

## Calculation of High Pressure Heater Efficiency in the Feedwater System of PT PLN IP Teluk Sirih Unit 2 Steam Power Plant

Zulvani Adha<sup>1\*</sup>, Andre Kurniawan<sup>1</sup>, Arwizet K<sup>1</sup>, and Yolli Fernanda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

Corresponding author: [zulvaniadha9346@gmail.com](mailto:zulvaniadha9346@gmail.com)

Received January 23<sup>th</sup> 2026; Revised February 3<sup>th</sup> 2026; Accepted February 4<sup>th</sup> 2026

### Abstract

*PT PLN IP Teluk Sirih is a coal-fired steam power plant that supplies electricity to the West Sumatra region. In steam power plants, the High Pressure Heater (HPH) functions as a heat exchanger that preheats feedwater before entering the boiler by utilizing extraction steam from the turbine. Damage or performance degradation of the HPH can reduce its effectiveness and lifespan, decrease feedwater temperature, increase the required heating in boiler, raise fuel consumption, and ultimately lower the overall efficiency of the power plant cycle. Therefore, this study aims to determine the efficiency of HPH at PT PLN IP Teluk Sirih Unit 2 in order to support proper maintenance planning and reduce operational costs. The research employs a quantitative method with a descriptive-analytical approach using actual operational data obtained from the Distributed Control System (DCS) of PLTU Teluk Sirih Unit 2. The efficiency of HPH is calculated by comparing the heat released by the steam  $Q_{\text{steam}}$  and the heat absorbed by the feedwater  $Q_{\text{water}}$  or HPH 1 and HPH 2. The variables used include the feedwater inlet temperatures of 192.9 °C for HPH 1 and 141.5 °C for HPH 2. The results show that the efficiency of HPH 1 is 91.26%, while the efficiency of HPH 2 is 88.11%. For HPH 1,  $Q_{\text{steam}}$  and  $Q_{\text{water}}$  are 49,552,500 kJ/h and 54,297,300 kJ/h, respectively, whereas for HPH 2,  $Q_{\text{steam}}$  and  $Q_{\text{water}}$  are 71,613,300 kJ/h and 81,288,480 kJ/h. These results indicate that a higher inlet temperature leads to a greater ratio between  $Q_{\text{steam}}$  and  $Q_{\text{water}}$ , and consequently to a higher HPH efficiency.*

**Keywords:** High Pressure Heater, Heat Exchanger, Thermal Efficiency, Feedwater, Steam Power Plant

## Perhitungan Efisiensi *High Pressure Heater* pada Sistem *Feedwater* Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT PLN IP Teluk Sirih Unit 2

### Abstrak

PT PLN IP Teluk Sirih Merupakan pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan bahan bakar batu bara. Perusahaan ini merupakan penyuplai Listrik untuk wilayah Sumatera Barat. Pada industri pembangkit Listrik, *High Pressure Heater* (HPH) sebagai *Heat Exchanger* yang berperan memanaskan air umpan (*Feedwater*) sebelum masuk ke *Boiler* dengan memanfaatkan uap ekstraksi dari turbin. Kerusakan pada HPH dapat mengurangi umur, efektivitas dan performa dari HPH serta suhu air pengisi *Boiler* turun, Sehingga butuh pemanasan yang lebih besar dan mengakibatkan konsumsi bahan bakar pada boiler akan naik dan menyebabkan penurunan pada efisiensi siklus Pembangkit Listrik Tenaga uap secara keseluruhan. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menghitung efisiensi HPH pada PT PLN IP Teluk Sirih unit 2 sehingga dapat dilakukan perawatan (*maintenance*) yang baik untuk menghemat biaya operasional pada alat tersebut. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan pendekatan deskriptif – analitis yang bersumber dari data operasi aktual DCS PLTU Teluk Sirih Unit 2. Perhitungan efisiensi HPH pada PT PLN IP Teluk Sirih unit 2 dilakukan dengan membandingkan antara suhu uap dan suhu air pada HPH 1 dan HPH 2. Variabel yang digunakan yaitu suhu masuk air pada HPH 1 sebesar 192,9 °C dan HPH 2 sebesar 141.5 °C. Dari hasil perhitungan didapatkan efisiensi pada HPH 1 yaitu 91,26 % dan HPH 2 yaitu 88,11%. Hasil efisiensi ini didapatkan melalui perbandingan antara  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  dimana pada unit HPH 1  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  adalah 49.552.500 kJ/jam dan 54.297.300 kJ/jam sedangkan HPH 2  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  adalah 71.613.300 kJ/jam dan 81.288.480 kJ/jam. Sehingga semakin besar suhu masuk maka semakin besar perbandingan antara  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  dan begitupun sebaliknya.

**Kata kunci:** *High Pressure Heater*, *Heat Exchanger*, Efisiensi Termal, *Feedwater*, PLTU

## I. PENDAHULUAN

PT. PLN IP Teluk Sirih merupakan perusahaan yang bergerak dibidang listrik tenaga uap (PLTU), unit ini merupakan bagian dari Indonesia Power, anak dari perusahaan PT. PLN yang menyuplai kebutuhan listrik untuk wilayah Sumatera Barat dan sekitarnya. PLTU Teluk Sirih memiliki 2 unit (unit 1 dan unit 2) dengan kapasitas yang sama yaitu 112 MW (Asraf & Rasyidah, 2023). Sistem kerja PLTU memanfaatkan Siklus Rankine, di mana energi panas dari pembakaran bahan bakar (batu bara) digunakan untuk mengoperasikan *heater* sehingga menghasilkan uap bertekanan tinggi yang kemudian menggerakkan turbin dan generator (Plant, 2014). Dalam proses tersebut, efisiensi *heater* menjadi faktor utama yang menentukan kinerja dan konsumsi bahan bakar pembangkit.

