

## Pengaruh Penurunan Temperatur Air Umpan Terhadap Temperatur Gas Buang pada Boiler Unit 1 di PLTU

Tiara Mayangsari<sup>1</sup>, Jhon Hericson Purba<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Program Studi Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam, Indonesia  
tiaramayangs5@gmail.com

---

**Article Info****Article history:**

Received: 13 Juni 2023

Received in revised form : 06 Agustus 2024

Accepted: 30 November 2024

Available online: 30 November 2024

---

**Keywords:**

PLTU

Feed Water

Exhaust gas

DCS

**Kata Kunci:**

PLTU

Feed Water

Gas Buang

DCS

---

**ABSTRACT**

**THE EFFECT OF DECREASING FEED WATER TEMPERATURE ON FLUE GAS TEMPERATURE IN BOILER UNIT 1 AT PLTU.** PT Bintang Alumina Indonesia (BAI) is a company engaged in many fields, one of which is the Steam Power Plant (PLTU). PLTU itself is a generator that utilizes the kinetic energy of steam to produce electrical energy. There are various fuels used in PLTU, such as gas, oil, coal, biomass, and others. One of the problems that has occurred at PLTU BAI is the temperature drop that occurs in the main boiler component, namely the feed water. Feed Water itself functions as a place for channeling the working fluid which will be converted into steam. This problem causes an increase in coal consumption as a furnace heating material. Monitoring of the decrease in feed water temperature is carried out using a Distributed Control System (DCS). This study explains the methods used and the research design concerning the effect of lowering the feed water temperature on the flue gas temperature. The results of this study are the temperature difference of 20°C to 30°C, the feed water temperature is lower when compared to the normal temperature. The drop in exhaust gas temperature caused by a decrease in the temperature of the feed water so that the exhaust gas temperature also drops. The impact of fluctuations in the feed water temperature on the parameters is that the flue gas temperature drops, the economizer temperature drops, the steam flowrate decreases, and uses a large amount of coal resulting in a large amount of slag left over from combustion.

PT Bintang Alumina Indonesia (BAI) adalah perusahaan yang bergerak di 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 bermacam-macam, seperti gas, minyak, batu bara, biomasa, dan lainnya. Salah satu permasalahan yang pernah terjadi di PLTU BAI ialah penurunan suhu yang terjadi pada komponen utama boiler yaitu *feed water*. *Feed Water* sendiri berfungsi sebagai tempat penyaluran fluida kerja yang akan dikonversikan menjadi uap. Pemasalahan ini menimbulkan peningkatan konsumsi batubara sebagai bahan pemanasan *furnace*. Pemantauan terhadap penurunan suhu *feed water* ini dilakukan dengan menggunakan *Distributed Control System* (DCS). Penelitian ini menjelaskan mengenai metode yang digunakan serta perancangan penelitian mengenai pengaruh turunnya suhu *feed water* terhadap suhu gas buang. Hasil dari penelitian ini perbedaan suhunya 20°C sampai 30°C suhu *feed water* lebih rendah jika di bandingkan dengan suhu normal. Turunnya suhu gas buang disebabkan oleh turunnya suhu *feed water* sehingga suhu gas buang juga turun. Dampak dari suhu *feed water* fluktuasi terhadap parameter yaitu suhu gas buang turun, suhu *economizer* turun, *flowrate* uap turun, dan banyak menggunakan jumlah batubara sehingga menghasilkan banyaknya terak sisa pembakaran.

---

**Corresponding author:**

Jhon Hericson Purba

Program Studi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam

Jalan Ahmad Yani, Batam Kota/Teluk Kering, Batam, Kepulauan Riau, 29461, Indonesia.

jhonehericson@polibatam.ac.id

---

**1. Pendahuluan**

PT Bintang Alumina Indonesia(BAI) terletak di sebelah tenggara Pulau Bintan, Provinsi Kepulauan Riau, Indonesia, didirikan oleh perusahaan go public China Shan Dong Nan Shan Alumina melalui anak perusahaan luar negeri yang di Singapore. Sebuah perusahaan China yang bergerak di bidang perubahan bahan dasar bouxsit menjadi alumina. PT Bintang Alumina Indionesia(BAI) adalah perusahaan yang bergerak di sebuah bidang Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Alumina, Plan Gas, dan Pelabuhan. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik.[1][2] Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh energi kinetik dari uap panas/kering yang dihasilkan oleh *boiler*. [3][4]

Sehingga Generator dapat menghasilkan listrik.[5][6] Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan berbagai macam bahan bakar seperti gas, minyak, batu bara, biomassa, dan lainnya.[7] PT Bintang Alumina Indonesia(BAI) terutama di bidang Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memiliki beberapa divisi yang berfungsi sebagai menjaga kondisi dan merawat Pembangkit Listrik Tenaga Uap agar selalu dalam opitisi optimal. Salah satu divisi tersebut adalah divisi *boiler* PLTU. Divisi *boiler* PLTU merupakan satuan kerja untuk mendukung keandalan komponen sistem *boiler* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).[6] *Boiler* berperan sebagai tempat

pembakaran untuk mensuplai daya pada turbin dengan memproduksi beban yang tinggi.[8][9] Pada PLTU dapat terjadi berbagai macam permasalahan salah satunya turunnya tempratur suhu *feedwater* terhadap suhu gas buang.[10][11][12]

