29	1151,78	160,51	3259,91	3136,57	71,03%
21/11/2024	16.35 pm	39,91	826,20	1155,84	159,97	3254,25	3144,44	74,89%
22/11/2024	08.09 am	39,46	859,93	1158,15	155,15	3242,63	3139,35	73,43%

Lampiran D. Tabel Effisiensi *economizer* bulan November sesudah *sootblower*.

Tanggal	Jam	Flow Water	Enthalphi Water Inlet	Enthalphi Water outlet	Flow Gas	Enthalphi Gas Inlet	Enthalphi Gas Outlet	Effisiensi η (%)
		kg/s	kJ/kg	kJ/kg	kg/s	kJ/kg	kJ/kg	
13/11/2024	08.49 am	43,03	832,34	1153,59	157,29	3222	3112,67	80,38%
14/11/2024	09.38 am	40,45	865,49	1227,28	159,17	3209,25	3096,82	81,78%
15/11/2024	08.43 am	39,55	856,49	1235,47	153,27	3229,25	3116,98	87,10%
16/11/2024	08.36 am	40,81	855,28	1218,51	165,87	3202,88	3096,11	83,70%
17/11/2024	15.29 pm	39,43	823,56	1198,32	158,36	3203,41	3091,96	83,72%
18/11/2024	09.44 am	39,21	823,56	1169,08	154,88	3192,59	3085,33	81,55%
19/11/2024	10.46 am	42,29	831,71	1187,23	157,56	3201,43	3083,32	80,79%
20/11/2024	07.48 am	42,11	819,94	1205,91	157,83	3220,85	3092,43	80,19%
21/11/2024	16.54 pm	40,11	826,02	1209,36	154,61	3211,37	3094,43	85,04%
22/11/2024	08.33 am	39,70	847,21	1202,27	145,77	3198,98	3092,09	86,95%

Lampiran D. Tabel Effisiensi *Boiler* bulan Oktober sebelum *sootblower*.

Tanggal	Jam	Main Steam Flow	Enthalphi Steam	Enthalphi Feedwater	Massa Bahan Bakar	Kalor Bahan Bakar	Effisisiensi η (%)
		kg/h	kJ/kg	kJ/kg	kg/h	kJ/kg	
2/10/2024	08.09 am	147460	3485,1	1134,28	23860	17736,49	81,91%
3/10/2024	16.12 pm	142320	3461,99	1134,98	22310	17706,73	83,84%
4/10/2024	11.07 am	144530	3478,47	1138,36	22890	17875,67	82,66%
5/10/2024	10.54 am	140650	3472,06	1139,6	22790	17946,22	80,21%
6/10/2024	10.05 am	144310	3469,42	1170,69	23310	17766,64	80,10%
7/10/2024	08.12 am	140690	3476,77	1133,68	22960	17820,44	80,56%
8/10/2024	09.18 am	152320	3484,84	1179,25	23660	17833,88	83,23%
9/10/2024	07.59 am	144970	3479,26	1161,62	21810	17887,43	86,12%
10/10/2024	08.07 am	146150	3495,38	1176,87	23170	17918,75	81,61%
11/10/2024	09.13 am	142250	3455,93	1162,42	22700	17805,71	80,71%

Lampiran E. Tabel Effisiensi *Boiler* bulan Oktober sesudah *sootblower*.

Tanggal	Jam	Main Steam Flow	Enthalphi Steam	Enthalphi Feedwater	Massa Bahan Bakar	Kalor Bahan Bakar	Effisisiensi η (%)
		kg/h	kJ/kg	kJ/kg	kg/h	kJ/kg	
2/10/2024	08.32 am	154200	3476,86	1166,91	23740	17736,49	84,59%
3/10/2024	16.26 pm	149400	3472,04	1179,96	22030	17706,73	87,79%
4/10/2024	11.31 am	150130	3473,1	1190,55	22450	17875,67	85,39%
5/10/2024	11.32 am	148580	3472,21	1193,76	22330	17946,22	84,47%
6/10/2024	10.25 am	149680	3472,19	1189,78	22680	17766,64	84,78%
7/10/2024	08.36 am	154320	3464,37	1171,2	22700	17820,44	87,48%
8/10/2024	09.42 am	157220	3475,22	1228,43	22760	17833,88	87,03%
9/10/2024	08.42 am	152480	3463	1220,74	21350	17887,43	89,52%
10/10/2024	08.33 am	151320	3476,66	1211,22	22450	17918,75	85,22%
11/10/2024	09.31 am	146780	3486,04	1218,61	22100	17805,71	84,57%

Lampiran F. Tabel Effisiensi *Boiler* bulan November sebelum *sootblower*.

Tanggal	Jam	Main Steam	Enthalphi	Enthalphi	Massa	Kalor	Effisiensi
		Flow	Steam	Feedwater	Bahan Bakar	Bahan Bakar	
		kg/h	kJ/kg	kJ/kg	kg/h	kJ/kg	η (%)
13/11/2024	08.33 am	141720	3463,02	1120,81	21620	17896,77	85,78%
14/11/2024	09.05 am	143310	3464,54	1168,98	21980	17854,90	83,83%
15/11/2024	08.17 am	144590	3441,96	1199,44	21500	17868,72	84,40%
16/11/2024	08.12 am	146930	3455,1	1166,45	22710	17941,99	82,53%
17/11/2024	14.51 pm	142780	3397,52	1167,81	21850	17824,84	81,74%
18/11/2024	09.16 am	140410	3449,43	1135,87	21000	17888,44	86,47%
19/11/2024	10.14 am	140700	3474,16	1150,58	21420	17939,01	85,08%
20/11/2024	07.21 am	142520	3490,03	1151,78	21590	17851,43	86,46%
21/11/2024	16.35 pm	140670	3485,58	1155,84	21490	17825,93	85,55%
22/11/2024	08.09 am	138970	3467,77	1158,15	20830	17822,54	86,45%

Lampiran G. Tabel Effisiensi *Boiler* bulan November sesudah *sootblower*.

Tanggal	Jam	Main Steam	Enthalphi	Enthalphi	Massa	Kalor	Effisiensi
		Flow	Steam	Feedwater	Bahan Bakar	Bahan Bakar	
		kg/h	kJ/kg	kJ/kg	kg/h	kJ/kg	η (%)
13/11/2024	08.49 am	146520	3451,19	1153,59	21120	17896,77	89,06%
14/11/2024	09.38 am	147630	3473,08	1227,28	21370	17854,90	86,89%
15/11/2024	08.43 am	146760	3456,82	1235,47	20600	17868,72	88,56%
16/11/2024	08.36 am	154110	3460,78	1218,51	22270	17941,99	86,48%
17/11/2024	15.29 pm	148610	3408,31	1198,32	21290	17824,84	86,54%
18/11/2024	09.44 am	146720	3472,54	1169,08	20810	17888,44	90,78%
19/11/2024	10.46 am	148660	3454,21	1187,23	21150	17939,01	88,82%
20/11/2024	07.48 am	149590	3481,73	1205,91	21230	17851,43	89,83%
21/11/2024	16.54 pm	146630	3479,59	1209,36	20760	17825,93	89,95%
22/11/2024	08.33 am	144980	3468,71	1202,27	20370	17822,54	90,51%