Salah satu cara meningkatkan efisiensi *heater* adalah dengan melakukan regenerasi energi panas melalui penggunaan alat penukar panas (*heat exchanger*) pada sistem *feedwater heater* (Gahana, 2018). Komponen ini berfungsi untuk memanaskan air pengisi (*feedwater*) sebelum masuk ke *boiler* menggunakan uap ekstraksi dari turbin. Dengan memanfaatkan kembali sebagian energi panas dari sistem, maka kebutuhan panas dari bahan bakar dapat berkurang, sehingga efisiensi keseluruhan pembangkit listrik meningkat (Li Yuan-Hu, n.d.).

Dalam sistem PLTU Teluk Sirih, *feedwater heater* memiliki beberapa komponen diantaranya, yaitu *condensate pump*, *low pressure heater*, *daerator*, *boiler feedwater pump*, dan *high pressure heater* (HPH) (Prasetyo & Murti, 2015). HPH merupakan salah satu jenis alat penukar kalor (*heat exchanger*)

yang mana memiliki peran memindahkan panas dari uap ekstrasi turbin sebelum masuk ke boiler. Kinerja HPH yang optimal dapat meningkatkan efisiensi siklus pembangkit hingga 2–4% tergantung pada kondisi operasional (Sidiq & Anwar, 2021). Dengan demikian, penggunaan HPH dapat meningkatkan efisiensi termal siklus *Rankine*, mengurangi konsumsi bahan bakar, serta meminimalkan perbedaan temperatur yang masuk ke boiler sehingga dapat mengurangi risiko thermal shock dan memperpanjang umur peralatan pembangkit listrik tenaga uap (Salim et al., 2025).

Namun, dalam pengoperasiannya, efisiensi HPH dapat mengalami penurunan kinerja seiring waktu. Penurunan kinerja tersebut menyebabkan *terminal temperature difference* (TTD) meningkat dan efisiensi perpindahan panas menurun, sehingga temperatur *feedwater* menjadi lebih rendah dari kondisi desain. Jika kondisi ini dibiarkan, maka akan berdampak langsung pada meningkatnya *heat rate* pembangkit dan konsumsi bahan bakar (Saputra, 2021). Beberapa faktor yang mempengaruhi penurunan efisiensi HPH seperti *Fouling*, *Tube Leak*, *Overheating*, *Steam Erosion*, dan *Thermal Stress* (Wulandari, 2022).

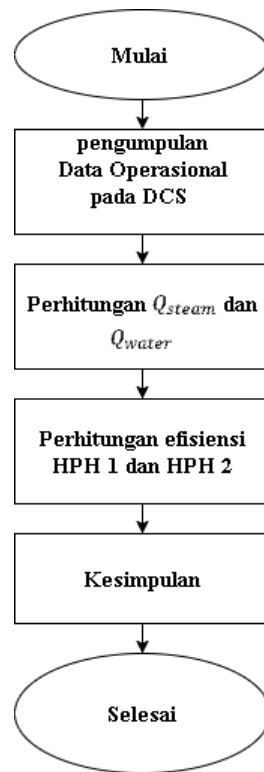
Penelitian yang dilakukan oleh (Lumbantobing & Sutrisno, 2021) di PLTU Pangkalan Susu menunjukkan bahwa efisiensi HPH yang menurun 5% dapat menyebabkan kenaikan *heat rate* sebesar 1,8%. Sementara itu, hasil penelitian (Saputra, 2021) pada PLTU Suralaya menunjukkan bahwa nilai TTD yang melebihi 8°C mengindikasikan adanya *fouling rate* pada sisi *shell* yang menyebabkan turunnya efektivitas pemanasan. Temuan ini memperkuat pentingnya evaluasi performa HPH secara berkala untuk menjaga efisiensi keseluruhan pembangkit.

Maka dari itu, diperlukan perhitungan efisiensi HPH pada *feedwater* PLTU Teluk Sirih unit 2 guna mengetahui seberapa besar penyimpangan kinerja aktual terhadap kondisi desain. Analisis ini meliputi penghitungan efisiensi HPH berdasarkan parameter operasi aktual seperti suhu masuk dan keluar air, tekanan uap dan air, laju aliran massa, tekanan alir, dan suhu alir yang didapatkan melalui data operasional (DCS) PLTU Teluk Sirih (Shell et al., 2024). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kondisi aktual terkait efisiensi HPH. Serta menjadi dasar bagi langkah-langkah peningkatan performa PLTU Teluk Sirih.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif – analitis. Pendekatan ini digunakan karena penelitian berfokus pada pengumpulan dan pengolahan data numerik yang bersumber dari data operasi aktual DCS PLTU Teluk Sirih Unit 2 (Sugiyono, 2019). Data tersebut meliputi suhu *water in*, suhu *water out*, laju alir massa *water out*, Laju alir Massa *Steam*, Tekanan Laju alir *Steam*, Suhu Laju alir *Steam*, suhu *condensate* keluar pada HPH 1 dan HPH 2 yang selanjutnya akan digunakan untuk menghitung efisiensi kerja HPH (Yopriyanto, 2017). Penelitian ini bersifat non-eksperimental, karena tidak dilakukan perlakuan langsung terhadap peralatan di lapangan. Analisis dilakukan menggunakan data primer yang diperoleh dari sistem kontrol terpusat (DCS) dan log sheet operasi pembangkit.