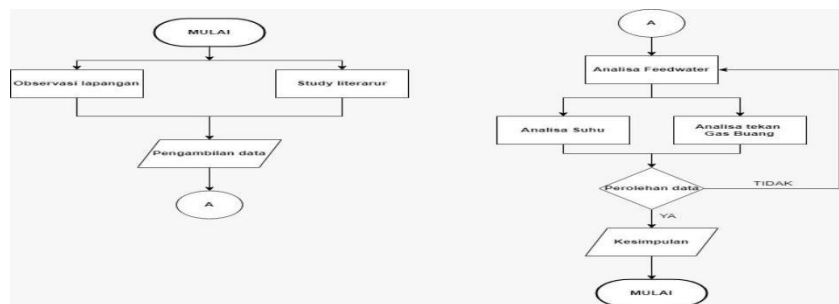
Komponen utama dari *boiler* adalah *furnace* dan *steam drum* salah satu komponen penting dalam perubahan energi uap ke listrik pada PLTU ialah *feedwater* yang memiliki fungsi sebagai tempat penyaluran fluida kerja yang akan di konversi menjadi uap untuk memutar turbin dan juga sebagai pendingin dinding *furnace*.[13][14]

Salah satu permasalahan yang pernah terjadi di PLTU PT Bintan Alumina Indonesia terutama di sistem *boiler*. Komponen utama dari *boiler* yaitu *feed water* sesekali mengalami terjadinya penurunan suhu.[15] Penurunan suhu yang di alami *feed water* itu sendiri menyebabkan meningkatnya konsumsi batubara guna sebagai bahan pemanasan *furnace*.[16][17] Meningkatnya konsumsi batubara tersebut berbanding lurus terhadap peningkatan munculnya terak-terak hasil pembakaran, terak-terak tersebut akan memberikan efek terhadap dinding *furnace* yaitu akan menghalangi lajur uap hasil pembakaran, sehingga suhu gas buang menurun.[18][19]

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui penyebab *fluktuasi* suhu gas buang, pengaruh *fluktuasi* suhu *feed water* terhadap suhu gas buang, dampak suhu *feed water fluktuasi* terhadap parameter penting pembakaran.[20][21][22]

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini membahas tentang Pengaruh turunnya Suhu *Feed Water* terhadap Suhu Gas Buang di *Boiler* Unit 1 PLTU PT Bintan Alumina Indonesia dengan *flowchart* alur kerja, ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. *Flowchart* metode penelitian

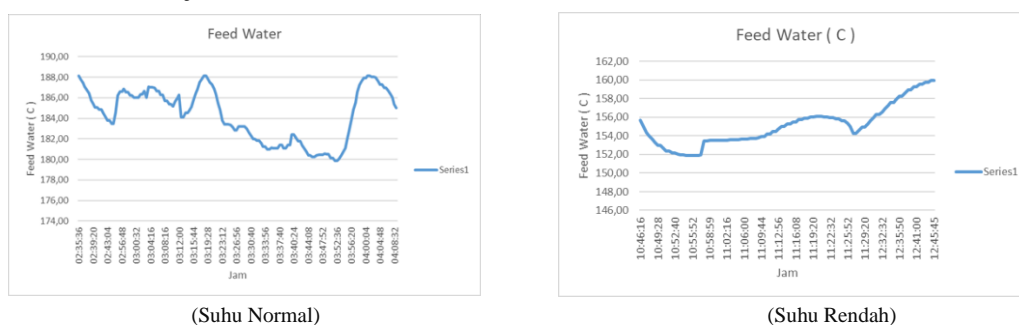
Pada metode penelitian menggunakan metode kualitatif dimana data yang di dapat berupa parameter pembakaran dari operator observasi lapangan (berstandarkan sop) standar operation kemudian di olah berdasarkan sebab akibat. Proses penelitian ini menggunakan jenis penelitian kualitatif bertujuan untuk memahami fenomena pada gambaran lengkap tentang fenomena yang ditinjau dari pada memerincinya menjadi variable-variabel yang saling terkait. Dan harapannya untuk diperoleh pemahaman yang mendalam tentang fenomena selanjutnya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Analisa *Feedwater*

Data awal dan pembahasan adalah data yang di peroleh setelah melakukan pengamatan dan penelitian pada *system Distributed Control System (DCS)* yang berada di ruangan *control room* PLTU didapatkan data hasil pengamatan dan penelitian. Data tersebut terbagi menjadi dua yaitu disaat tempratur normal dan data disaat tempratur turun.

Analisa bertujuan untuk mengetahui hubungan yang terjadi pada *feed water* disaat tempratur turun grafik ditinjau jumlah rentang waktu dari jam 10:46 ke jam 12:45 dan diperoleh data sebanyak 103 dalam waktu  $\pm 2$  jam, sedangkan tempratur normal grafik ditinjau jumlah rentang waktu dari jam 02:36 ke jam 04:08 di peroleh sebanyak 110 data dalam waktu  $\pm 2$  jam.

