



**Pengaruh Kinerja *Coal Feeder* terhadap Efisiensi
Boiler Unit 2 di PLTU PT. Bintang
Alumina Indonesia (BAI)**

Tugas Akhir

**Oleh:
Tania Tri Ananta (4232101016)**

**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 : “Sebutkan Judul Tugas Akhir Anda” 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, 03 Januari 2025



Tania Tri Ananta
NIM: 4232101016

Lembar Pengesahan

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

Oleh:
Nama Tania Tri Ananta (4232101016)

Tanggal Sidang: 07 Januari 2025

Disetujui oleh :



1. Ir. Arif Febriansyah Juwito, S.T.,
M.Eng.
NIK: 114127



1. Ir. Jhon Hericson Purba, S.Pd., M.Pd
NIK: 119230



2. Handri Toar S.ST., M.Tr. T
NIK: 113114

Pengaruh Kinerja *Coal Feeder* terhadap Efisiensi Boiler Unit 2 di PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia (BAI)

Abstrak

PT Bintang Alumina Indonesia (BAI) adalah perusahaan yang bergerak di banyak bidang, Salah satunya ialah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU sendiri merupakan pembangkit yang memanfaatkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bahan bakar yang digunakan pada PLTU ini adalah batubara. Salah satu Permasalahan yang pernah terjadi di PLTU BAI ialah Penurunan Kinerja pada *Coal Feeder*. *Coal Feeder* sendiri berfungsi sebagai mengatur banyak dan sedikitnya batubara yang masuk ke *coal mill* sesuai dengan kebutuhan bahan bakar yang digunakan pada proses pembakaran di boiler. Coal feeder memiliki peran penting dalam sistem boiler sebagai pengatur dan pengontrol suplai batubara ke ruang bakar (*furnace*) secara kontinu dan konsisten. Fungsi utama *coal feeder* adalah memastikan aliran batubara sesuai kebutuhan boiler untuk menjaga kestabilan pembakaran, tekanan steam, dan temperatur kerja boiler. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kinerja *coal feeder* terhadap efisiensi boiler, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerjanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja *coal feeder* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu kualitas batubara, kerusakan mekanis, pengaturan yang tidak optimal, dan kurangnya pemeliharaan. Aliran batubara yang stabil dan sesuai kebutuhan boiler terbukti berkontribusi signifikan terhadap efisiensi boiler. Jika aliran batubara terlalu besar, efisiensi menurun akibat *incomplete combustion* dan tingginya kehilangan energi melalui gas buang. Setelah dilakukan Penelitian, Batubara memiliki Pengaruh terhadap Steam yang dihasilkan. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai signifikansi sebesar $0,01 < 0,05$ dan besarnya Pengaruh Batubara terhadap Steam yang dihasilkan yaitu sebesar 78,9%.

Kata kunci: PLTU, *Coal Feeder*, Efisiensi Boiler, Aliran Batubara

Effect of Coal Feeder Performance on Unit 2 Boiler Efficiency at PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia (BAI)

Abstract

PT Bintan Alumina Indonesia (BAI) is a company engaged in many fields, one of which is Steam Power Plant (PLTU). PLTU itself is a power plant that utilizes kinetic energy from steam to produce electrical energy. The fuel used in this PLTU is coal. One of the problems that has occurred at PLTU BAI is the decline in performance of the Coal Feeder. Coal Feeder itself functions as regulating the amount and amount of coal entering the coal mill according to the needs of the fuel used in the combustion process in the boiler. Coal feeder has an important role in the boiler system as a regulator and controller of coal supply to the combustion chamber (furnace) continuously and consistently. The main function of the coal feeder is to ensure the flow of coal according to the needs of the boiler to maintain the stability of combustion, steam pressure, and boiler working temperature. This study aims to analyze the effect of coal feeder performance on boiler efficiency, and identify factors that affect its performance. The results show that the performance of the coal feeder can be affected by several main factors, namely coal quality, mechanical damage, non-optimal settings, and lack of maintenance. A stable coal flow that meets the needs of the boiler is proven to contribute significantly to boiler efficiency. If the coal flow is too large, efficiency decreases due to incomplete combustion and high energy loss through flue gas. After research, coal has an influence on the steam produced. This can be seen from the significance value of $0.01 < 0.05$ and the magnitude of the influence of coal on the steam produced is 78.9%.

Keywords: PLTU, Coal Feeder, Boiler Efficiency, Coal Flow

Kata Pengantar

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah Swt yang telah memberikan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Kinerja *Coal Feeder* terhadap Efisiensi Boiler Unit 2 di PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia (BAI)”. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) Jurusan Teknik Elektro Prodi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi. Penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini menemui hambatan dan halangan yang ditemui dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini dapat teratasi. Dalam kesempatan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua, Ayahanda Taya dan Ibunda Sri Wahyuni yang telah senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi kepada penulis;
2. Saudara perempuan Fricilla Dwi Saputri dan saudara laki-laki Gusti Anthonio Perdana yang senantiasa memberikan *support* kepada penulis;
3. Kakak Nadila Pratiwi dan Abang Ipar Iqbal Kurniawan yang telah mendukung penulis;
4. Ir.Jhon Hericson Purba, S.Pd.,M.Pd selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu untuk membimbing penulis;
5. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, ST., MSM., CIPMP., CISCIP selaku Direktur Politeknik Negeri Batam;
6. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi;
7. Bapak Fauzun Atabiq, S.T., M.Cs., selaku wali dosen yang telah memberikan bimbingan, saran, serta motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir;
8. Ibu Hasnira, S.ST., M.Tr.T. selaku coordinator Magang yang senantiasa memberikan motivasi, saran, dan membimbing penulis;
9. Bapak Ir.Arif Febriansyah Juwito, S.T., M.Eng. dan Bapak Handri Toar S.ST., M.Tr. T selaku penguji yang telah memberikan saran kepada penulis;
10. Seluruh Dosen Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis;
11. Teman-teman seperjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang telah memberikan dukungan;
12. Seluruh karyawan PT Bintang Alumina Indonesia terutama Tim Thermal Boiler yang telah memberikan ilmu, dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini;

13. Semua pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis menerima saran dan kritik dari pembaca. Semoga Tugas Akhir ini berguna bagi penulis maupun pihak yang memerlukan khususnya bagi mahasiswa Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi.

Batam, 03 Januari 2025



Tania Tri Ananta

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar	v
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. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	3
2.2. <i>Coal Feeder</i>	4
2.2.1. Pengertian <i>Coal Feeder</i>	4
2.2.2. Komponen <i>Coal Feeder</i>	5
2.2.3. Prinsip Kerja Coal Feeder	10
2.2.4. Sistem Proteksi pada <i>Coal Feeder</i>	11
2.3. Boiler	13
2.3.1. Pengertian Boiler	13
2.3.2. Komponen Utama pada Boiler	14
2.3.3. Prinsip Kerja Boiler	16
2.4. Efisiensi Boiler.....	17
2.5. <i>Distributed Control System (DCS)</i>	18
2.6. <i>Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)</i>	19

Bab 3. Metodologi Penelitian.....	20
3.1. Perancangan	20
3.2. Pengumpulan Data	21
3.2.1. Data Output Steam	21
3.2.2. Data Air Umpan (<i>Feed Water</i>).....	23
3.2.3. Data Penggunaan Bahan Bakar	25
3.3. Metode Penelitian	27
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	28
4.1. Perhitungan Efisiensi Boiler	28
4.2. Data Hasil Penelitian	41
4.3. Uji Regresi Linear	43
4.4. Pembahasan	44
4.4.1. Faktor-faktor yang menyebabkan Penurunan Kinerja <i>coal feeder</i>	45
4.4.2. Pengaruh <i>Coal Feeder</i> terhadap Efisiensi Boiler.....	47
Bab 5. Kesimpulan dan Saran.....	50
5.1. Kesimpulan	50
5.2. Saran.....	51
Daftar Pustaka	52
Biodata	53
Lampiran	54

Daftar Gambar

Gambar 1 PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia (BAI)	3
Gambar 2 Proses Konversi Energi PLTU	4
Gambar 3 Komponen <i>Coal Feeder</i>	5
Gambar 4 <i>Cleanout Conveyor</i>	6
Gambar 5 <i>Junction box</i>	7
Gambar 6 Lokal Kendali Panel.....	8
Gambar 7 Sensor <i>Load Cell</i>	9
Gambar 8 <i>Sensor Limit Switch</i>	10
Gambar 9 Boiler PLTU PT Bintang Alumina Indonesia	13
Gambar 10 Spesifikasi Boiler PT Bintang Alumina Indonesia	13
Gambar 11 Skema Deaerator	14
Gambar 12 Ilustrasi Sederhana <i>Superheater</i>	15
Gambar 13 Aliran udara Air Heater	15
Gambar 14 Konstruksi Economizer	16
Gambar 15 <i>Milling System</i> pada DCS	18
Gambar 16 Diagram Alir Perancangan Penelitian	20
Gambar 17 Mencari nilai enthalphi Steam menggunakan Steam tab	28
Gambar 18 Mencari nilai enthalphi Air Umpan menggunakan Steam tab	29
Gambar 19 Konversi nilai GCV	29
Gambar 20 Grafik Total Steam yang dihasilkan.....	47
Gambar 21 Grafik Total Batubara yang digunakan	47
Gambar 22 Grafik Efisiensi Boiler.....	48
Gambar 23 <i>Coal Feeder</i> PT Bintang Alumina Indonesia	54
Gambar 24 <i>Maintenance</i> pada <i>Coal Feeder</i>	54

Daftar Tabel

Tabel 1 Spesifikasi <i>Coal Feeder</i>	5
Tabel 2 Data Output Steam.....	21
Tabel 3 Data Feed Water	23
Tabel 4 Data Penggunaan Bahan bakar.....	25
Tabel 5 Data Hasil Penelitian.....	41
Tabel 6 Nilai Signifikansi.....	43
Tabel 7 Besar Pengaruh Batubara yang digunakan terhadap Steam yang dihasilkan	44

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi manusia. Banyak kegiatan yang membutuhkan energi listrik salah satunya kegiatan industri. Di PT Bintan Alumina Indonesia (BAI) industri alumina merupakan industri terbesar penggunaan energi listrik. Maka dari itu PT Bintan Alumina Indonesia (BAI) membangun PLTU dengan Kapasitas 160 MW menggunakan 6 Unit Turbin, 6 Unit Boiler, dan 6 Unit Generator. Pada saat ini Boiler yang beroperasi sebanyak 4 unit yaitu Boiler unit 2, 3, 4, dan 6.

Boiler adalah alat utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berfungsi mengubah air menjadi uap. Uap yang dihasilkan kemudian digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi listrik. Sistem Boiler yang digunakan pada PT.Bintan Alumina Indonesia adalah Sistem *Circulating Fluidized Bed* (CFB). *Circulating Fluidized Bed* (CFB) adalah teknologi yang terus berkembang yang sangat efisien dalam menghasilkan listrik berbiaya rendah dengan emisi dan dampak lingkungan yang rendah. Karena ini adalah teknologi baru, pengetahuan mendalam tentang teknologi ini belum tersebar luas[1].