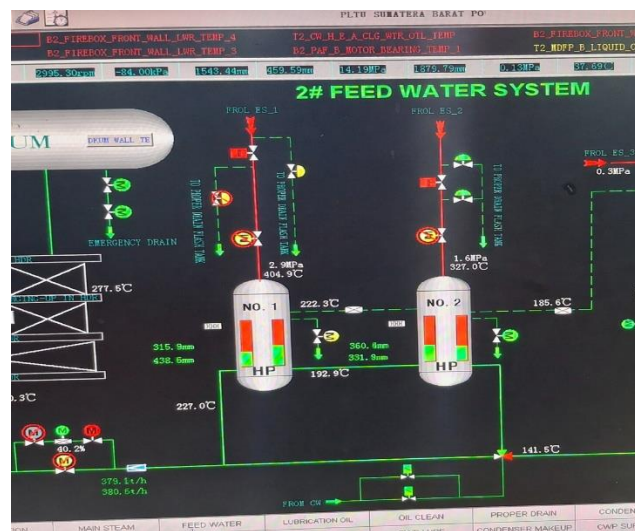
Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan dianalisis untuk mengetahui perbandingan kinerja antara HPH 1 dan HPH 2. Pengolahan data dilakukan dengan menyusun parameter operasi ke dalam bentuk tabel, kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik agar perbedaan karakteristik masing-masing HPH dapat diamati secara lebih jelas (Das, n.d.). Visualisasi data ini membantu dalam memahami pola perubahan suhu, laju alir massa, serta kondisi steam pemanas pada setiap HPH.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data operasi aktual dari sistem DCS PT.PLN IP Teluk Sirih Unit 2. Data yang dikumpulkan meliputi parameter-parameter yang berhubungan langsung dengan kinerja high pressure heater sebagai heat exchanger. Pengumpulan data operasional dari DCS ini bertujuan untuk memperoleh kondisi kerja nyata *high pressure heater* pada saat unit beroperasi, sehingga dapat menentukan akurasi hasil perhitungan efisiensi.



Gambar 2. Data HPH 1 dan HPH 2

Berdasarkan gambar diatas maka dapat diketahui untuk data operasional HPH 1 dan HPH 2 adalah:  
 Tabel 1. HPH 1

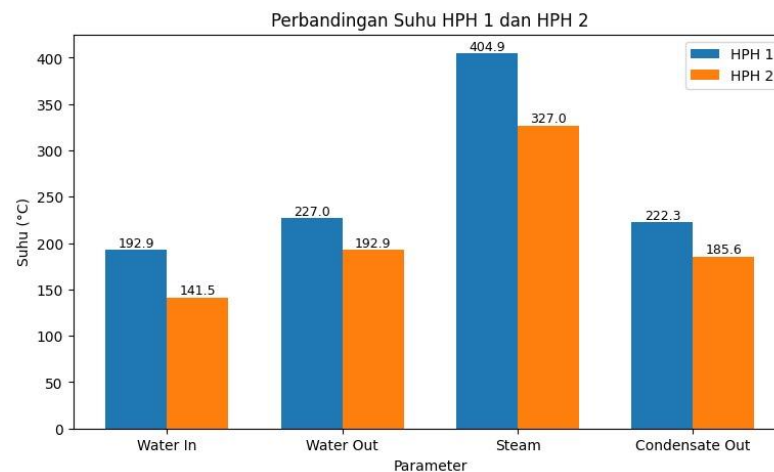
NO	Parameter	Satuan
1	suhu <i>water in</i>	192.9 °C
2	suhu <i>water out</i>	227.0 °C
3	laju alir massa <i>water out</i>	380.6 t/h
4	Laju alir Massa <i>Steam</i>	25 t/h
5	Tekanan Laju alir <i>Steam</i>	29.1 bar
6	Suhu Laju alir <i>Steam</i>	404.9 °C
7	suhu <i>condensate</i> keluar	222.3 °C

Tabel 2. HPH 2

NO	Parameter	Satuan
1	suhu <i>water in</i>	141.5 °C
2	suhu <i>water out</i>	192.9 °C
3	laju alir massa <i>water out</i>	379.1 t/h
4	Laju alir Massa <i>Steam</i>	33 t/h
5	Tekanan Laju alir <i>Steam</i>	16 bar
6	Suhu Laju alir <i>Steam</i>	327.0 °C
7	suhu <i>condensate</i> keluar	185.6 °C

Berdasarkan data operasional pada Tabel 1 dan Tabel 2, terlihat adanya perbedaan karakteristik kerja antara HPH 1 dan HPH 2, baik dari sisi temperatur, laju alir massa, maupun kondisi steam yang digunakan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa masing-masing HPH memiliki peran yang berbeda dalam proses pemanasan feedwater. Untuk memperjelas perbandingan kinerja dan melihat hubungan antar parameter secara visual, maka data tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik perbandingan antara HPH 1 dan HPH 2.