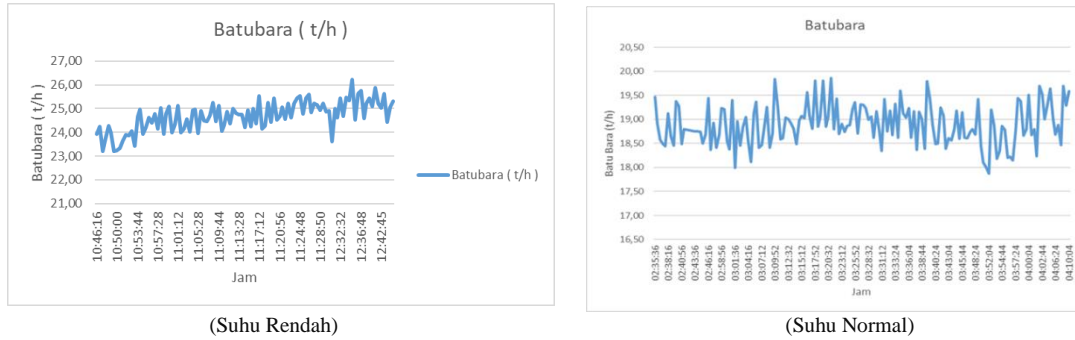


Gambar 2. Hasil pembacaan sistem DCS pada suhu *feed water* disaat suhu normal dan rendah

Pada gambar di atas dapat di lihat bahwa suhu *feedwater* dalam kondisi normal mengalami fluktuasi tetapi fluktuasi dapat di abaikan karena tidak begitu besar yaitu  $\pm 8^{\circ}\text{C}$  sehingga tidak mempengaruhi kondisi pembakaran. Saat suhu rendah itu suhu *feed water* berkisar antara  $152^{\circ}\text{C}$  sampai  $160^{\circ}\text{C}$ . suhu ini lebih rendah jika di bandingkan dengan suhu normal, dapat di lihat perbedaan suhunya  $20^{\circ}\text{C}$  smapai  $30^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2 Analisa Jumlah Batubara

Analisa bertujuan untuk mengetahui hubungan yang terjadi pada batubara disaat tempratur rendah grafik ditinjau dari jumlah rentang waktu dari jam 10:46 ke jam 12:45 dan diperoleh data sebanyak 103 dalam waktu  $\pm 2$  jam, sedangkan tempratur normal grafik ditinjau jumlah rentang waktu dari jam 02:36 ke jam 04:08 di peroleh sebanyak 110 data dalam waktu  $\pm 2$  jam.



Gambar 3. Hasil pembacaan sistem DCS pada jumlah batubara disaat suhu *feed water* rendah dan normal

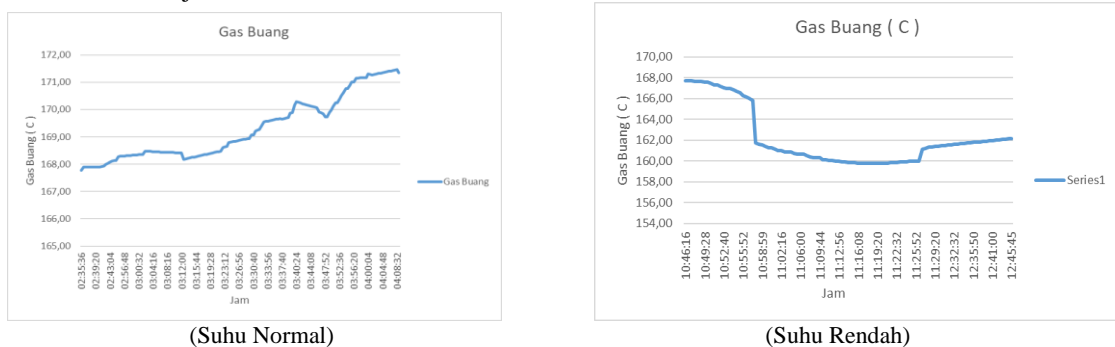
Dari hasil pembacaan disistem DCS jumlah batubara yang di konsumsi mengalami penambahan pada grafik Gambar 3 di atas bahwa pada jam 10:47 sampai jam 12:42 prose penambahan jumlah batubara semakin meningkat karena suhu *feed water* nya rendah sehingga proses pembakaran di *furnace* banyak menggunakan batubara untuk menghasilkan suhu gas buang dengan rentan suhu  $159^{\circ}\text{C}$  sampai  $167^{\circ}\text{C}$  yang berfungsi untuk memanaskan *economizer*, uap yang di hasilkan oleh *economizer* akan masuk ke *superheater* suhu rendah kemudian suhu sedang kemudian suhu tinggi. Sedangkan *superhater* tersebut di panaskan oleh pembakaran di *furnace* sehingga suhu uap yang akan masuk ke turbin dengan rentan suhu  $530^{\circ}\text{C}$  sampai suhu  $545^{\circ}\text{C}$ .