Salah satu komponen pendukung yang membantu proses pembakaran pada boiler ialah *Coal Feeder*. *Coal Feeder* merupakan peralatan utama pada PLTU yang berfungsi untuk mengatur laju batubara yang dari *coal bunker* atau silo menuju ke *mill* atau *pulverizer* untuk dihaluskan. *Coal feeder* ini bertugas mengatur banyak dan sedikitnya batubara yang akan masuk ke *mill* sesuai dengan kebutuhan bahan bakar yang akan digunakan pada proses pembakaran di boiler[2].

Permasalahan yang umum terjadi pada *Coal Feeder* PT.Bintan Alumina Indonesia (BAI) yaitu seperti *Coal Feeder* macet atau menumpuk diantara *Coal Feeder* dan *Coal mill*. Batubara lengket pada dinding *bunker* sehingga batubara yang diantar ke *coal feeder* tidak sesuai. Tombol switch lengket atau kepenuhan sehingga tidak keantar ke *coal mill* dan Timbangan yang sering tidak sesuai (*error*).

Dari latar belakang dan permasalahan yang diperoleh di PT Bintan Alumina Indonesia (BAI) maka dilakukan penelitian dengan judul **“Pengaruh Kinerja *Coal Feeder* terhadap Efisiensi Boiler Unit 2 di PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia (BAI)”** .

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan antara lain:

1. Bagaimana Kerja *Coal Feeder*?
2. Apa Saja Faktor yang menyebabkan Penurunan Kinerja *Coal Feeder*?
3. Bagaimana *Coal Feeder* mempengaruhi efisiensi Boiler?
4. Bagaimana pengaturan *coal feeder* memengaruhi efisiensi Boiler?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui Bagaimana Cara Kerja *Coal Feeder*,
2. Mengetahui Faktor-Faktor yang menyebabkan Penurunan Kinerja *Coal Feeder*,
3. Mengetahui Efisiensi Boiler terhadap pengaruh *coal feeder*,
4. Menganalisis pengaruh aliran batubara dari *coal feeder* terhadap efisiensi Boiler.

1.4. Manfaat

1. Untuk menambah pengetahuan dan pengalaman penulis dalam bidang yang dianalisa baik secara teoritis maupun penerapannya.
2. Menjadi bahan referensi untuk mengembangkan pengetahuan mahasiswa tentang *Coal Feeder*
3. Mengetahui prinsip kerja *Coal Feeder*
4. Diharapkan dapat meningkatkan efisiensi *coal feeder* pembangkit di PT. Bintan Alumina Indonesia (BAI).

1.5. Batasan

Dalam menganalisis coal feeder ini masalah dibatasi sebagai berikut:

1. *Coal Feeder* sebagai objek penelitian yang berada pada unit 2 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia (BAI).
2. Analisis korosi diabaikan.
3. Analisis Kualitas batubara diabaikan.
4. Penulis tidak menghitung besar *losses* pada boiler.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

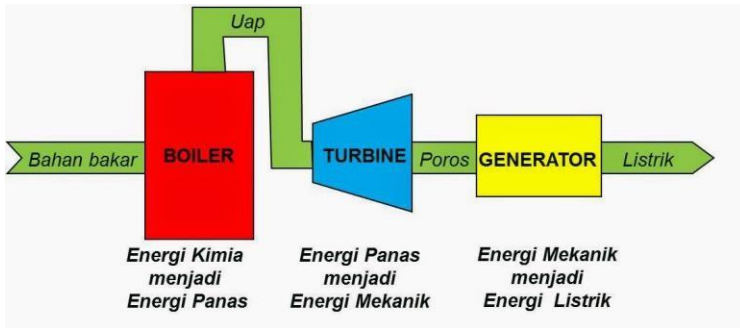


Gambar 1 PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia (BAI)

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang di hubungkan ke turbin dimana untuk memutar turbin diperlukan energi kinetik dari uap panas atau kering. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batubara dan minyak bakar serta MFO untuk start awal[3]. Bahan bakar yang digunakan di PT.Bintang Alumina Indonesia (BAI) yaitu batubara.

Prinsip kerja dari PLTU adalah dengan menggunakan siklus air-uap-air yang merupakan suatu sistem tertutup air dari kondensat atau air dari hasil proses pengkondensasian di kondensator dan *make up water* (air yang dimurnikan) dipompa oleh *condensat pump* ke pemanas tekanan rendah. Disini air dipanasi kemudian dimasukkan oleh daerator untuk menghilangkan oksigen, kemudian air ini dipompa oleh boiler *feed water pump* masuk ke *economizer*. Dari *economizer* yang selanjutnya dialirkan ke pipa untuk dipanaskan pada tube boiler.



Gambar 2 Proses Konversi Energi PLTU
 (Sumber: <https://kitadanenergi.blogspot.com/>,2017)

Pada tube, air dipanasi berbentuk uap air. Uap air ini dikumpulkan kembali pada *steam drum*, kemudian dipanaskan lebih lanjut pada *superheater* sudah berubah menjadi uap kering yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi, dan selanjutnya uap ini digunakan untuk menggerakkan sudu turbin tekanan tinggi, untuk sudu turbin menggerakkan poros turbin. Hasil dari putaran poros turbin kemudian memutar poros generator yang dihubungkan dengan coupling, dari putaran ini dihasilkan energi listrik.

2.2. Coal Feeder

2.2.1. Pengertian Coal Feeder

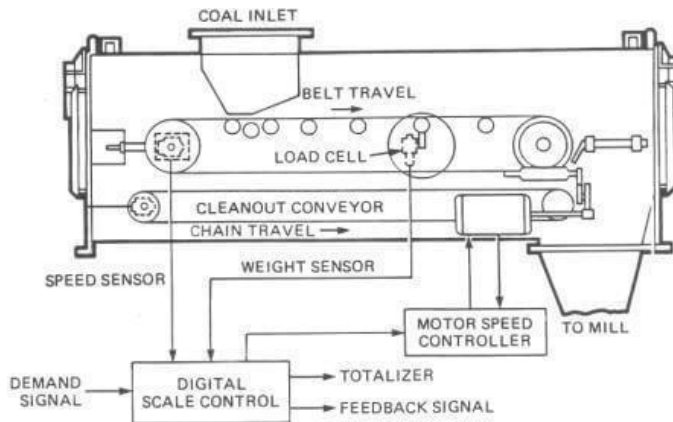
Coal Feeder merupakan peralatan utama pada PLTU yang berfungsi untuk mengatur laju batubara yang dari *coal bunker* atau *silos* menuju ke *mill* atau *pulverizer* untuk dihaluskan. *Coal feeder* ini bertugas mengatur banyak dan sedikitnya batubara yang akan masuk ke *mill* sesuai dengan kebutuhan bahan bakar yang akan digunakan pada proses pembakaran di boiler[2]. *Coal feeder* terdapat di bawah *coal bunker*. Batubara yang akan dibakar sebelumnya disimpan didalam *coal bunker*. Didalam *coal feeder* terdapat conveyor yang digunakan untuk memindahkan batubara dari *coal bunker* ke *coal mill* untuk dihaluskan. *Coal feeder* juga berfungsi untuk menunjang kesiapan kontinuitas suplai batubara ke unit pembangkit, sehingga berperan penting dalam penyaluran batubara sesuai dengan kapasitas yang dibutuhkan untuk proses pembakaran pada boiler. Namun perlu diketahui juga bahwa mesin *coal feeder* merupakan salah satu mesin yang dapat mengalami gangguan, hal tersebut tentu saja dapat berpengaruh buruk, mengingat *coal feeder* merupakan salah satu alat penyalur batubara untuk ke boiler, apabila *coal feeder* mengalami gangguan, maka alat penghalus batubara

(pulverizer) dapat mengalami overheat dan kemudian *trip*. Hal itu jelas akan mengganggu proses pembakaran dan penghasilan uap pada boiler.

Tabel 1 Spesifikasi Coal Feeder

Type	DPG30	
Range of Output	3-35	t/h
Power of main control	2,2	kW
Serial NO	2022025	
Import & Export Distance	2062	mm
Range of Belt Speed	22,8-265,5	mm/s
Weight	2,9	t
Release date	2022.8	

2.2.2. Komponen Coal Feeder



Gambar 3 Komponen Coal Feeder

(Sumber: instrumentasipembangkit, 2017)

Coal feeder memiliki beberapa komponen utama yang menunjang kinerja suplai batubara ke dalam *pulverizer*. Diantaranya ialah sebagai berikut:

1. Rumah atau kerangka

Yang berbentuk silinder baja yang tahan terhadap tekanan bila terjadi ledakan sesuai standar NFPA. Plate pengarah (*guide plate*) dan *skirt* terpasang pada sisi masuk untuk membentuk aliran batubara tetap ke *belt conveyor*. Plat yang selalu kontak dengan batubara terbuat dari baja. Selain pintu sisi masuk dan keluar juga terpasang pintu samping dapat dipergunakan untuk keperluan

pemeriksaan atau pemeliharaan. Pintu *discharge* juga dilengkapi *sight glas* sehingga bisa untuk melihat dari luar kondisi bagian dalam *coal feeder*.

2. *System belt conveyor*

System belt conveyor yang terdiri atas: Motor, *reducer*, *drive pulley*, *take up pulley*, *tension roll* untuk menjaga tarikan belt tetap stabil, plat penopang belt dan belt. Bagian tengah belt juga ada tonjolan berbentuk v (*v-guide*) sisi dalam agar belt selama berputar selalu sesuai track Pada ujung akhir sisi head pulley dilengkapi skraper agar belt conveyor terjaga tetap bersih terutama dimusim hujan banyak batubara yang basah dan melekat. *Tension roll* dipasang untuk menjaga agar tegangan tarikan belt conveyor tetap dan harus disetel lagi apabila mengendor. Sebagai penggerak belt conveyor dipasang *variable frekuensi motor* yang terdiri motor AC 3 phasa sehingga pengaturan perubahan putaran dapat berjalan dengan halus (*smooth*).

3. *Cleanout Conveyor*



Gambar 4 *Cleanout Conveyor*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Cleanout conveyor dipergunakan untuk membersihkan tumpahan batubara yang berada di lantai didalam coal feeder. Selama feeder beroperasi batubara yang melekat pada conveyor dibersihkan oleh scraper dan kotoran akan mengumpul dan sebagian jatuh ke lantai. Rantai pembersih digerakkan oleh motor melalui gigi *reducer scraper* tipe sayap pada rantai membersihkan kotoran menuju *discharge* atau sisi keluar. Dianjurkan pengoperasian *cleanout conveyor* bersamaan dengan pengorasian *feeder conveyor* hal ini untuk meminimalkan penumpukan kotoran didalam *coal feeder*. Selain dari itu pengoperasian terus menerus mempunyai keuntungan bahwa rantai tidak macet dan tidak sampai mengganggu proses pengisian batubara.

4. *Weighing system* (sistem timbangan)

Sistem timbangan terletak antara sisi masuk dan pulley penggerak. Semua permukaan 3 roller dibuat sempurna, dimana 2 roller adalah tetap dan satu roller menggantung pada pasangan load cells. Berat batubara pada belt mempengaruhi *load cell* untuk sinyal *output*. Sinyal *output* dari *load cell* menandakan berat batubara dan frekuensi sinyal tachometer menunjukkan kecepatan belt. Test berat (*test weight*) terletak dibawah *load cell and weigh roller*.