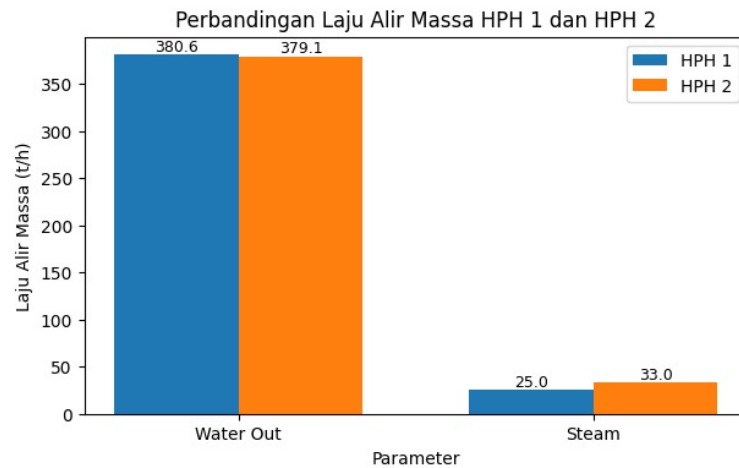
a. Perbandingan suhu HPH 1 dan HPH 2



Gambar 3. Suhu HPH 1 dan HPH 2

Grafik menunjukkan bahwa seluruh parameter suhu pada HPH 1 lebih tinggi dibandingkan HPH 2. Kenaikan suhu *water out* pada HPH 1 lebih besar, yang menandakan proses pemanasan berlangsung lebih intensif. Selain itu, suhu steam dan *condensate out* pada HPH 1 juga lebih tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa HPH 1 beroperasi pada kondisi temperatur yang lebih tinggi dan memiliki kemampuan perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan HPH 2.

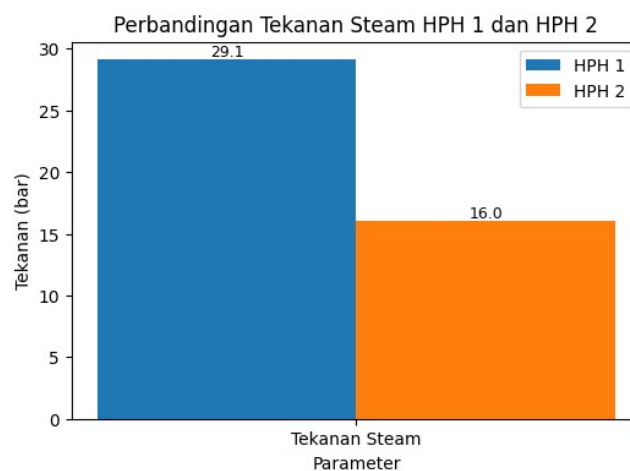
b. Perbandingan laju alir massa HPH 1 dan HPH 2



Gambar 4. Laju Alir Massa HPH 1 dan HPH 2

Grafik perbandingan laju alir massa menunjukkan bahwa laju alir water out pada HPH 1 dan HPH 2 relatif sama, yaitu masing-masing sekitar 380,6 t/h dan 379,1 t/h. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah air yang dipanaskan pada kedua HPH hampir setara. Namun, laju alir massa steam pada HPH 2 lebih besar dibandingkan HPH 1, yaitu 33,0 t/h berbanding 25,0 t/h. Kondisi ini menunjukkan bahwa HPH 2 membutuhkan suplai steam yang lebih besar untuk mencapai proses pemanasan yang diinginkan.

c. Perbandingan tekanan steam HPH 1 dan HPH 2



Gambar 5. Tekanan Steam HPH 1 dan HPH 2

Grafik menunjukkan bahwa tekanan steam pada HPH 1 lebih tinggi dibandingkan HPH 2, yaitu 29,1 bar berbanding 16,0 bar. Tekanan steam yang lebih tinggi pada HPH 1 menunjukkan kondisi operasi yang lebih kuat, yang sejalan dengan suhu steam yang lebih tinggi dan mendukung proses perpindahan panas yang lebih efektif dibandingkan HPH 2.

## 2. Perhitungan $Q_{steam}$ dan $Q_{water}$

Perhitungan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  bertujuan untuk mengetahui besarnya energi panas yang terlibat dalam proses perpindahan kalor pada *high pressure heater* sebagai *heat exchanger* (Iffournamasari et al., 2023). Nilai  $Q_{steam}$  mempresentasikan energi panas yang dilepaskan uap ekstraksi dari turbin, sedangkan  $Q_{water}$  menunjukkan energi panas yang diserap oleh air umpan (*feedwater*) selama proses pemanasan di dalam HPH (Fuad et al., 2024).

### a. Perhitungan $Q_{steam}$

Perhitungan  $Q_{steam}$  dilakukan untuk menentukan besarnya energi panas yang dilepaskan oleh uap ekstraksi dari turbin di dalam HPH. Nilai  $Q_{steam}$  mempresentasikan jumlah panas yang tersedia dari fluida panas (uap) yang digunakan untuk memanaskan air umpan (*feedwater*). Ada 3 fase perpindahan panas pada  $Q_{steam}$  yaitu fase uap superheated-uap jenuh, uap jenuh-air jenuh (kondensasi) dan air jenuh-kondensat (subcooled) (Epriansyah et al., 2024). Dengan ini dapat dinyatakan persamaan pada  $Q_{steam}$  sebagai berikut;

$$\begin{aligned}Q_{1steam} &= m_{steam} \cdot cp \cdot \Delta T \\Q_{2steam} &= m_{steam} \cdot L \\Q_{3steam} &= m_{steam} \cdot cp \cdot \Delta T \\Q_{steam} &= Q_{1steam} + Q_{2steam} + Q_{3steam}\end{aligned}$$