Pada hasil pembacaan disistem DCS jumlah batubara yang di konsumsi mengalami penurunan pada grafik Gambar 3 di atas bahwa pada jam 22:35 sampai jam 04:10 prose penuruna jumlah batubara karena suhu *feed water* nya normal sehingga proses pembakaran di *furnace* pada Grafik tidak banyak menggunakan batubara. Suhu gas buang yang di hasilkan dengan rentan suhu  $167^{\circ}\text{C}$  sampai  $171^{\circ}\text{C}$  yang berfungsi untuk memanaskan *economizer*, uap yang di hasilkan oleh *economizer* akan masuk ke *superheater* suhu rendah kemudian suhu sedang kemudian suhu tinggi sedangkan *superhater* tersebut di panaskan oleh pembakaran di *furnace* sehingga suhu uap yang akan masuk ke turbin dengan rentan suhu  $530^{\circ}\text{C}$  sampai suhu  $545^{\circ}\text{C}$ .

Dari perbandingan kedua garfik di atas dapat di analisa bahwa disaat suhu *feed water* turun maka mengalami penambahan jumlah batubara yang digunakan dari 24 t/h sampai 26t/h menambah batubara supaya pembakaran di *furnace* menghasilkan suhu gas buang yang stabil dan suhu uap yang masuk ke turbin mencapai rentan yang telah di inginkan. Sedangkan suhu *feed water* normal mengalami penurunan jumlah batubara yang digunakan 19t/h sampai 17,90 sehingga suhu gas buang nya tetap stabil.

### 3.3 Analisa Suhu Gas Buang

Analisa bertujuan untuk mengetahui hubungan yang terjadi pada gas buang disaat tempratur turun grafik ditinjau jumlah rentang waktu dari jam 10:46 ke jam 12:45 dan diperoleh data sebanyak 103 dalam waktu  $\pm 2$  jam, sedangkan tempratur normal grafik ditinjau jumlah rentang waktu dari jam 02:36 ke jam 04:08 di peroleh sebanyak 110 data dalam waktu  $\pm 2$  jam.



Gambar 4. Hasil pembacaan sistem DCS pada suhu gas buang disaat suhu normal dan rendah

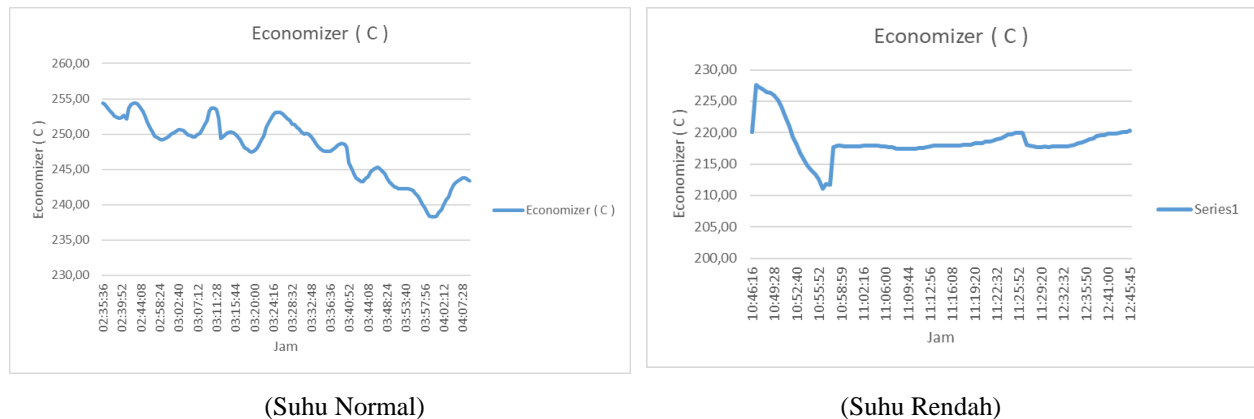
Dari hasil pembacaan disistem DCS suhu gas buang yang di hasilkan mengalami peningkatan pada grafik Gambar 4 di atas bahwa pada jam 02:35 sampai jam 04:08 mengalami peningkatan suhu gas buang dengan suhu 167°C sampai suhu 171°C, karena suhu *feed water* nya normal sehingga proses pembakaran di *furnace* tidak banyak menggunakan batubara biasa di lihat dari Gambar 8 semakin tinggi suhu gas buang maka semakin tinggi suhu *economizer* uap yang di hasilkan oleh *economizer* akan masuk ke *superheater* suhu rendah kemudian suhu sedang kemudian suhu tinggi sedangkan *superheater* tersebut di panaskan oleh pembakaran di *furnace* sehingga suhu uap yang akan masuk ke turbin dengan rentan suhu 530°C sampai suhu 545°C .

Dari hasil pembacaan disistem DCS suhu gas buang yang di konsumsi mengalami penurunan seperti pada grafik diatas bahwa pada jam 10:46 sampai jam 12:45 mengalami penurunan suhu gas buang semakin menurun suhu 167°C sampai suhu 162°C, karena suhu *feed water* nya turun sehingga proses pembakaran di *furnace* mengalami peningkatan penggunaan jumlah batubara biasa di lihat dari semakin turun suhu gas buang maka suhu *economizer* semakin rendah uap yang di hasilkan oleh *economizer* akan masuk ke *superheater* suhu rendah kemudian suhu sedang kemudian suhu tinggi sedangkan *superheater* tersebut di panaskan oleh pembakaran di *furnace* sehingga suhu uap yang akan masuk ke turbin dengan rentang suhu 530°C sampai suhu 545°C .