5. *Belt Feeder*

komponen penyalur batubara dari keluaran *coal bunker* sampai ke *inlet pulverizer* melalui *outlet coal feeder*. ketika belt ini mengalami keausan maka akan putus seiring berjalan waktu dan membuat seluruh sistem *coal feeder* dimatikan.

6. *Junction box*



Gambar 5 Junction box
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Junction box merupakan tempat lampu indikator untuk *belt feeder* dan *cleanout conveyor* dalam posisi operasi atau stop, posisi remote-lokal, *forward-reverse*, *bunker outlet open close*, lampu penerangan pada posisi operasi nyala atau mati, dan tombol *emergency stop*. Adapun terdapat kendali untuk *reverse/forward* dan kendali mode *coal feeder* (manual/auto).

7. Lokal kendali panel



Gambar 6 Lokal Kendali Panel
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

komponen berisi relay-relay dan mikroprosesor yang memberikan informasi status, mode yang dipakai dan alphanumeric display untuk menampilkan kondisi pengoperasian serta sebagai otak coal feeder atau sistem yang terhubung dengan DCS.

8. Sensor-sensor yang terdapat pada Coal Feeder
Coal feeder memiliki dua sensor, yaitu sensor berat (*load cell sensor*), dan *Limit switch*.

a) sensor berat (*load cell sensor*)



Gambar 7 Sensor Load Cell
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Coal feeder mengukur berat batubara dengan menggunakan sensor berat (*load cell*). *Load cell* sendiri terpasang di bawah *belt conveyor* yang mengangkut batubara ke *pulverizer* sebelum ke sistem pembakaran. *Feedback* dari sensor *load cell* dalam bentuk ton/jam ini akan dikirim ke DCS tiap 1 ton/jam nya dalam bentuk sinyal impuls. Dengan menggunakan gravimetric coal feeder, pengendalian jumlah batubara yang dibakar dapat akurat dan menjamin efisiensi pembakaran, selain itu diperlukan kalibrasi sensor load cell secara berkala agar sistem kendali suplai batubara dapat selalu berjalan dengan baik[5].

Proses pengaturan atau jumlah batubara yang dibutuhkan untuk proses pembakaran sebagai penyesuaian daya yang ingin dibangkitkan diatur oleh DCS melalui set point (*demand*). Dengan adanya *load cell* pada *coal feeder* mampu memberikan data bahwa beban yang terdapat di *belt conveyor* telah sesuai dan dipertahankan untuk sebesar nilai *density actual*[5].

b) Sensor *Limit Switch*



Gambar 8 Sensor *Limit Switch*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Sensor *limit switch* pada *coal feeder* adalah komponen penting yang digunakan untuk memantau dan mengontrol aliran batubara ke dalam boiler. Sensor *limit switch* membantu mengontrol jumlah batubara yang masuk ke dalam sistem pembakaran. Ini memastikan bahwa batubara disalurkan dengan jumlah yang tepat untuk mempertahankan efisiensi dan stabilitas pembakaran. Sensor ini juga berfungsi sebagai pengaman untuk mencegah kerusakan pada komponen *coal feeder* akibat kelebihan beban atau gangguan operasional. Sehingga Sensor *limit switch* memungkinkan pemantauan kinerja *coal feeder* secara *real-time*.

2.2.3. Prinsip Kerja Coal Feeder

Coal feeder merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah batubara yang dibakar dalam suatu sistem pembakaran (boiler). Prinsip kerja dari gravimetric *coal feeder* yang digunakan pada PLTU BAI unit 1 – 6 ini ialah dengan mengukur berat batubara yang masuk ke sistem pembakaran, sehingga dapat mengendalikan jumlah batubara yang akan dibakar dengan akurat. Prinsip kerja dari *coal feeder* adalah batubara mentah yang berasal dari *coal bunker* masuk ke dalam *coal feeder* melalui *chute inlet* dan akan ditampung pada *conveyor belt* dari *coal feeder* menuju *coal mill* dengan pengoperasian otomatis melalui ruang kontrol atau melalui lokal.

Coal feeder mengukur berat batubara dengan menggunakan sensor berat (*load cell*). *Load cell* sendiri terpasang di bawah *belt conveyor* yang mengangkat batubara ke *pulverizer* sebelum ke sistem pembakaran. *Feedback* dari sensor *load cell* dalam bentuk ton/jam ini akan dikirim ke DCS tiap 1 ton/jam nya dalam bentuk sinyal impuls. Dengan menggunakan *gravimetric coal feeder*, pengendalian jumlah batubara yang dibakar dapat akurat dan menjamin efisiensi pembakaran, selain itu diperlukan kalibrasi sensor *load cell* secara berkala agar sistem kendali suplai batubara dapat selalu berjalan dengan baik.

Proses pengaturan atau jumlah batubara yang dibutuhkan untuk proses pembakaran sebagai penyesuaian daya yang ingin dibangkitkan diatur oleh DCS melalui *set point (demand)*. Dengan adanya *load cell* pada *coal feeder* mampu memberikan data bahwa beban yang terdapat di *belt conveyor* telah sesuai dan dipertahankan untuk sebesar nilai *density actual*.

Coal feeder sendiri digerakkan oleh 2 buah motor induksi 3 fasa yang mana, motor pertama digunakan sebagai penggerak utama dalam memutar *belt conveyor*, dan motor kedua digunakan untuk memutar *belt cleanout conveyor*. Kecepatan kedua motor ini pengaturan kecepatannya diatur oleh DCS dari ruang kendali dengan menggunakan *Variable Speed Drive (VSD)*. Pengendalian kecepatan motor pada *coal feeder* juga memiliki pengaruh pada pengaturan jumlah *coal feeder* dalam mensuplai batubara ke *pulverizer*.

2.2.4. Sistem Proteksi pada Coal Feeder

Coal feeder memiliki beberapa proteksi yang berfungsi untuk menunjang sistem suplai batubara ke *pulverizer* dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan prosedur yang tepat. Pada penelitian ini proteksi yang akan dibahas ialah sebagai berikut :

1. No Coal On Belt

Proteksi *no coal on belt* sendiri merupakan proteksi yang digunakan untuk mengecek ada atau tidaknya batubara yang disuplai oleh *coal feeder*. Batubara yang keluar dari *coal bunker* akan langsung jatuh ke *belt feeder*, kemudian akan disuplai ke *pulverizer* melalui *discharge chut (outlet coal feeder)*. Ketika *belt feeder* tidak terdapat batubara maka sistem akan memerintahkan agar *coal feeder* untuk melakukan *trip*. Indikasi tidak adanya batubara dilakukan melalui *limit switch* yang dihubungkan dengan *gate* (papan penyentuh) yang akan membuka dan menutup ketika batubara lewat melalui belt[2].

Ketika terdapat batubara pada *belt feeder*, maka *gate* akan terdorong. Namun, jika tidak terdapat batubara pada *belt feeder*, *limit switch* akan kontak dan mengidentifikasi *terjadinya local trip coal feeder*. Sinyal dari *limit switch* bahwa tidak adanya batubara

ini akan diteruskan ke panel kendali dan DCS sebagai bentuk alarm terjadinya *no coal on belt*.

Terjadinya *no coal on belt* ini biasanya disebabkan oleh *plugging* batubara di *outlet coal bunker*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut *vibrator* pada bagian *outlet coal bunker* langsung bekerja dengan estimasi waktu 5 detik, jika lebih dari 5 detik batubara tidak turun, maka *coal feeder* langsung melakukan *trip*. Alarm ketika terjadinya gangguan ini juga akan ditampilkan pada ruang kendali DCS. *Plugging* pada *outlet coal bunker* ini juga akan berpengaruh pada kerja *pulverizer*, ketika terjadinya hambatan batubara pada *inlet coal feeder* maka *pulverizer* akan beroperasi dengan estimasi waktu 10 detik, dan diharapkan kurang dari itu *coal feeder* sudah bisa menyuplai kembali batubara ke *pulverizer*.

2. *Coal Feeder Outlet Plugging*

Proteksi *outlet plugging* ini merupakan pengamanan dari adanya *plugging* atau hambatan pada *outlet coal feeder*. *Plugging* dapat terjadi dikarenakan adanya batubara berukuran besar atau berupa lumpur dapat juga dipengaruhi oleh bahan lain yang masuk seperti kayu, besi atau bahan lainnya. Prinsip kerja dari proteksi *outlet plugging* sebenarnya hampir sama dengan proteksi *no coal on belt*, yaitu menggunakan *limit switch* yang juga terhubung ke *gate* sebagai indikasi terjadinya *plugging*. Terjadinya *plugging* pada *outlet coal feeder* ini akan secara langsung mematikan *coal feeder* dan juga *pulverizer*. Sebab tidak adanya cara untuk mengatasi *plugging* secara cepat pada bagian *outlet coal feeder*. Jika tidak langsung *trip*, hal yang bisa terjadi adalah *pulverizer* mengalami eksplosif karena adanya suhu yang tinggi pada bagian penghalusan.

2.3. Boiler



Gambar 9 Boiler PLTU PT Bintang Alumina Indonesia
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

2.3.1. Pengertian Boiler

Peralatan yang sangat penting di dalam suatu pembangkit listrik tenaga uap adalah boiler (*Steam Generator*) atau yang biasanya disebut dengan ketel uap. Alat ini merupakan alat penukar kalor dimana energi panas yang dihasilkan dari pembakaran di ruang bakar diubah menjadi energi potensial yang berupa uap. Uap yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi inilah yang nantinya digunakan sebagai media penggerak utama Turbin Uap.



Gambar 10 Spesifikasi Boiler PT Bintang Alumina Indonesia
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

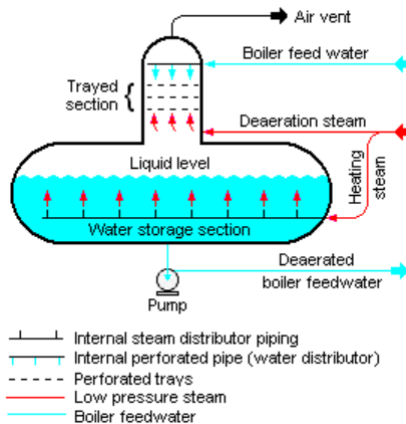
2.3.2. Komponen Utama pada Boiler

1. Tungku Pengapian (*Furnance*)

Tungku pengapian (*furnance*) merupakan bagian ruangan dapur sebagai penerima bahan bakar guna proses pembakaran. Tungku adalah struktur yang digunakan untuk membakar bahan bakar. Terdiri dari komponen-komponen berikut: refraktori, ruang perapian, pembakar, pembuangan gas buang, pintu pengisian dan pembuangan [6].

2. *Deaerator*

Deaerator merupakan alat yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan oksigen dan gas-gas lain yang terlarut dalam air umpan sebelum masuk ke boiler. *Deaerator* juga merupakan alat yang dipergunakan guna meningkatkan suhu atau *temperature* dan meminimalkan kadar oksigen yang terjadi dalam air umpan[7].



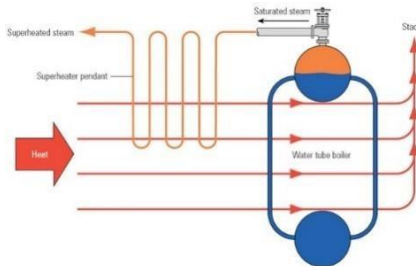
Gambar 11 Skema Deaerator

(Sumber: <https://wbsakti.wordpress.com/>,2012)

3. *Feed Water*

Boiler Feed Water adalah air yang digunakan untuk umpan boiler. Air umpan dimasukkan ke dalam steam drum dari pompa umpan. Di dalam *steam drum*, air umpan kemudian diubah menjadi uap hasil panas. Setelah uap digunakan, selanjutnya dibuang ke kondensor utama. Dari kondensor, kemudian dipompa ke tangki umpan deaerasi.