Berikut keterangan rumus yang digunakan;

$$\begin{aligned}Q_{1steam} &: \text{Kalor steam 1 (kJ/jam)} \\Q_{2steam} &: \text{Kalor steam 2 (kJ/jam)} \\Q_{3steam} &: \text{Kalor steam 3 (kJ/jam)} \\Q_{steam} &: \text{Kalor steam Akumulasi (kJ/jam)} \\cp &: \text{kapasitas panas (kJ/kmol)} \\L &: \text{Kalor laten (kJ/kg)} \\\Delta T &: \text{Selisih suhu (K)}\end{aligned}$$

### b. Perhitungan $Q_{water}$

Perhitungan  $Q_{water}$  dilakukan untuk mengetahui besarnya energi panas yang diserap oleh air umpan (*feedwater*) selama proses pemanasan di dalam HPH. Nilai  $Q_{water}$  menunjukkan kenaikan energi panas air akibat adanya perpindahan kalor dari uap ekstraksi (Untoro & Risdiyanto Ismail, 2022). Adapun persamaan yang digunakan pada perhitungan  $Q_{water}$  kali ini adalah sebagai berikut;

$$Q_{water} = m_{water} \cdot cp \cdot \Delta T$$

Berikut keterangan rumus yang digunakan;

$$\begin{aligned}Q_{water} &: \text{kalor water (kJ/jam)} \\cp &: \text{kapasitas panas (kJ/kmol)} \\\Delta T &: \text{Selisih suhu (K)}\end{aligned}$$

## 3. Perhitungan Efisiensi HPH

Perhitungan efisiensi HPH dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan HPH dalam mentransfer panar dari uap ekstraksi ke air umpan (*feedwater*) sebagai *heat exchanger* (Jang, H., Kim,

S., Lee, J., & Park, 2024). Efisiensi HPH menggambarkan perbandingan antara energi panas yang diserap oleh feedwater dengan energi panas yang dilepaskan oleh uap ekstraksi di alam HPH. Efisiensi HPH didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah panas yang berhasil diserap oleh feedwater terhadap jumlah panas yang dilepaskan oleh uap ekstraksi selama proses perpindahan panas berlangsung (Raharja Puja Gustika et al., 2024);

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{\text{steam}}}{Q_{\text{water}}} \times 100 \%$$

Berikut keterangan rumus yang digunakan;

$Q_{\text{steam}}$  : Kalor steam Akumulasi (kJ/jam)

$Q_{\text{water}}$  : Kalor water (kJ/jam)

Dengan ini, dapat diketahui seberapa baik kinerja pada HPH 1 dan HPH 2 pada PT.PLN IP Teluk Sirih dan menjadi pertimbangan dasar bagi pihak operasional PLTU untuk perawatan (*maintenance*) dalam upaya peningkatan performa sistem *feedwater* secara keseluruhan (Pagar, n.d.).

### III. HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian ini diperoleh berdasarkan perhitungan energi panas yang dilepas oleh  $Q_{\text{steam}}$  dan energi panas yang diserap air umpan  $Q_{\text{water}}$  pada HPH sebagai heat exchanger pada sistem feedwater PLTU PT PLN IP Teluk Sirih Unit 2.

Data yang disajikan merupakan hasil pengolahan data operasi actual yang diperoleh dari DCS meliputi suhu *water in*, suhu *water out*, laju alir massa *water out*, Laju alir Massa Steam, Tekanan Laju alir Steam, Suhu Laju alir Steam, suhu *condensate* keluar sebagai input untuk mendapatkan  $Q_{\text{steam}}$  dan  $Q_{\text{water}}$  pada HPH 1 dan HPH 2.

Adapun data yang diperoleh dari perhitungan efisiensi untuk HPH 1 dan HPH 2 PLTU Teluk Sirih sebagai berikut;

Tabel 3. Hasil Perhitungan HPH 1

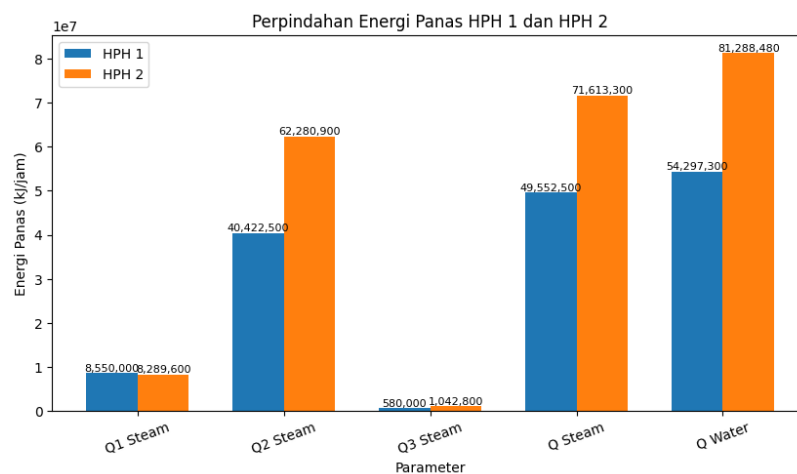
<u>Parameter</u>	<u>Hasil Perhitungan</u>
<i>Massa Balance Steam</i>	25.000 kg/jam
Titik Didih Air	233,9 °C
$Q_{1\text{steam}}$	8.550.000 kJ/jam
L= 29,1 bar	1.616,9 kJ/kg
$Q_{2\text{steam}}$	40.422.500 kJ/jam
$Q_{3\text{steam}}$	580.000 kJ/jam
$Q_{\text{steam}}$	49.552.500 kJ/jam
<i>Massa Balance Water</i>	380.600 kg/jam
$Q_{\text{water}}$	54.297.300 kJ/jam
Efisiensi	91,26 %