Dari perbandingan hasil kedua garfik di atas dapat di analisa bahwa disaat suhu gas buanhg turun maka mengalami penambahan jumlah batubara yang digunakan dari 24 t/h sampai 26t/h menambah batubara supaya pembakaran di *furnace* menghasilkan suhu gas buang yang stabil dan suhu uap yang masuk ke turbin mencapai rentang yang telah di inginkan. Sedangkan suhu *feed water* normal mengalami penurunan jumlah batubara yang digunakan 19 t/h sampai 17 t/h sehingga suhu gas buang nya tetap stabil serta suhu uap hasil pembakaran tetap stabil.

### 3.4 Analisa Suhu *Economizer*

Analisa bertujuan untuk mengetahui hubungan yang terjadi pada *economizer* disaat tempratur rendah grafik ditinjau jumlah rentan waktu dari jam 10:46 ke jam 12:45 dan diperoleh data sebanyak 103 dalam waktu  $\pm 2$  jam, sedangkan tempratur normal grafik ditinjau jumlah rentan waktu dari jam 02:36 ke jam 04:08 di peroleh sebanyak 110 data dalam waktu  $\pm 2$  jam.



Gambar 5. Hasil pembacaan sistem DCS pada suhu *economizer* disaat suhu normal dan rendah

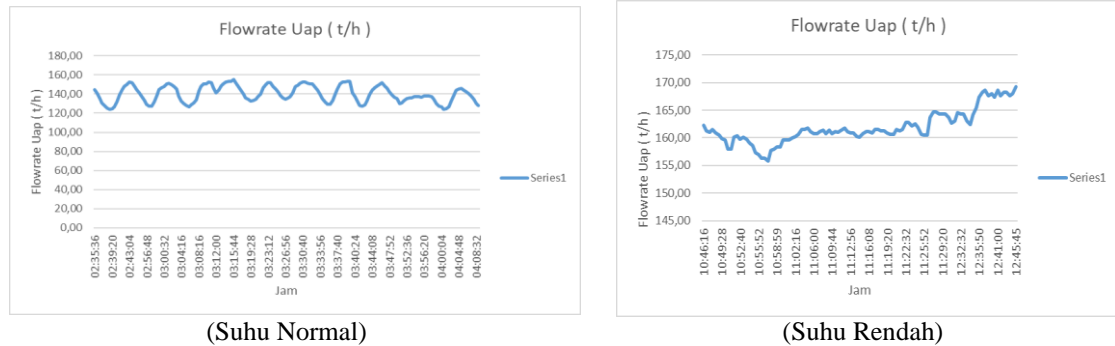
Dari hasil pembacaan disistem DCS suhu *economizer* disaat suhu normal mengalami penurunan suhu *economizer* bias di lihat pada grafik Gambar 5 diatas bahwa pada jam 02:35 sampai jam 04:08 mengalami penurunan suhu *economizer* karena banyaknya terak yang nempel di *water wall* sehingga penyerapan panas pada *economizer* rendah[23].

Pada hasil pembacaan disistem DCS pada suhu *economizer* disaat suhu rendah mengalami penurunan suhu *economizer* seperti pada Gambar 5 di atas bahwa pada jam 10:46 sampai jam 12:45 mengalami penurunan suhu gas buang semakin turun di suhu 227°C sampai suhu 220°C, karena suhu *feed water* nya turun sehingga proses pembakaran di *furnace* mengalami peningkatan penggunaan jumlah batubara biasa di lihat dari Gambar 5, semakin turun suhu *feed water* maka suhu *economizer* semakin turun,uap yang di hasilkan oleh *economizer* kemudian masuk ke *superheater* suhu rendah kemudian suhu sedang kemudian suhu tinggi sedangkan *superheater* tersebut di panaskan oleh pembakaran di *furnace* sehingga suhu uap yang akan masuk ke turbin dengan rentang suhu 530°C sampai suhu 545°C .

Dari perbandingan hasil kedua garfik di atas dapat di analisa bahwa disaat suhu *economizer* normal maka mengalami penurunan suhu *economizer* dari suhu 257°C sampai suhu 243°C karena banyaknya terak di dinding *furnace* mengakibatkan terhambatnya penyerapan panas dari suhu gas buang ke *economizer*. Sedangkan disaat suhu *economizer* turun maka mengalami penurunan suhu *economizer* semakin turun dari suhu 227°C sampai suhu 220°C akibat suhu *economizer* turun dikarenakan banyaknya terak-terak sisa pembakaran, dan suhu *feed water* nya rendah.[24]

### 3.5 Analisa *Flowrate Uap*

Analisa bertujuan untuk mengetahui hubungan yang terjadi pada *flowrate uap* disaat tempratur turun grafik ditinjau jumlah rentang waktu dari jam 10:46 ke jam 12:45 dan diperoleh data sebanyak 103 dalam waktu  $\pm 2$  jam, sedangkan tempratur normal grafik ditinjau jumlah rentang waktu dari jam 02:36 ke jam 04:08 di peroleh sebanyak 110 data dalam waktu  $\pm 2$  jam.