4. Superheater

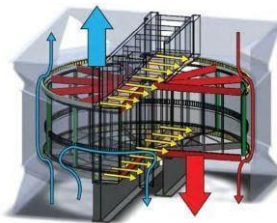


Gambar 12 Ilustrasi Sederhana Superheater

(Sumber: <https://indonesian.boilerfabrication.com/>)

Superheater adalah perangkat yang berfungsi untuk mengubah uap jenuh atau uap basah menjadi uap super panas atau uap kering. Uap jenuh adalah uap yang berasal dari *steam drum*, uap ini memiliki tingkat kelembaban yang tinggi, sedangkan uap kering atau bisa disebut uap *superheater* adalah uap yang memiliki tingkat kelembaban yang rendah dan temperatur tinggi. Uap *superheater* harus dikontrol agar menghasilkan temperatur yang sesuai dengan *setpoint*. Pengaturan temperatur uap merupakan salah satu pengaturan yang tergolong sulit di dalam sistem pengaturan boiler. Hal ini dikarenakan temperatur uap memiliki respon waktu yang lama dan bersifat tidak linier[8]. Superheater merupakan komponen penting dalam sistem boiler yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik termal.

5. Air Heater



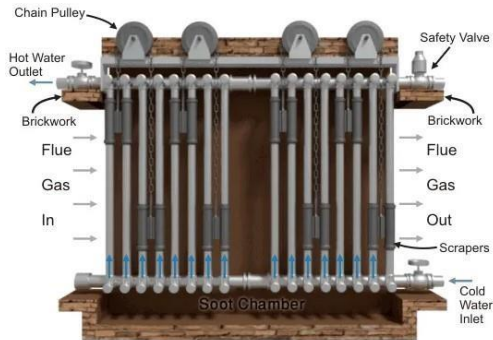
Gambar 13 Aliran udara Air Heater

(Sumber: energyauditofaph, 2015)

Airheater yang merupakan alat yang memanaskan udara yang digunakan untuk meniup atau menghembuskan bahan bakar sehingga terbakar sempurna. Sebelum melewati pemanas udara,

udara yang dihembuskan memiliki suhu yang sama dengan suhu udara normal (suhu luar), yaitu 38 °C. Namun setelah melewati pemanas udara, suhu udara naik menjadi 230 °C untuk menghilangkan kandungan air yang dikandungnya, karena uap air dapat mengganggu proses pembakaran[9].

6. Economizer



Gambar 14 Konstruksi Economizer

(Sumber: <https://www.aeroengineering.co.id/>, 2022)

Economizer adalah komponen boiler yang berfungsi untuk memanaskan air umpan boiler menggunakan panas dari gas buang. *Economizer* memiliki banyak manfaat, di antaranya: dapat menghemat energi dan biaya, dengan menggunakan *economizer*, jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk memanaskan air berkurang, sehingga dapat menghemat energi dan uang. *Economizer* juga membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya. *ekonomizer* juga dapat memperpanjang umur dan keandalan sistem boiler[10].

2.3.3. Prinsip Kerja Boiler

Pada dasarnya prinsip kerja dari sebuah boiler adalah jika air dipanaskan pada tekanan satu atmosfer, suhunya akan berangsur-angsur naik sampai 100° C. Tetapi pemanasan lebih lanjut tidak akan menaikkan suhu lebih tinggi. Air akan mendidih dan yang ditambahkan itu seluruhnya terpakai untuk membangkitkan uap. Jadi tekanan uap yang dihasilkan adalah 1 atmosfer dan suhunya 100°C. Akan tetapi, jika air dipanaskan pada tekanan lebih besar dari pada 1 atmosfer, suhunya akan naik sampai lebih tinggi dari pada 100°C dan air akan mendidih pada suhu yang sebanding dengan tekanannya. Sesudah mendidih, suhu tidak akan meningkat oleh pemanasan lanjut dan semua panas hanya dipakai membentuk uap. Suhu tertentu yang sebanding tekanan disebut suhu jenuh (saturation temperatur) dan

tekanannya disebut tekanan jenuh (*saturation pressure*). Antara suhu jenuh dan tekanan jenuh terdapat hubungan yang pasti sehingga jika tekanan diketahui, suhu jenuh yang sebanding sudah tentu ada. Demikian pula jika suhu diketahui, tekanan jenuh yang sebanding juga diketahui [11]. Uap yang dibangkitkan pada tekanan jenuh dan suhu jenuh disebut uap jenuh (*saturated steam*). Memperlihatkan hubungan antara tekanan dan suhu uap jenuh. Uap jenuh biasanya mengandung sejumlah air sehingga disebut uap jenuh basah, uap yang sama sekali tidak mengandung air (karena telah menguap semua) disebut uap jenuh kering. Jika uap jenuh kering dipanaskan lebih lanjut pada tekanan jenuh, suhunya akan naik melebihi suhu jenuh disertai penambah volume uap ini disebut uap pemanasan lanjut (*superheater steam*), panas yang di tambah untuk menaikkan suhu sampai titik didih disebut panas nyata dan panas yang di tambahkan sesudah titik didih tercapai dan dipakai untuk membangkitkan uap disebut panas laten (*latent heat*).

2.4. Efisiensi Boiler

Pada perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode langsung, beberapa data yang diperlukan yaitu jumlah *steam* yang dihasilkan (Q), konsumsi bahan bakar (q), Nilai Panas Kotor Bahan (GCV), suhu dan tekanan *steam* yang dihasilkan. Akan tetapi, karena keterbatasan instrumentasi berupa *steam flow*, maka nilai Q diasumsikan dengan kebutuhan uap pada setiap alat. Sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi boiler dengan metode langsung adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times \text{CGV}} \times 100.00\% \quad (1)$$

Keterangan:

Q = Jumlah hasil *steam* (t/h)

q = Jumlah Konsumsi Bahan Bakar (t/h)

h_g = Entalpi *steam* jenuh (kJ/kg)

h_f = Entalpi air umpan (kJ/kg)

CGV = Nilai Panas Kotor Bahan Bakar (kkal/kg)

2.5. Distributed Control System (DCS)

Distributed Control System (DCS) merupakan suatu pengembangan *system control* dengan menggunakan *computer* dan alat elektronik lainnya agar didapat pengontrol suatu *loop system* yang lebih terpadu dan dapat dikendalikan oleh semua orang dengan mudah dan cepat.

Distributed Control System (DCS) ini sendiri berfungsi untuk mengontrol peralatan proses pada PLTU. DCS dapat berfungsi bila pada peralatan di PLTU dipasang sensor untuk membaca respon yang terjadi pada suatu alat. Jika suatu keadaan dimana peralatan tersebut tidak dapat mencapai respon yang diinginkan maka secara otomatis DCS akan memberikan suatu tanda pada *Control Room*, supaya *Controler* dapat segera mengeset respon yang diinginkan. Selain itu DCS sangat memudahkan para pekerja mengontrol keadaan PLTU. Berikut merupakan salah satu contoh gambar DCS yang adu pakai untuk mencatat data parameter penting.



Gambar 15 Milling System pada DCS

Pada **Gambar 15** di atas merupakan *Milling system* pada DCS yang berada di ruang control. Batubara yang masuk dari *conveyor* disimpan di *coal bunker*, masuk ke *coal feeder* kemudian masuk ke *coal mill*.

2.6. *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)*

SPSS (*Statistical Program for Social Science*) merupakan paket program yang berguna untuk menganalisis data statistik. SPSS dapat digunakan untuk hampir seluruh file data dan sekaligus membuat laporan dalam bentuk tabulasi, grafik, dan plot untuk berbagai distribusi maupun *statistic* deskriptif.

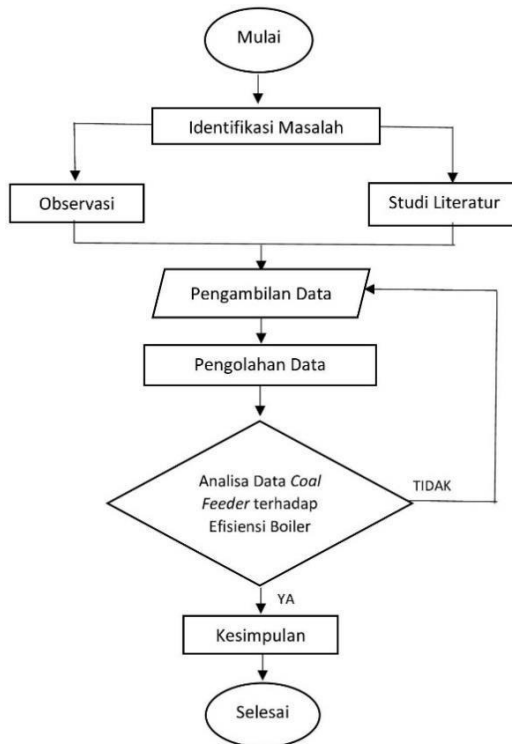
Pada penelitian ini, SPSS digunakan untuk menganalisis data menggunakan Regresi linear sederhana yang digunakan untuk menguji suatu variabel bebas terhadap variabel terikat. Dari data Regresi Linear kita dapat mengetahui besar pengaruh batubara yang masuk terhadap Steam yang dihasilkan.

Bab 3. Metodologi Penelitian

Pada bab ini peneliti menjelaskan mengenai metode yang di gunakan sertaperancangan penelitian mengenai pengaruh Kinerja Coal Feeder terhadap Efisiensi Boiler.

3.1. Perancangan

Penelitian ini membahas tentang Pengaruh Kinerja Coal Feeder terhadap Efisiensi Boiler Unit 2 di PLTU PT. Bintang Alumina Indonesia (BAI) dengan flowchart yang ditunjukkan pada **Gambar 16** sebagai berikut.