Tabel 4. Hasil Perhitungan HPH 2

Parameter	Hasil Perhitungan
Massa Balance Steam	33.000 kg/jam
Titik Didih Air	201,4 °C
$Q_{1steam}$	8.289.600 kJ/jam
L= 29,1 bar	1.887,3 kJ/kg
$Q_{2steam}$	62.280.900 kJ/jam
$Q_{3steam}$	1.042.800 kJ/jam
$Q_{steam}$	71.613.300 kJ/jam
Massa Balance Water	379.100 kg/jam
$Q_{water}$	81.288.480 kJ/jam
Efisiensi	88,11 %

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4, dapat diketahui besarnya energi panas yang terlibat dalam proses perpindahan panas pada HPH 1 dan HPH 2, baik dari sisi steam maupun dari sisi water, serta nilai efisiensi masing-masing alat. Data ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai kinerja termal kedua HPH. Untuk memudahkan analisis perbandingan dan memperjelas perbedaan karakteristik perpindahan panas antara HPH 1 dan HPH 2, maka hasil perhitungan tersebut selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik.

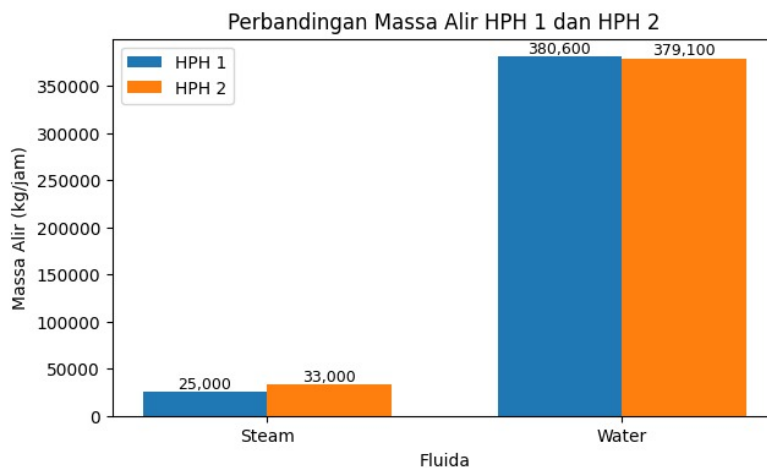
a. Perpindahan energi panas HPH 1 dan HPH 2



Gambar 6. Perpindahan Panas HPH 1 dan HPH 2

Grafik menunjukkan bahwa HPH 2 secara konsisten memiliki energi panas yang lebih besar dibandingkan HPH 1 pada hampir semua parameter, baik dari sisi steam maupun water, yang berarti HPH 2 lebih efektif dalam memindahkan panas. Semakin besar energi panas yang dilepas oleh steam, semakin besar pula energi yang diterima oleh air umpan, sehingga HPH 2 memberikan kontribusi yang lebih dominan dalam meningkatkan temperatur feedwater sebelum masuk ke boiler dan berperan penting dalam meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Selain itu, perbedaan nilai energi panas antara HPH 1 dan HPH 2 juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perbedaan laju aliran massa uap ekstraksi, kondisi permukaan tube, tingkat fouling, serta efektivitas perpindahan panas di masing-masing unit.

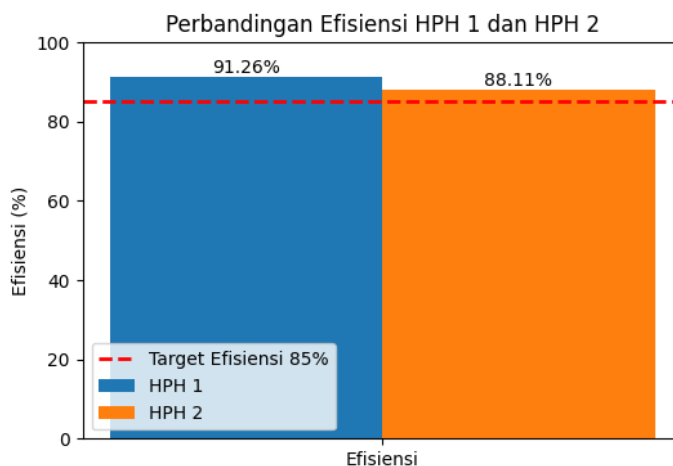
b. Perbandingan massa alir HPH 1 dan HPH 2



Gambar 7. Massa Balance HPH 1 dan HPH 2

Grafik ini menunjukkan perbandingan laju alir massa antara HPH 1 dan HPH 2 untuk steam dan water. Terlihat bahwa laju alir massa air (water) pada HPH 1 dan HPH 2 hampir sama besar, artinya jumlah air umpan yang dipanaskan oleh kedua HPH relatif seimbang. Namun, pada sisi steam terdapat perbedaan yang cukup jelas, di mana HPH 2 memiliki laju alir massa steam yang lebih besar dibandingkan HPH 1. Ini berarti HPH 2 menggunakan lebih banyak steam sebagai sumber panas untuk memanaskan air. Meskipun debit air yang dipanaskan hampir sama, HPH 2 memerlukan pasokan steam yang lebih besar, sehingga proses perpindahan panas di HPH 2 berlangsung lebih intensif dibandingkan HPH 1.