Gambar 6. Hasil pembacaan sistem DCS pada *flowrate uap* disaat suhu normal dan rendah

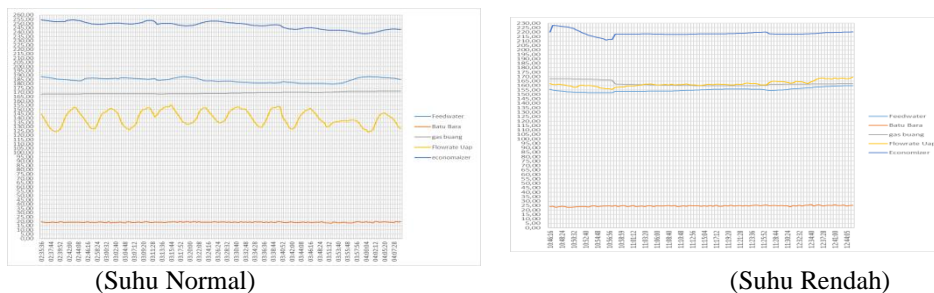
Dari hasil pembacaan disistem DCS *flowrate uap* yang dihasilkan disaat suhu normal dapat di lihat pada Gambar 6 diatas bahwa pada jam 02:35 sampai jam 04:08 mengalami penurunan *flowrate uap* dengan *flowrate uap* 124 t/h sampai *flowrate uap* 151 t/h karena suhu *feed water* nya normal sehingga proses pembakaran di *furnace* tidak banyak menggunakan batubara biasa di lihat dari Gambar dan *flowrate uap* yang naik turun itu tergantung permintaan departemen alumina .

Pada hasil pembacaan disistem DCS *flowrate uap* yang dihasilkan disaat suhu rendah dapat di lihat pada Gambar diatas bahwa pada jam 10.46 *flowrate uap* mengalami penurunan lalu *flowrate uap* nya mengalami peningkatan sampai jam 12.45 dengan *flowrate uap* 124 t/h sampai *flowrate uap* 151 t/h karena suhu *feed water* nya rendah sehingga proses pembakaran di *furnace* banyak menggunakan batubara, pada peningkatan penggunaan jumlah batubara sangat berpengaruh sama *flowrate uap*. [25]

Dari perbandingan hasil kedua garfik di atas dapat dianalisa bahwa disaat suhu *feed water* normal *flowrate uap* menjadi turun karena penggunaan jumlah batubara tidak banyak digunakan dari 19 t/h sampai 17 t/h. Sedangkan suhu *feed water* turun *flowrate uap* meningkat dikarenakan mengalami kenaikan penggunaan jumlah batubara dapat di lihat pada Gambar jumlah batubara yang digunakan 24 t/h sampai 26 t/h.

### 3.6 Analisa dan Pembahasan Hubungan Antara Waktu Terhadap Variabel

Pada pembahasan hubungan antar waktu terhdap variabel ini yang akan di bandingkan disaat suhu normal dan suhu rendah dari hasil pembacaan sistem DCS dapat di lihat dari Gambar 7 disaat suhu normal pada keseluruhan variabel dan Gambar disaat suhu rendah pada keseluruhan variabel.



Gambar 7. Hasil pembacaan sistem DCS pada keseluruhan variabel disaat suhu normal dan rendah

Dari hasil pembacaan Gambar 7 dengan menggunakan sistem DCS pada keseluruhan variabel disaat suhu normal dilihat ketika suhu *feed water* normal maka jumlah batubara yang digunakan tidak terlalu banyak maka suhu gas buang dan *flowrate uap* yang di hasilkan stabil namum suhu *economizer* menurun karena banyaknya terak yang nempel di water wall sehingga penyerapan panas pada *economizer* turun. Tetatpi suhu *economizer* turun ini masih memasuki rentang suhu normal.

Pada hasil pembacaan Gambar 7 dengan menggunakan sistem DCS pada keseluruhan variabel disaat suhu turun bisa dilihat ketika suhu *feed water* turun jumlah batubara yang digunakan banyak maka suhu gas buang dan *flowrate uap* yang di hasilkan turun sehingga suhu *economizer* turun.