Gambar 16 Diagram Alir Perancangan Penelitian

3.2. Pengumpulan Data

Data yang akan diperlukan pada penelitian ini yaitu:

1. Temperature uap keluaran Boiler ($^{\circ}\text{C}$)
2. Pressure uap keluaran Boiler (MPa)
3. Total Steam yang dihasilkan (t/h)
4. Temperature Air Umpan ($^{\circ}\text{C}$)
5. Pressure Air Umpan (MPa)
6. Total Batubara yang digunakan (t/h)
7. Nilai Kalor Batubara (kcal/kg)

3.2.1. Data Output Steam

Tabel 2 Data Output Steam

Tanggal	Waktu	Uap Keluaran Boiler			
		T ($^{\circ}\text{C}$)	P (MPa)	Enthalphi (KJ/Kg)	Total Steam (t/h)
22 Desember 2024	0:00	539,76	9,35	3483,07	141,32
	1:00	541,78	8,98	3491,89	150,15
	2:00	541,5	9,24	3488,53	140,34
	3:00	542,33	9,29	3490,07	142,24
	4:00	543,3	9,07	3494,72	128,43
	5:00	541,87	9,21	3489,75	140,02
	6:00	544,07	9,33	3493,98	130,37
	7:00	539,67	9,09	3485,54	144,72
	8:00	538,71	9,42	3579,73	133,25
	9:00	540,31	8,98	3488,26	156,79
	10:00	543,15	9,12	3493,84	159,5
	11:00	534,16	8,74	3497,74	152,4
	12:00	540,91	9,21	3487,37	159,42
	13:00	573,65	9,39	3477,41	153,55
	14:00	538,72	9,23	3481,74	142,1
	15:00	541,21	8,96	3490,69	132,74
16:00	539,28	9,28	3482,61	140,47	

	17:00	543,33	9,25	3492,96	132,41
	18:00	538,34	9,44	3478,6	130,86
	19:00	537,72	9,08	3480,82	143,61
	20:00	542,4	9,12	3491,99	138,6
	21:00	540,3	8,88	3489,27	151,63
	22:00	539,8	9,33	3483,38	139,96
	23:00	531	9,16	3463,29	140,93
10 Januari 2025	0:00	527,05	9,25	3452,47	153,49
	1:00	531,18	9,08	3464,6	153,56
	2:00	533,66	9,28	3468,63	159,09
	3:00	530,88	9,25	3462,03	151,7
	4:00	531,66	9,16	3464,93	145,92
	5:00	534,41	9,22	3471,13	147,25
	6:00	533,86	8,79	3474,32	155,07
	7:00	536,76	9,08	3478,44	156,1
	8:00	535,29	8,87	3477,01	145,43
	9:00	532,62	8,9	3477,51	130,25
	10:00	541,06	8,87	3491,24	145,07
	11:00	532,29	9,07	3467,46	148,79
	12:00	537,15	8,98	3480,45	152,16
	13:00	535,3	9,23	3473,24	148,9
	14:00	532,39	9,06	3467,81	145,49
	15:00	538,57	9,16	3482,09	150,74
	16:00	533,75	8,71	3474,89	140,85
	17:00	534,02	9,01	3472,39	143,99
	18:00	534,44	8,86	3475,01	144,72
	19:00	539,63	8,89	3487,51	148,56
	20:00	533,27	8,79	3472,86	140,51
	21:00	532,81	8,89	3470,66	144,02
	22:00	539,04	8,86	3486,37	146,19
23:00	529,84	9,03	3461,8	143,14	

3.2.2. Data Air Umpan (*Feed Water*)

Tabel 3 Data Feed Water

Tanggal	Waktu	Air Umpan		
		T (°C)	P (MPa)	Enthalphi (KJ/Kg)
22 Desember 2024	0:00	199,55	9,84	853,724
	1:00	199,25	9,51	852,247
	2:00	199,42	9,71	853,09
	3:00	203,63	9,79	871,891
	4:00	197,18	9,5	843,045
	5:00	198,53	9,68	849,12
	6:00	198,63	9,78	849,608
	7:00	198,95	9,6	850,952
	8:00	198,66	9,87	849,781
	9:00	203,55	9,57	871,443
	10:00	203,8	9,73	872,626
	11:00	203,59	9,3	872,852
	12:00	203,4	9,8	870,868
	13:00	203,69	9,92	872,212
	14:00	198,35	9,73	848,342
	15:00	198,74	9,42	849,94
	16:00	202,3	9,77	865,945
	17:00	200,27	9,71	856,872
	18:00	199,82	9,89	854,947
	19:00	203,99	9,59	873,418
	20:00	201,42	9,62	861,957
	21:00	201,92	9,43	864,107
	22:00	202,01	9,81	864,668
23:00	203,46	9,65	871,074	
	0:00	203,09	9,9	869,525

10 Januari 2025	1:00	210,4	9,65	902,203
	2:00	210,3	9,88	901,839
	3:00	211,47	9,87	907,106
	4:00	211,13	9,8	905,548
	5:00	210,57	9,88	903
	6:00	209,2	9,48	896,736
	7:00	211,43	9,71	906,867
	8:00	210,32	9,59	901,821
	9:00	207,97	9,43	891,19
	10:00	206,88	9,46	886,308
	11:00	208,6	9,7	894,124
	12:00	207,8	9,53	890,465
	13:00	209,17	9,82	896,732
	14:00	211,69	9,61	908,003
	15:00	210,19	9,71	901,28
	16:00	207,58	9,3	889,388
	17:00	206,87	9,57	886,307
	18:00	205,12	9,39	878,392
	19:00	206,48	9,47	884,518
	20:00	206,7	9,33	885,45
	21:00	206,69	9,42	885,44
	22:00	206,31	9,45	883,748
	23:00	207,8	9,56	890,476

3.2.3. Data Penggunaan Bahan Bakar

Tabel 4 Data Penggunaan Bahan bakar

Tanggal	Waktu	Konsumsi Bahan Bakar		
		Coal Feeder B (t/h)	Coal Feeder C (t/h)	Total Bahan bakar (t/h)
22 Desember 2024	0:00	10,77	11,02	21,79
	1:00	11,44	11,23	22,67
	2:00	11,15	10,92	22,07
	3:00	10,81	10,96	21,77
	4:00	10,74	9,97	20,71
	5:00	10,97	11,34	22,31
	6:00	10,84	10,17	21,01
	7:00	10,74	11,13	21,87
	8:00	10,89	11,01	21,9
	9:00	11,51	11,94	23,45
	10:00	11,96	11,85	23,81
	11:00	11,52	11,33	22,85
	12:00	11,97	11,79	23,76
	13:00	11,21	11,75	22,96
	14:00	10,62	10,77	21,39
	15:00	10,39	10,46	20,85
	16:00	10,41	11,29	21,7
	17:00	10,28	10,6	20,88
	18:00	9,43	10,72	20,15
	19:00	11,57	10,69	22,26
	20:00	10,79	11,43	22,22
	21:00	11,41	11,34	22,75
	22:00	10,79	10,35	21,14
	23:00	10,89	10,44	21,33
	0:00	12,53	10,48	23,01

10 Januari 2025	1:00	12,24	10,42	22,66
	2:00	11,86	11,41	23,27
	3:00	11,74	10,38	22,12
	4:00	11,49	10,52	22,01
	5:00	11,26	10,8	22,06
	6:00	11,31	11,62	22,93
	7:00	11,3	11,67	22,97
	8:00	10,82	11,28	22,1
	9:00	10,66	9,68	20,34
	10:00	11,43	10,52	21,95
	11:00	12,62	9,32	21,94
	12:00	12,54	9,8	22,34
	13:00	11,89	10,16	22,05
	14:00	12,22	9,25	21,47
	15:00	12,29	9,88	22,17
	16:00	10,77	10,38	21,15
	17:00	10,6	10,72	21,32
	18:00	10,77	10,76	21,53
	19:00	11,1	11,01	22,11
	20:00	10,57	10,79	21,36
21:00	10,73	10,78	21,51	
22:00	10,89	10,89	21,78	
23:00	10,59	10,64	21,23	

3.3. Metode Penelitian

Setelah melakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk melakukan suatu penelitian maka metode yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan metode perhitungan secara kuantitatif dan melakukan analisis dari data kuantitatif dengan menggunakan metode deskriptif. Pada metode Kuantitatif menggunakan Metode perbandingan Persentase performa *coal feeder* terhadap efisiensi boiler yaitu dengan cara membandingkan *output steam* dan penggunaan bahan bakar sehingga performa coal feeder dapat dilihat dari nilai efisiensi boiler. Untuk menghitung besarnya pengaruh batubara yang digunakan terhadap *steam* yang dihasilkan maka dilakukan uji regresi linear sederhana menggunakan software *SPSS Statistic*.

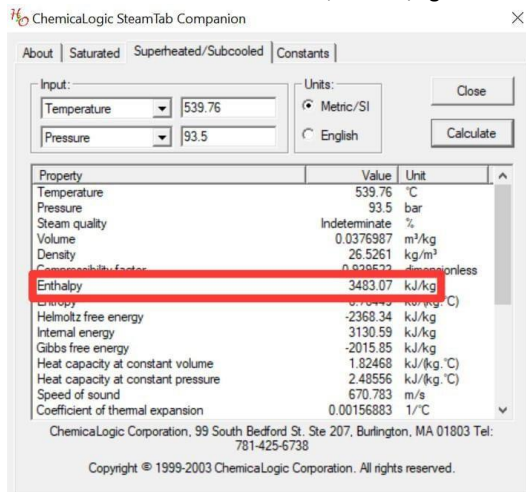
Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perhitungan Efisiensi Boiler

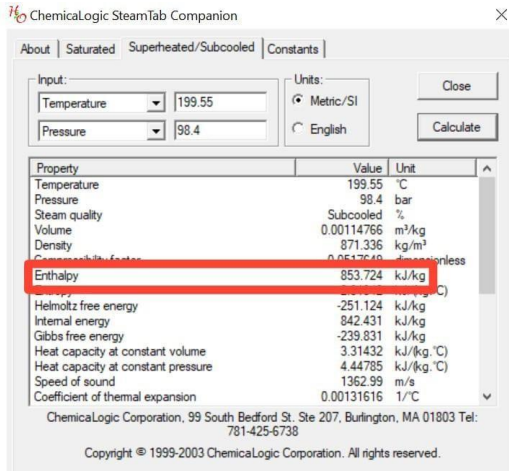
1. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 00:00

Diketahui :

Q	:	141,32	t/h
q	:	21,79	t/h
T _{steam}	:	539,76	°C
P _{steam}	:	9,35	MPa
h _g	:	3483,07	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	199,55	°C
P _{feedwater}	:	9,84	MPa
h _f	:	853,724	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg



Gambar 17 Mencari nilai enthalphi Steam menggunakan Steam tab



Gambar 18 Mencari nilai enthalphi Air Umpan menggunakan Steam tab



Gambar 19 Konversi nilai GCV

Penyelesaian :

$$\eta = \frac{Q (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{141,32 \frac{t}{h} (3483,07 \frac{kJ}{Kg} - 853,724 \frac{kJ}{Kg})}{21,79 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{Kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{371579,177}{396852,118} \times 100\%$$

$$\eta = 93,63 \%$$

2. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 01:00

Diketahui :

Q	:	150,15	t/h
q	:	22,67	t/h
T _{steam}	:	541,78	°C
P _{steam}	:	8,98	MPa
hg	:	3491,89	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	199,25	°C
P _{feedwater}	:	9,51	Mpa
hf	:	852,247	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q(hg-hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{150,15 \frac{t}{h} (3491,89 \frac{kJ}{kg} - 852,247 \frac{kJ}{kg})}{22,67 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{396342,396}{412879,189} \times 100\%$$

$$\eta = 95,99 \%$$

3. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 02:00

Diketahui :

Q	:	140,34	t/h
q	:	22,07	t/h
T _{steam}	:	541,5	°C
P _{steam}	:	9,24	MPa
hg	:	3488,53	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	199,42	°C
P _{feedwater}	:	9,71	Mpa
hf	:	853,09	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q(hg-hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{140,34 \frac{t}{h} (3488,53 \frac{kJ}{kg} - 853,09 \frac{kJ}{kg})}{22,07 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{369857,65}{401951,641} \times 100\%$$

$$\eta = 92,02 \%$$

4. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 03:00

Diketahui :