c. Perbandingan efisiensi HPH 1 dan HPH 2



Gambar 8. Efisiensi HPH 1 dan HPH 2

Grafik menunjukkan bahwa efisiensi HPH 1 sedikit lebih tinggi dibandingkan HPH 2, namun perbedaannya tidak terlalu besar sehingga keduanya masih tergolong memiliki kinerja yang sama-sama baik. Hal ini berarti sebagian besar energi panas dari steam pada kedua HPH berhasil dimanfaatkan untuk memanaskan air umpan dengan efektif. Meskipun HPH 2 memiliki energi panas dan laju alir steam yang lebih besar, efisiensinya sedikit lebih rendah, yang mengindikasikan adanya rugi-rugi panas yang relatif lebih besar dibandingkan HPH 1. Secara keseluruhan, HPH 1 lebih unggul dari sisi pemanfaatan energi panas, sedangkan HPH 2 lebih dominan dari sisi kapasitas perpindahan panas.

#### IV. PEMBAHASAN

Hasil dari perhitungan efisiensi HPH (DCS PLTU) melalui input suhu *water in*, suhu *water out*, laju alir massa *water out*, Laju alir Massa Steam, Tekanan Laju alir Steam, Suhu Laju alir Steam, suhu *condensate*, dengan *massa balance steam* yang merupakan laju aliran massa uap, Titik didih air (jenuh) didapatkan melalui Tekanan Laju alir Steam yang kemudian dikonversi menggunakan tabel saturasi uap. ( $Q_{1steam}$ ,  $Q_{2steam}$ ,  $Q_{3steam}$ ) didapatkan melalui persamaan perpindahan kalor, dengan fase uap superheated-uap jenuh, uap jenuh-air jenuh (kondensasi) dan air jenuh-kondensat (subcooled). Kemudian untuk laten masing-masing HPH 29,1 bar dengan lalu dikonversi menggunakan tabel steam sehingga didapatkan 1.887,3 kJ/kg. Dengan angka-angka ini maka didapatkan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  pada masing masing HPH.

Pada HPH 1 menunjukkan kenaikan temperatur sebesar 34,1 °C. Kenaikan suhu ini mengindikasikan bahwa proses perpindahan panas dari uap ekstraksi ke *feedwater* berlangsung secara efektif. Dengan laju alir massa air sebesar 380.6 t/h dan laju alir massa uap 25 t/h, energi panas yang dilepaskan oleh uap mampu meningkatkan energi termal air umpan secara signifikan. Hal ini sesuai dengan nilai  $Q_{steam}$  sebesar 49.552.500 kJ/jam dan  $Q_{water}$  sebesar 54.297.300 kJ/jam dan didapatkan efisiensinya 91,26 %.

Pada HPH 2, suhu air masuk jauh lebih rendah yaitu 141,5 °C, sedangkan suhu air keluar sebesar 192,9 °C, sehingga terjadi kenaikan temperatur sebesar 51,4 °C. Kenaikan suhu yang lebih besar dibandingkan HPH 1 menunjukkan bahwa HPH 2 memiliki beban pemanasan yang lebih tinggi karena *feedwater* masuk pada kondisi temperatur yang lebih rendah. Untuk memenuhi kebutuhan panas tersebut, laju alir massa uap yang digunakan juga lebih besar, yaitu 33 t/h, dibandingkan HPH 1 yang hanya 25 t/h. Namun, uap ekstraksi pada HPH 2 memiliki tekanan yang lebih rendah, yaitu 16 bar, dengan suhu 327,0 °C. Tekanan dan suhu yang lebih rendah ini menyebabkan kandungan energi panas per satuan massa uap lebih kecil dibandingkan uap pada HPH 1. Akibatnya, meskipun laju alir massa uap pada HPH 2 lebih besar, efektivitas pemanfaatan panasnya tidak setinggi HPH 1. Hal ini terlihat dari nilai  $Q_{steam}$  sebesar 71.613.300 kJ/jam dan  $Q_{water}$  sebesar 81.288.480 kJ/jam yang menghasilkan efisiensi 88,11%, lebih rendah dibandingkan HPH 1.

Perbedaan efisiensi yang terjadi pada HPH 1 dan HPH 2 disebabkan oleh suhu masuk yang berbeda, dengan suhu yang masuk pada HPH 1 lebih besar dibanding dengan HPH 2 dan kemudian tekanan laju alir juga berpengaruh untuk pemanasan. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti perbedaan tekanan dan suhu uap ekstraksi, kondisi permukaan tube yang kemungkinan mulai mengalami *fouling*, serta karakteristik aliran fluida di dalam HPH 2 yang kurang mendukung proses perpindahan panas secara maksimal.

Selain itu, suhu kondensat keluar pada HPH 1 sebesar 222.3 °C dan pada HPH 2 sebesar 185.6 °C juga menunjukkan adanya perbedaan dalam proses pelepasan panas uap. Suhu kondensat yang masih cukup tinggi mengindikasikan bahwa masih terdapat energi panas yang belum sepenuhnya dimanfaatkan untuk pemanasan *feedwater*, khususnya pada HPH 2.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengolahan data operasional di PLTU Teluk Sirih Unit 2 yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Efisiensi HPH di PLTU Teluk Sirih Unit 2 memiliki nilai 91,26 % untuk HPH 1 dan 88,11% untuk HPH 2. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kedua HPH masih berfungsi dengan baik sebagai *heat exchanger* karena nilai efisiensinya berada di atas 85%. Efisiensi pada kedua unit dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang masuk pada HPH 1 sebesar 192,9 °C dan pada HPH 2 yaitu sebesar 141.5 °C. Hasil efisiensi didapatkan dari perbandingan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  dimana pada Unit HPH 1  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  adalah 49.552.500 kJ/jam dan 54.297.300 kJ/jam sedangkan pada Unit HPH 2  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  adalah 71.613.300 kJ/jam dan 81.288.480 kJ/jam.