Dari perbandingan hasil dari keseluruhan variabel disaat suhu rendah dan suhu normal bahwa suhu *feed water* turun dapat mempegaruhi suhu gas buang, suhu *economizer*, *flowrate uap* tetapi penggunaan batubara nya banyak. Sedangkan suhu *feed water* normal maka batubara yang digunakan tidak terlalu banyak, suhu *economizer* turun,

suhu gas buang turun, dapat disimpulkan bahwa semakin rendah suhu *feed water* maka semakin turun suhu gas buang semakin turun juga suhu *economizer* dan laju *flowrate* uap naik, begitupun suhu *feed water* normal maka suhu gas buang, suhu *economizer*, jumlah batubara nya stabil, dan *flowrate* uap rendah. Alasan mengapa di suhu normal tetapi suhu *economizer* nya turun (masih termasuk rentang suhu normal) karena sedang mengalami soot blower pendek dan soot blower panjang dan banyaknya terak-terak sisa pembakaran yang nempel di dinding *furnace* sehingga penyerapan suhu gas buang pada *economizer* terhalang sehingga membuat suhu *economizer* turun.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dapat diambil beberapa kesimpulan adalah pada penelitian yang telah di lakukan ini terjadi turunnya suhu gas buang disebabkan karena suhu *feed water* nya rendah sehingga proses pembakaran di *furnace* mengalami peningkatan penggunaan jumlah batubara mengakibatkan munculnya terak-terak sisa pembakaran didinding *furnace* dan proses pembakarannya tidak sempurna sehingga suhu gas buang rendah. Pada penelitian yang telah di lakukan pengaruh *fluktuasi* suhu *feed water* terhadap suhu gas buang, semakin rendah suhu gas buang maka suhu *economizer* semakin rendah uap yang di hasilkan oleh *economizer* akan masuk ke *superheater* suhu rendah kemudian suhu sedang kemudian suhu tinggi sedangkan *superheater* tersebut di panaskan oleh suhu gas buang hasil dari pembakaran di *furnace* sehingga mengakibatkan banyaknya terak-terak yang nempel di dinding *furnace*. Pada penelitian yang telah dilakukan ini dampak dari suhu *feed water* fluktuasi terhadap parameter penting yaitu banyaknya menggunakan batubara, suhu *economizer* turun, level air *steam drum* turun, suhu *superheater* dan *flowrate* uap turun, banyak nya terak-terak sisa pembakaran yang ada di dinding *furnace* sehingga penyerapan panas pada pipa-pipa dalam *furnace* terhalang.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Pimpinan dan staf pegawai dan teknisi di PT.BAI, serta seluruh pihak yang turun tangan membantu sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

#### Daftar Pustaka

- [1] Sahid and Prasetyo Budhi, "PLTU Paiton," *Heat Rate Pembangkit List. Tenaga Uap Pait. Baru (Unit 9) Berdasarkan Perform. Test Tiap Bulan Dengan Beban 100%*, vol. 12, no. 2, pp. 30–36, 2016.
- [2] W. Adi and W. Caesarendra, "Performance improvement of heat recovery steam generator (HRSG) in combined cycle power plant by replacing tube of HP economizer and HP evaporator," in *2021 11th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE)*, 2021, pp. 266–271, doi: 10.1109/CPEEE51686.2021.9383382.
- [3] J. H. Purba, I. Z. Putra, and L. Al Hakim, "Simulasi Sistem Backup Otomatis Kerja Emergency Diesel Generator ( EDG ) saat Kondisi Blackout pada PLTGU Tanjung Uncang 120 MW," *Electrician*, vol. 17, no. 2, pp. 210–218, 2023, [Online]. Available: <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/view/2453>.
- [4] J. H. Purba and F. B. Harlan, "ANALISA APLIKASI TURBIN KOBOLD BLADE KEMBAR SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT," in *Prosiding Seminar Nasional ABEC ke-7*, 2019, pp. 1–13, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Jhon-Purba-2/publication/343787177\\_ANALISA\\_APLIKASI\\_TURBIN\\_KOBOLD\\_BLADE\\_KEMBAR\\_SEBAGAI\\_PEMBANGKIT\\_LISTRIK\\_TENAGA\\_ARUS\\_LAUT/links/5f4f1228458515e96d22aa9f/ANALISA-APLIKASI-TURBIN-KOBOLD-BLADE-KEMBAR-SEBAGAI-PEMBANGKIT-LISTRIK-TENAGA-ARUS-LAUT.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jhon-Purba-2/publication/343787177_ANALISA_APLIKASI_TURBIN_KOBOLD_BLADE_KEMBAR_SEBAGAI_PEMBANGKIT_LISTRIK_TENAGA_ARUS_LAUT/links/5f4f1228458515e96d22aa9f/ANALISA-APLIKASI-TURBIN-KOBOLD-BLADE-KEMBAR-SEBAGAI-PEMBANGKIT-LISTRIK-TENAGA-ARUS-LAUT.pdf).
- [5] J. H. Purba, M. S. Gozali, F. F. Sitohang, F. Juwito, and A. Jefiza, "Analysis of Gas Turbine Performance Based on Variation of Operating Load at PLTGU Panaran 1 Unit 1 PT . Mitra Energi Batam," *Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 20, no. 2, pp. 965–974, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/sitekin/article/view/22786>.
- [6] Y. Cui, L. Xia, Y. Huang, and X. Ma, "Research on Fault Diagnosis and Early Warning of Power Plant Boiler Reheater Temperature Deviation Based on Machine Learning Algorithm," in *2020 IEEE 6th International Conference on Control Science and Systems Engineering (ICCSSE)*, 2020, pp. 212–216, doi: 10.1109/ICCSSE50399.2020.9171950.
- [7] P. Ran, S. Zhang, and S. Wang, "A method for analyzing the thermodynamic system of feedwater heating type combined cycle unit," in *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 2011, pp. 3490–3493, doi: 10.1109/ICECC.2011.6068066.
- [8] B. W. Hogg and N. M. El-Rabaie, "Generalized predictive control of steam pressure in a drum boiler," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 5, no. 3, pp. 485–492, 1990, doi: 10.1109/60.105272.
- [9] N. K. Verma, D. Kumar, I. Kumar, and A. Ashok, "Automation of boiler process at thermal power plant using sensors and IoT," *J. Stat. Manag. Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 675–683, Jul. 2018, doi: 10.1080/09720510.2018.1475078.
- [10] S. R. Bamrotwar and V. S. Deshpande, "Root Cause Analysis and Economic Implication of Boiler Tube Failures in 210 MW Thermal Power Plant," *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 2014, pp. 6–10, 2014, [Online]. Available: [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org).
- [11] Y. L. Dong, Y. J. Gu, and K. L. Chen, "Risk based maintenance decision on power station high press feed water system," in *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2008, pp. 2148–2152, doi: 10.1109/IEEM.2008.4738251.
- [12] Z. Hai, Z. Ying, and D. Enwu, "Research on method for modelling and control of feedwater piping system based on internal characteristics of the feedwater pump," in *2019 14th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)*, 2019, pp. 1221–1227, doi: 10.1109/ICEMI46757.2019.9101744.
- [13] Rizky Yusuf Fernando Simamora, "Analisis Termodinamika Pengaruh Aliran Massa Ekstraksi Turbin Uap Bagian High Pressure untuk Feedwater Heater terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 200 MW PT. PJB Gresik," 2015.