Q	:	142,24	t/h
q	:	21,77	t/h
T _{steam}	:	542,33	°C
P _{steam}	:	9,29	MPa
hg	:	3490,07	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	203,63	°C
P _{feedwater}	:	9,79	Mpa
hf	:	871,891	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{142,24 \frac{t}{h} (3490,07 \frac{kJ}{kg} - 871,891 \frac{kJ}{kg})}{21,77 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{372409,781}{396487,867} \times 100\%$$

$$\eta = 93,93 \%$$

5. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 04:00

Diketahui :

Q	:	128,43	t/h
q	:	20,71	t/h
T _{steam}	:	543,3	°C
P _{steam}	:	9,07	MPa
hg	:	3494,72	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	197,18	°C
P _{feedwater}	:	9,5	Mpa
hf	:	843,045	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{128,43 \frac{t}{h} (3494,72 \frac{kJ}{kg} - 843,045 \frac{kJ}{kg})}{20,71 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{340554,62}{377182,532} \times 100\%$$

$$\eta = 90,29 \%$$

6. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 05:00

Diketahui :

Q	:	140,02	t/h
q	:	22,31	t/h
T _{steam}	:	541,87	°C
P _{steam}	:	9,21	MPa
hg	:	3489,75	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	198,53	°C
P _{feedwater}	:	9,68	Mpa
hf	:	849,12	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q(hg-hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{140,02 \frac{t}{h} (3489,75 \frac{kJ}{kg} - 849,12 \frac{kJ}{kg})}{22,31 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{369741,013}{406322,66} \times 100\%$$

$$\eta = 91,00 \%$$

7. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 06:00

Diketahui :

Q	:	130,37	t/h
q	:	21,01	t/h
T _{steam}	:	544,07	°C
P _{steam}	:	9,33	MPa
hg	:	3493,98	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	198,63	°C
P _{feedwater}	:	9,78	Mpa
hf	:	849,608	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q(hg-hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{130,37 \frac{t}{h} (3493,98 \frac{kJ}{kg} - 849,608 \frac{kJ}{kg})}{21,01 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{344746,778}{382646,306} \times 100\%$$

$$\eta = 90,10 \%$$

8. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 07:00

Diketahui :

Q	:	144,72	t/h
q	:	21,87	t/h
T _{steam}	:	539,67	°C
P _{steam}	:	9,09	MPa
hg	:	3485,54	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	198,95	°C
P _{feedwater}	:	9,6	Mpa
hf	:	850,952	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q(h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{144,72 \frac{t}{h} (3485,54 \frac{kJ}{kg} - 850,952 \frac{kJ}{kg})}{21,87 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{381277,575}{398309,125} \times 100\%$$

$$\eta = 95,72 \%$$

9. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 08:00

Diketahui :

Q	:	133,25	t/h
q	:	21,9	t/h
T _{steam}	:	538,71	°C
P _{steam}	:	9,42	MPa
hg	:	3579,73	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	198,66	°C
P _{feedwater}	:	9,87	Mpa
hf	:	849,781	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q(h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{133,25 \frac{t}{h} (3579,73 \frac{kJ}{kg} - 849,781 \frac{kJ}{kg})}{21,9 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{363765,704}{398855,502} \times 100\%$$

$$\eta = 91,20 \%$$

10. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 09:00

Diketahui :

Q	:	156,79	t/h
q	:	23,45	t/h
T _{steam}	:	540,31	°C
P _{steam}	:	8,98	MPa
hg	:	3488,26	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	203,55	°C
P _{feedwater}	:	9,57	Mpa
hf	:	871,443	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{156,79 \frac{t}{h} (3488,26 \frac{kJ}{kg} - 871,443 \frac{kJ}{kg})}{23,45 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{410290,737}{427085,001} \times 100\%$$

$$\eta = 96,07 \%$$

11. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 10:00

Diketahui :

Q	:	159,5	t/h
q	:	23,81	t/h
T _{steam}	:	543,15	°C
P _{steam}	:	9,12	MPa
hg	:	3493,84	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	203,8	°C
P _{feedwater}	:	9,73	Mpa
hf	:	872,626	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{159,5 \frac{t}{h} (3493,84 \frac{kJ}{kg} - 872,626 \frac{kJ}{kg})}{23,81 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{418083,633}{433641,53} \times 100\%$$

$$\eta = 96,41 \%$$

12. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 11:00

Diketahui :

Q	:	152,4	t/h
q	:	22,85	t/h
T _{steam}	:	534,16	°C
P _{steam}	:	8,74	MPa
hg	:	3497,74	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	203,59	°C
P _{feedwater}	:	9,3	Mpa
hf	:	872,852	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{152,4 \frac{t}{h} (3497,74 \frac{kJ}{kg} - 872,852 \frac{kJ}{kg})}{22,85 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{400032,931}{416157,453} \times 100\%$$

$$\eta = 96,13 \%$$

13. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 12:00

Diketahui :

Q	:	159,42	t/h
q	:	23,76	t/h
T _{steam}	:	540,91	°C
P _{steam}	:	9,21	MPa
hg	:	3487,37	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	203,4	°C
P _{feedwater}	:	9,8	Mpa
hf	:	870,868	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{159,42 \frac{t}{h} (3487,37 \frac{kJ}{kg} - 870,868 \frac{kJ}{kg})}{23,76 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{417122,749}{432730,901} \times 100\%$$

$$\eta = 96,39 \%$$

14. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 13:00

Diketahui :

Q	:	153,55	t/h
q	:	22,96	t/h
T _{steam}	:	573,65	°C
P _{steam}	:	9,39	MPa
hg	:	3477,41	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	203,69	°C
P _{feedwater}	:	9,92	Mpa
hf	:	872,212	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{153,55 \frac{t}{h} (3477,41 \frac{kJ}{kg} - 872,212 \frac{kJ}{kg})}{22,96 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{400028,153}{418160,837} \times 100\%$$

$$\eta = 95,66 \%$$

15. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 14:00

Diketahui :

Q	:	142,1	t/h
q	:	21,39	t/h
T _{steam}	:	538,72	°C
P _{steam}	:	9,23	MPa
hg	:	3481,74	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	198,35	°C
P _{feedwater}	:	9,73	Mpa
hf	:	848,342	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{142,1 \frac{t}{h} (3481,74 \frac{kJ}{kg} - 848,342 \frac{kJ}{kg})}{21,39 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{374205,856}{389567,086} \times 100\%$$

$$\eta = 96,06 \%$$

16. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 15:00

Diketahui :

Q	:	132,74	t/h
q	:	20,85	t/h
T _{steam}	:	541,21	°C
P _{steam}	:	8,96	MPa
hg	:	3490,69	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	198,74	°C
P _{feedwater}	:	9,42	Mpa
hf	:	849,94	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{132,74 \frac{t}{h} (3490,69 \frac{kJ}{kg} - 849,94 \frac{kJ}{kg})}{20,85 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{350533,155}{379732,293} \times 100\%$$

$$\eta = 92,31 \%$$

17. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 16:00

Diketahui :

Q	:	140,47	t/h
q	:	21,7	t/h
T _{steam}	:	539,28	°C
P _{steam}	:	9,28	MPa
hg	:	3482,61	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	202,3	°C
P _{feedwater}	:	9,77	Mpa
hf	:	865,945	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{140,47 \frac{t}{h} (3482,61 \frac{kJ}{kg} - 865,945 \frac{kJ}{kg})}{21,7 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{367562,933}{395212,986} \times 100\%$$

$$\eta = 93,00 \%$$

18. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 17:00

Diketahui :

Q	:	132,41	t/h
q	:	20,88	t/h
T _{steam}	:	543,33	°C
P _{steam}	:	9,25	MPa
hg	:	3492,96	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	200,27	°C
P _{feedwater}	:	9,71	Mpa
hf	:	856,872	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q(h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{132,41 \frac{t}{h} (3492,96 \frac{kJ}{kg} - 856,872 \frac{kJ}{kg})}{20,88 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{349044,412}{380278,67} \times 100\%$$

$$\eta = 91,79 \%$$

19. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 18:00

Diketahui :

Q	:	130,86	t/h
q	:	20,15	t/h
T _{steam}	:	538,34	°C
P _{steam}	:	9,44	MPa
hg	:	3478,6	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	199,82	°C
P _{feedwater}	:	9,89	Mpa
hf	:	854,947	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q(h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{130,86 \frac{t}{h} (3478,6 \frac{kJ}{kg} - 854,947 \frac{kJ}{kg})}{20,15 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{343331,232}{366983,487} \times 100\%$$

$$\eta = 93,55 \%$$

20. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 19:00

Diketahui :

Q	:	143,61	t/h
q	:	22,26	t/h
T _{steam}	:	537,72	°C
P _{steam}	:	9,08	MPa
hg	:	3480,82	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	203,99	°C
P _{feedwater}	:	9,59	Mpa
hf	:	873,418	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian :

$$\eta = \frac{Q(hg-hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{143,61 \frac{t}{h} (3480,82 \frac{kJ}{kg} - 873,418 \frac{kJ}{kg})}{22,26 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{374449,001}{405412,031} \times 100\%$$

$$\eta = 92,36 \%$$

21. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 20:00

Diketahui :

Q	:	138,6	t/h
q	:	22,22	t/h
T _{steam}	:	542,4	°C
P _{steam}	:	9,12	MPa
hg	:	3491,99	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	201,42	°C
P _{feedwater}	:	9,62	Mpa
hf	:	861,957	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q(hg-hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{138,6 \frac{t}{h} (3491,99 \frac{kJ}{kg} - 861,957 \frac{kJ}{kg})}{22,22 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{364522,579}{404683,528} \times 100\%$$

$$\eta = 90,08 \%$$

22. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 21:00

Diketahui :

Q	:	151,63	t/h
q	:	22,75	t/h
T _{steam}	:	540,3	°C
P _{steam}	:	8,88	MPa
hg	:	3489,27	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	201,92	°C
P _{feedwater}	:	9,43	Mpa
hf	:	864,107	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{151,63 \frac{t}{h} (3489,27 \frac{kJ}{kg} - 864,107 \frac{kJ}{kg})}{22,75 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{398053,466}{414336,195} \times 100\%$$

$$\eta = 96,07 \%$$

23. Perhitungan Efisiensi Boiler pada pukul 22:00

Diketahui :

Q	:	139,96	t/h
q	:	21,14	t/h
T _{steam}	:	539,8	°C
P _{steam}	:	9,33	MPa
hg	:	3483,38	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	202,01	°C
P _{feedwater}	:	9,81	Mpa
hf	:	864,668	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{139,96 \frac{t}{h} (3483,38 \frac{kJ}{kg} - 864,668 \frac{kJ}{kg})}{21,14 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{366514,932}{385013,941} \times 100\%$$

$$\eta = 95,20 \%$$

24. Penyelesaian Efisiensi Boiler pada pukul 23:00

Diketahui :

Q	:	140,93	t/h
q	:	21,33	t/h
T _{steam}	:	531	°C
P _{steam}	:	9,16	MPa
hg	:	3463,29	KJ/Kg
T _{feedwater}	:	203,46	°C
P _{feedwater}	:	9,65	Mpa
hf	:	871,074	KJ/Kg
GCV	:	4350	Kcal/Kg
		18212,58	KJ/Kg