Sehingga, Semakin besar suhu maka semakin besar perbandingan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  maka semakin besar pula efisiensi pada alat Heater begitu pula sebaliknya semakin kecil suhu maka semakin kecil perbandingan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  maka semakin kecil efisiensi pada alat Heater. Hasil penelitian dapat menjadi acuan bagi pihak operasional PLTU Teluk untuk melakukan perawatan (maintenance) secara rutin agar HPH dapat berfungsi dengan baik.

## VI. REFERENSI

- Asraf, & Rasyidah. (2023). Manajemen Pemeliharaan Peralatan Berbasis Web. *JITSI : Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 4(4), 162–170. <https://doi.org/10.30630/jitsi.4.4.197>
- Das, S. (n.d.). *Regenerative Feed Heating System: Regeneration*. <https://share.google/OoNNT3ekgaMCP0g0m>
- Epriansyah, A., Pupu, A., Alfandi, I. M., Ningsih, E., Teknologi, I., & Tama, A. (2024). *Analisis Heat Exchanger Jenis Shell and Tube dengan Aliran Counter Current*. *Senastitan Iv*, 1–8.
- Fuad, M., Hakim, A., & Rusirawan, D. (2024). *Review Penggunaan Feedwater Heater Pada Pembangkit Tenaga Uap*. 13(01), 99–112.
- Gahana, D. (2018). Analisis Kinerja High Pressure Heater (Hph) Tipe Shell and Tube Heat Exchanger. *Journal of Science and Application Technology*, 2, 23–33. <https://doi.org/10.35472/281416>
- Ifvournamasari, A. D., Sukmawanta, S. N. M., Maryanty, Y., & Yulianto, E. (2023). Perhitungan Efisiensi High Pressure Heater Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pt Pomi Unit 3. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(2), 308–314. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i2.373>
- Jang, H., Kim, S., Lee, J., & Park, D. (2024). *Effect of High-Pressure Heater Efficiency on Boiler Heat Consumption in Thermal Power Plants*.
- Li Yuan-Hu. (n.d.). *Peningkatan efisiensi pembangkit kogenerasi sel bahan bakar yang terhubung dengan pemanasan distrik: Konstruksi sistem pemulihan panas laten kondensasi air dan analisis data operasional nyata*. <https://share.google/7iiQrY9ZsrBxCDYcW>
- Lumbantobing, L. H., & Sutrisno, J. (2021). Analisis Efektivitas High Pressure Heater Unit 1 Pltu Pangkalan Susu Operation and Maintenance. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2), 54–61. <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v2i2.29>
- Pagar, S. E. I. (n.d.). /m 2 , konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan boiler sebesar 6807,3 kg kg. 1, 2–3.
- Plant, M. W. C. P. (2014). *Operation Regulations for Steam Turbine ( Modified Version )*.
- Prasetyo & Murti. (2015). *Siklus Rankine*. Artikel Teknologi. [https://www.academia.edu/11743459/Siklus\\_Rankine](https://www.academia.edu/11743459/Siklus_Rankine)
- Raharja Puja Gustika, Ignatius Riyadi Mardiyanto, & Indriyani, I. (2024). Analisis Efektivitas High Pressure Heater (HPH) 7 PT. *Z. Jurnal Surya Teknika*, 11(1), 400–405. <https://doi.org/10.37859/jst.v11i1.7329>
- Salim, A., Suyitno, B. M., Studi, P., Mesin, T., Pancasila, U., & Test, P. (2025). *Analisa Pengaruh Pengoperasian HPH ( High Pressure Heater ) Pada Performa PLTU PC 400 MW*. 11(2), 102–107.

- Saputra, I. A. (2021). *Kajian Terminal Temperatur Difference, Drain Cooler Approach, Dan Efektivitas Pada High Pressure Heater Terhadap Net Plant Heat Rate Pltu Ombilin*. 1–61.
- Shell, T., Manufaktur, I., Asbanu, H., Chan, Y., Sugiyanto, D., & Susanto, H. (2024). *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha Study of Heat Transfer Applications Using Shell & Tube Type Heat*. 12(1), 29–42.
- Sidiq, A. N., & Anwar, M. (2021). Perbandingan Efisiensi Turbin Uap Kondisi Aktual Berbasis Data Komisioning Sesuai Standard ASME PTC 6. *Kilat*, 10(1), 190–199. <https://doi.org/10.33322/kilat.v10i1.1188>
- Sugiyono, A. (2019). *Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*.
- Untoro, S., & Risdiyanto Ismail, N. (2022). *Analisa Efisiensi PLTU Paiton Ketika High Pressure Heater (HPH 7)*. 05(01), 10–15.
- Wulandari, S. (2022). *Analisa Energi Dan Eksergi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. 23(1), 254–265.
- Yopriyanto. (2017). *Komponen Utama PLTU Secara Garis Besar*.