- [14] Y. Jianmeng and F. Xue, "Furnace thermal calculation of 300MW boiler by oxy-fuel combustion," in *2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*, 2011, pp. 4975–4979, doi: 10.1109/MACE.2011.5988132.
- [15] F. M. Alhuwaishel, A. K. Allehyani, S. A. S. Al-Obaidi, and P. N. Enjeti, "A Medium-Voltage DC-Collection Grid for Large-Scale PV Power Plants With Interleaved Modular Multilevel Converter," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 8, no. 4, pp. 3434–3443, 2020, doi: 10.1109/JESTPE.2019.2934736.
- [16] J. F. Venegas-Zarama, J. I. Muñoz-Hernandez, L. Baringo, P. Diaz-Cachinero, and I. De Domingo-Mondejar, "A Review of the Evolution and Main Roles of Virtual Power Plants as Key Stakeholders in Power Systems," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 47937–47964, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3171823.
- [17] A. A. Nikolaev, P. G. Tulupov, and A. V. Anufriev, "Assessing the feasibility of electrical mode control of ultra-high power arc steelmaking furnace based on data about harmonic composition of arc currents and voltages," in *2015 16th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*, 2015, pp. 301–308, doi: 10.1109/REM.2015.7380411.
- [18] Y. Wang, S. Lou, Y. Wu, and S. Wang, "Flexible Operation of Retrofitted Coal-Fired Power Plants to Reduce Wind Curtailment Considering Thermal Energy Storage," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 35, no. 2, pp. 1178–1187, 2020, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2940725.
- [19] C.-H. Lee, B.-K. Chen, N.-M. Chen, and C.-W. Liu, "Lessons Learned From the Blackout Accident at a Nuclear Power Plant in Taiwan," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 4, pp. 2726–2733, 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2010.2050340.
- [20] X. Feng, W. Hu, H. Zhou, S. Guan, and L. Xue, "Network-Design of Virtual Drum Boiler Feedwater Control System," in *2020 7th International Conference on Information, Cybernetics, and Computational Social Systems (ICCSS)*, 2020, pp. 25–30, doi: 10.1109/ICCSS52145.2020.9336826.
- [21] W. H. Wattenburg, "Utility Scale Compressed Air Energy Storage and Clean Power Using Waste Heat From Thermal Power Plants Plus Added Protection for Nuclear Power Plants," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 34422–34430, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2847351.
- [22] X. Zhang and J. Yuan, "Estimation of the terminal temperature difference target value of three-segment feed water heater under various working conditions," in *2016 35th Chinese Control Conference (CCC)*, 2016, pp. 9069–9074, doi: 10.1109/ChiCC.2016.7554802.
- [23] Y. Sun, L. Ma, and C. Fidge, "Optimization of economizer tubing system renewal decisions," in *2008 First International Conference on Infrastructure Systems and Services: Building Networks for a Brighter Future (INFRA)*, 2008, pp. 1–6, doi: 10.1109/INFRA.2008.5439663.
- [24] J. Guidong and W. Lijun, "Economic Analysis and Operation Simulation of Low Pressure Economizer System in 135 MW Thermal Power Plant," in *2013 Fourth International Conference on Digital Manufacturing & Automation*, 2013, pp. 522–525, doi: 10.1109/ICDMA.2013.123.
- [25] H. B. P. Parapa, "Dampak Perubahan Parameter Closed Feedwater Heater terhadap Heat Rate Losses pada PLTU Kapasitas 110 MW," vol. 4, no. 1, pp. 1–4, 2021.