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{Q (hg - hf)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{140,93 \frac{t}{h} (3463,29 \frac{kJ}{kg} - 871,074 \frac{kJ}{kg})}{21,33 \frac{t}{h} \times 18212,58 \frac{kJ}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{365321,001}{388474,331} \times 100\%$$

$$\eta = 94,04 \%$$

4.2. Data Hasil Penelitian

Tabel 5 Data Hasil Penelitian

Tanggal	Waktu	Q (t/h)	hg (KJ/Kg)	hf (KJ/Kg)	q (t/h)	Efisiensi Boiler (%)
22 Desember 2024	0:00	141,32	3483,07	853,724	21,79	93,63
	1:00	150,15	3491,89	852,247	22,67	95,99
	2:00	140,34	3488,53	853,09	22,07	92,02
	3:00	142,24	3490,07	871,891	21,77	93,93
	4:00	128,43	3494,72	843,045	20,71	90,29
	5:00	140,02	3489,75	849,12	22,31	91,00
	6:00	130,37	3493,98	849,608	21,01	90,10
	7:00	144,72	3485,54	850,952	21,87	95,72
	8:00	133,25	3579,73	849,781	21,9	91,20

	9:00	156,79	3488,26	871,443	23,45	96,07
	10:00	159,5	3493,84	872,626	23,81	96,41
	11:00	152,4	3497,74	872,852	22,85	96,13
	12:00	159,42	3487,37	870,868	23,76	96,39
	13:00	153,55	3477,41	872,212	22,96	95,66
	14:00	142,1	3481,74	848,342	21,39	96,06
	15:00	132,74	3490,69	849,94	20,85	92,31
	16:00	140,47	3482,61	865,945	21,7	93,00
	17:00	132,41	3492,96	856,872	20,88	91,79
	18:00	130,86	3478,6	854,947	20,15	93,55
	19:00	143,61	3480,82	873,418	22,26	92,36
	20:00	138,6	3491,99	861,957	22,22	90,08
	21:00	151,63	3489,27	864,107	22,75	96,07
	22:00	139,96	3483,38	864,668	21,14	95,20
	23:00	140,93	3463,29	871,074	21,33	94,04
10 Januari 2025	0:00	153,49	3452,47	869,525	23,01	94,60
	1:00	153,56	3464,6	902,203	22,66	95,34
	2:00	159,09	3468,63	901,839	23,27	96,35
	3:00	151,7	3462,03	907,106	22,12	96,21
	4:00	145,92	3464,93	905,548	22,01	93,17
	5:00	147,25	3471,13	903	22,06	94,12
	6:00	155,07	3474,32	896,736	22,93	95,71
	7:00	156,1	3478,44	906,867	22,97	95,96
	8:00	145,43	3477,01	901,821	22,1	93,05
	9:00	130,25	3477,51	891,19	20,34	90,94
	10:00	145,07	3491,24	886,308	21,95	94,53
	11:00	148,79	3467,46	894,124	21,94	95,82
	12:00	152,16	3480,45	890,465	22,34	96,86
	13:00	148,9	3473,24	896,732	22,05	95,53
	14:00	145,49	3467,81	908,003	21,47	95,24
15:00	150,74	3482,09	901,28	22,17	96,35	

	16:00	140,85	3474,89	889,388	21,15	94,54
	17:00	143,99	3472,39	886,307	21,32	95,90
	18:00	144,72	3475,01	878,392	21,53	95,83
	19:00	148,56	3487,51	884,518	22,11	96,03
	20:00	140,51	3472,86	885,45	21,36	93,45
	21:00	144,02	3470,66	885,44	21,51	95,04
	22:00	146,19	3486,37	883,748	21,78	95,92
	23:00	143,14	3461,8	890,476	21,23	95,19

Dapat dilihat dari **Tabel 5**, menunjukkan bahwa peningkatan laju aliran bahan bakar secara umum meningkatkan efisiensi boiler. Penggunaan bahan bakar terhadap efisiensi menunjukkan bahwa laju pelepasan uap memengaruhi efisiensi boiler.

4.3. Uji Regresi Linear

Pada penelitian ini digunakan uji regresi linear yang digunakan untuk menghitung besar pengaruh batubara yang digunakan terhadap steam yang dihasilkan.

Dasar Pengambilan Keputusan pengambilan keputusan dalam uji regresi linear sederhana dapat mengacu pada dua hal, yakni :

Membandingkan nilai signifikansi dengan nilai probabilitas 0,05

- jika nilai signifikansi $<0,05$, artinya Variabel x berpengaruh terhadap Variabel y
- jika nilai signifikansi $>0,05$, artinya variabel x tidak berpengaruh terhadap variabel y

Tabel 6 Nilai Signifikansi

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2430.882	1	2430.882	172.372	<,001 ^b
	Residual	648.717	46	14.103		
	Total	3079.599	47			

a. Dependent Variable: Steam

b. Predictors: (Constant), Batubara

Dari output tersebut diketahui bahwa nilai F hitung = 172.372 dengan tingkat signifikansi sebesar $0,01 < 0,05$, maka model regresi dapat dipakai untuk memprediksi Variabel Partisipasi atau dengan kata lain ada pengaruh variabel x (batubara yang digunakan) terhadap variabel y (Steam yang dihasilkan).

untuk mengetahui besar persentase pengaruhnya maka dilihat pada tabel 7 dibawah ini:

Tabel 7 Besar Pengaruh Batubara yang digunakan terhadap Steam yang dihasilkan

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of Estimasi
1	.888 ^a	.789	.785	

a. Predictors: (Constant), Batubara

Besarnya nilai korelasi atau hubungan (R) yaitu sebesar 0,888. Dari output t diperoleh koefisien determinasi (R Square) sebesar 0,789, yang mengandung pe bahwa pengaruh batubara yang digunakan terhadap steam yang di adalah sebesar 78,9%.

4.4. Pembahasan

Berdasarkan grafik efisiensi boiler yang dihasilkan, nilai efisiensi tertinggi sebesar 96,41% terjadi pada jam 10:00 dikarenakan adanya penambahan bahan bakar batubara sehingga steam yang dihasilkan juga lebih besar. Dengan adanya penambahan batubara dapat meningkatkan output steam karena lebih banyak energy yang tersedia untuk pembakaran. Efisiensi boiler dapat tetap stabil atau meningkat jika pembakaran sempurna dan tidak ada kehilangan energy yang signifikan. Untuk menjaga hubungan yang efisien antara total batubara yang digunakan dan steam yang dihasilkan, maka perlu dilakukan mengoptimalkan pengaturan suplai batubara dan menjaga kondisi operasional boiler.

Kinerja coal feeder memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi batubara seperti penyediaan bahan bakar yang stabil. Coal feeder yang bekerja dengan baik memastikan aliran batubara ke boiler tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan pembakaran. Ketidakkonsistenan aliran dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, sehingga menurunkan efisiensi boiler. Jika aliran batubara terlalu sedikit, boiler tidak akan menghasilkan panas yang cukup. Jika

terlalu banyak, sebagian batubara mungkin tidak terbakar sempurna menghasilkan kehilangan batubara.

4.4.1. Faktor-faktor yang menyebabkan Penurunan Kinerja *coal feeder*

1. Masalah pada Batubara yang Digunakan
 - a. Kualitas batubara rendah
Batubara dengan nilai kalor rendah atau kadar abu tinggi dapat menyebabkan penggumpalan dan menurunkan efisiensi pengumpanan.
 - b. Ukuran Partikel Tidak Seragam
Ukuran batubara yang terlalu besar atau tidak seragam dapat menyumbat *coal feeder*.
 - c. Kelembaban Tinggi
Batubara yang terlalu basah cenderung menggumpal dan menyebabkan aliran material menjadi tidak lancar.

Untuk mengatasi penurunan kinerja *Coal Feeder* akibat masalah pada batubara yang digunakan yaitu dengan cara menggunakan batubara dengan ukuran partikel yang sesuai dan kadar kelembaban rendah.
2. Kerusakan Mekanis
 - a. Aus pada Komponen
Komponen seperti *conveyor belt*, *roller*, atau rantai penggerak yang aus dapat mengurangi performa. Kerusakan pada komponen seperti motor, *belt*, atau *chain feeder* dapat menghambat aliran batubara. Keausan komponen seperti *belt conveyor*, *roll crusher*, dan *bearing* yang menyebabkan sistem tidak bekerja optimal.
 - b. Sumbatan atau *Blokade*
Material asing atau batuan yang masuk ke *coal feeder* dapat menyebabkan kerusakan mekanis atau menyumbat sistem.

Untuk mengatasi penurunan kinerja *Coal Feeder* akibat Kerusakan Mekanis yaitu dengan cara melakukan inspeksi dan pelumasan rutin untuk mencegah kerusakan mekanis dan membersihkan debu dan material asing secara berkala.
3. Masalah Operasional
 - a. Pengaturan yang Tidak Tepat
Pengaturan kecepatan atau kapasitas *coal feeder* yang tidak sesuai kebutuhan dapat menyebabkan aliran batubara tidak optimal.

b. *Overloading*

Pemuatan batubara melebihi kapasitas *coal feeder* dapat menyebabkan sistem gagal bekerja atau memicu kerusakan.

c. Kurangnya Pemeliharaan Rutin

Kegagalan untuk melakukan inspeksi dan pemeliharaan berkala dapat menyebabkan masalah seperti aus, pelumasan yang kurang, atau akumulasi debu. Pemeliharaan yang tidak teratur atau tidak tepat dapat menyebabkan penurunan efisiensi.

Untuk mengatasi penurunan kinerja *Coal Feeder* akibat masalah pada operasional yaitu dengan cara memastikan kapasitas pengumpanan sesuai dengan kebutuhan boiler dan hindari *overloading* yang dapat membebani sistem.

4. Kondisi Lingkungan

a. Debu yang Berlebihan

Debu batubara dapat menumpuk di bagian mekanis *coal feeder*, menyebabkan gesekan tambahan atau penyumbatan.

b. Korosi Akibat Kelembaban

Lingkungan dengan kelembaban tinggi atau paparan air dapat menyebabkan korosi pada komponen logam, yang mengurangi keandalan sistem.

Untuk mengatasi penurunan kinerja *Coal Feeder* akibat kondisi lingkungan yaitu dengan cara menggunakan sistem pengendali debu di area *coal feeder* dan melindungi komponen dari kelembaban dan korosi.

5. Gangguan Sistem Kontrol

a. Sensor Tidak Berfungsi

Sensor berat atau aliran batubara yang tidak akurat dapat menyebabkan pengumpanan yang tidak sesuai.

b. Kerusakan pada Sistem Elektronik

Masalah pada sistem kontrol otomatis atau panel pengatur dapat mengganggu pengoperasian *coal feeder*.

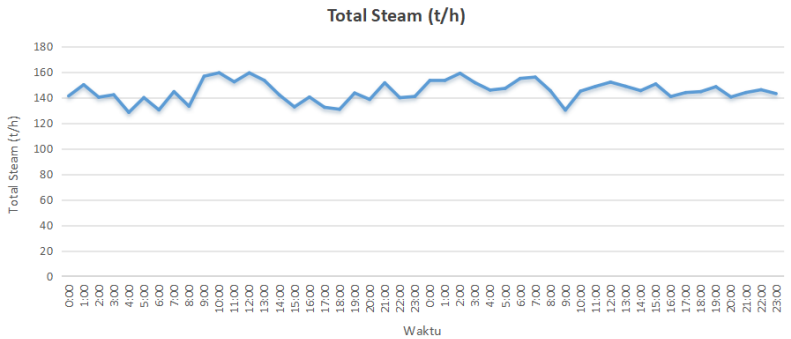
c. Gangguan Listrik

Tegangan listrik yang tidak stabil dapat memengaruhi motor penggerak *coal feeder*.

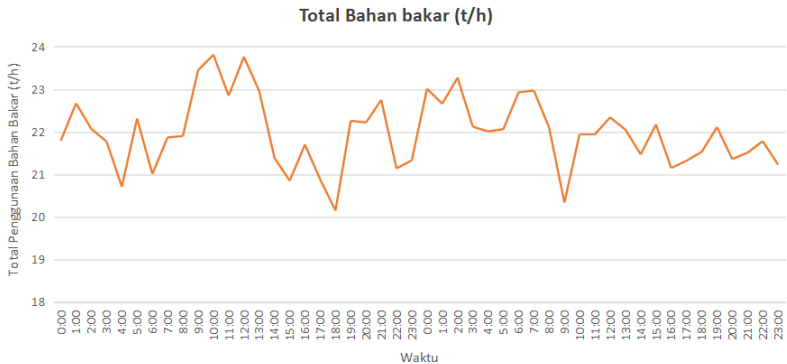
Untuk mengatasi penurunan kinerja *Coal Feeder* akibat gangguan *system control* yaitu dengan cara memeriksa dan kalibrasi sensor secara rutin dan pastikan sistem kontrol otomatis berfungsi dengan baik.

4.4.2. Pengaruh *Coal Feeder* terhadap Efisiensi Boiler

Coal feeder memiliki peran penting dalam menentukan efisiensi boiler, karena mengatur suplai batubara ke ruang bakar (*furnace*) boiler. Kinerja *coal feeder* yang optimal akan memastikan pembakaran yang efisien, sedangkan gangguan pada *coal feeder* dapat menurunkan efisiensi boiler.



Gambar 20 Grafik Total Steam yang dihasilkan



Gambar 21 Grafik Total Batubara yang digunakan

Dapat dilihat dari grafik yang dihasilkan pada **Gambar 19** dan **Gambar 20**, hubungan antara total batubara yang digunakan dan hasil steam yang dihasilkan bersifat langsung.

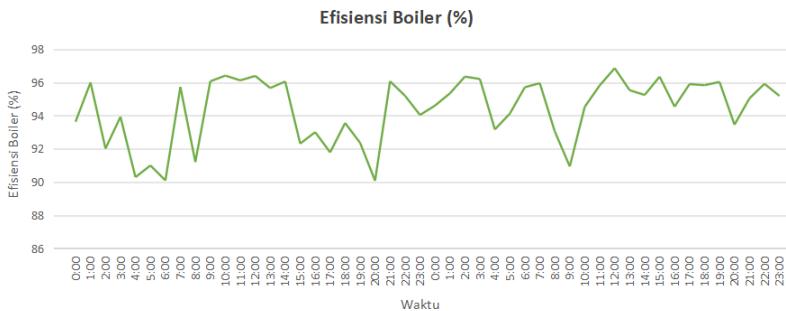
Adapun Pengaruh total batubara terhadap steam yang dihasilkan yaitu:

1. Jika batubara yang digunakan sesuai kebutuhan
Ketika jumlah batubara yang digunakan sesuai dengan kebutuhan boiler, Pembakaran optimal terjadi menghasilkan steam dalam jumlah

yang sebanding dengan energy yang dilepaskan dari batubara. Dalam kondisi ini, efisiensi boiler tetap tinggi

2. Jika batubara yang digunakan berlebihan
Jika jumlah batubara yang digunakan melebihi kebutuhan, sebagian batubara mungkin terbakar sempurna atau menghasilkan panas berlebih yang tidak dapat dimanfaatkan. Hal ini mengurangi efisiensi boiler karena energy batubara yang tidak digunakan secara efektif.

Idealnya, jumlah batubara yang digunakan harus sesuai dengan kapasitas dan kebutuhan boiler untuk menghasilkan steam dengan efisiensi maksimum. Jika batubara digunakan berlebihan atau pembakaran tidak sempurna, hasil steam yang dihasilkan per unit batubara akan berkurang. Sehingga efisiensi boiler menurun.



Gambar 22 Grafik Efisiensi Boiler

Pada Gambar 21 menunjukkan bahwa boiler PT Bintan Alumina Indonesia cukup efisien. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa pada range 70-90% kinerja boiler dapat dikatakan efisien.

Berdasarkan grafik efisiensi boiler yang dihasilkan, nilai efisiensi tertinggi sebesar 96,41% terjadi pada jam 10:00 dikarenakan adanya penambahan bahan bakar batubara sehingga *steam* yang dihasilkan juga lebih besar. Dengan adanya penambahan batubara dapat meningkatkan *output steam* karena lebih banyak *energy* yang tersedia untuk pembakaran. Efisiensi boiler dapat tetap stabil atau meningkat jika pembakaran sempurna dan tidak ada kehilangan *energy* yang signifikan. Untuk menjaga hubungan yang efisien antara total batubara yang digunakan dan *steam* yang dihasilkan, maka perlu dilakukan mengoptimalkan pengaturan suplai batubara dan menjaga kondisi operasional boiler.

Kinerja *coal feeder* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi batubara seperti penyediaan bahan bakar yang stabil. *Coal feeder* yang bekerja dengan baik memastikan aliran batubara ke boiler tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan pembakaran. Ketidakkonsistenan aliran dapat menyebabkan

pembakaran tidak sempurna, sehingga menurunkan efisiensi boiler. Jika aliran batubara terlalu sedikit, boiler tidak akan menghasilkan panas yang cukup. Jika terlalu banyak, sebagian batubara mungkin tidak terbakar sempurna menghasilkan kehilangan batubara.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. *Coal feeder* merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah batubara yang dibakar dalam suatu sistem pembakaran (boiler). *Coal feeder* bekerja dengan prinsip pemberian aliran batubara dalam jumlah yang terkendali dari bunker menuju pulverizer. *Coal feeder* mengukur berat batubara dengan menggunakan sensor berat (*load cell*) untuk mengukur berat batubara di atas conveyor secara real-time. Proses pengaturan atau jumlah batubara yang dibutuhkan untuk proses pembakaran sebagai penyesuaian daya yang ingin dibangkitkan diatur oleh DCS melalui *set point* (demand). Batubara yang diangkut oleh conveyor akan dialirkan langsung ke *pulverizer* untuk digiling menjadi serbuk halus sebelum masuk ke ruang bakar boiler.
2. Adapun Faktor-faktor yang menyebabkan penurunan kinerja *coal feeder* seperti Masalah pada batubara yang digunakan (Kualitas batubara rendah, Ukuran Partikel tidak Seragam, Kelembaban Tinggi), Kerusakan Mekanis (Aus pada Komponen dan Sumbatan atau *Blokade*), Masalah operasional (Pengaturan yang Tidak Tepat, *Overloading*, dan Kurangnya Pemeliharaan Rutin), Kondisi lingkungan (Debu yang Berlebihan dan Korosi Akibat Kelembaban), dan Gangguan Sistem Kontrol (Sensor tidak Berfungsi, Kerusakan pada Sistem Elektronik dan Gangguan Listrik).
3. Coal Feeder memiliki peran penting dalam memengaruhi efisiensi boiler, terutama dalam pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Coal feeder berperan sebagai jembatan antara pasokan bahan bakar (batubara) dan kebutuhan boiler. Aliran batubara yang stabil, konsisten, dan sesuai kebutuhan boiler membantu memastikan pembakaran yang efisien, mengurangi emisi, dan meningkatkan performa keseluruhan sistem pembangkit listrik. Perawatan dan pengelolaan coal feeder yang baik adalah kunci untuk menjaga efisiensi boiler.
4. Pengaturan coal feeder secara langsung memengaruhi efisiensi boiler, karena coal feeder berfungsi untuk mengatur jumlah batubara yang masuk ke sistem pembakaran. Pengaturan yang baik akan memastikan pembakaran berlangsung secara optimal, sedangkan pengaturan yang tidak tepat dapat menyebabkan berbagai masalah yang menurunkan efisiensi boiler. Ketika Efisiensi Boiler berkurang dan suhu steam kurang dari 500°C maka yang perlu dilakukan yaitu menambah bahan bakar batubara. Setelah melakukan pengujian nilai pengaruh batubara yang digunakan terhadap *steam* yang dihasilkan adalah sebesar 78,9%.

5.2. Saran

Berdasarkan Kesimpulan dari hasil penelitian, saran yang dapat diberikan dalam pembelajaran sesuai dengan analisis data, yaitu untuk melakukan preventif maintenance pada *Coal Feeder* serta mengembangkan penelitian disarankan untuk menghitung efisiensi boiler secara akurat memerlukan pendekatan yang sistematis dengan mempertimbangkan semua parameter yang relevan.

Daftar Pustaka

- [1] P. Basu, *Circulating Fluidized Bed Boilers: Design, Operation and Maintenance*. Cham: Springer International Publishing, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-06173-3.
- [2] A. P. Putra, A. Munawir, and F. Jayadi, "Pemeliharaan Coal Feeder Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya 2x110 MW," vol. 2, no. 1, 2023.
- [3] Y. J. Lewerissa, "ANALISIS ENERGI PADA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DENGAN CYCLE TEMPO," *J. Voering*, vol. 3, no. 1, p. 23, Jul. 2018, doi: 10.32531/jvoe.v3i1.85.
- [4] F. P. Winarta, "STUDI KASUS POTENSI GANGGUAN TERHADAP SISTEM OPERASI COAL MILL PADA PLTU KEBAN AGUNG 2 X 135 MW," vol. 3, no. 1, 2023.
- [5] A. Nugraha and N. G. Pahiyanti, "Sistem Kendali dan Proteksi Coal Feeder pada Unit 1-4 PLN Indonesia Power UBP Suralaya," vol. 15, no. 2, 2023.
- [6] T. W. Kuningsih, "JURNAL KAJIAN TEKNIK MESIN," no. 1, 2018.
- [7] P. Ladaia and M. Kamal, "STUDI PENGENDALIAN PADA DEAERTOR 101-U MENGGUNAKAN SOFTWARE DCS CENTUM CS3000 DI PT PUPUK ISKANDAR MUDA".
- [8] J. Krzywanski, "Heat Transfer Performance in a Superheater of an Industrial CFBC Using Fuzzy Logic-Based Methods," *Entropy*, vol. 21, no. 10, p. 919, Sep. 2019, doi: 10.3390/e21100919.
- [9] A. Sinaga, "PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA".
- [10] D. Oleh, "PENGARUH ECONOMIZER TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI BAHAN BAKAR BOILER PADA UNIT 3 PLTU PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN BELAWAN".
- [11] R. Aosoby, T. Rusianto, and J. Waluyo, "Perancangan Belt Conveyor sebagai Pengangkut Batubara dengan Kapasitas 2700 Ton/Jam".

Biodata



Nama : Tania Tri Ananta
TTL : Batam, 09-06-2003
Agama : Islam
Alamat : Kavling Senjulung Punggur Blok B No
106 RT.02 RW.012
Email : taniatriananta07@gmail.com
Riwayat Pendidikan :
SMA/SMK : SMA N 15 BATAM
SMP : SMP N 17 BATAM

Lampiran



Gambar 23 Coal Feeder PT Bintang Alumina Indonesia



Gambar 24 Maintenance pada Coal Feeder