

# Analisa Suhu dan Tekanan pada *High Pressure Heater* dalam Pemanasan *FeedWater Boiler* unit 3 PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia

Lalu Wisnu Kaisar Kita<sup>1</sup> Jhonson Armando Situmeang<sup>2</sup>  
Politeknik Negeri Batam, Jurusan Teknik Elektro, Batam

E-mail: [jhonsonarmando2525@gmail.com](mailto:jhonsonarmando2525@gmail.com)

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received: xx May xxxx

Revised: xx June xxxx

Accepted: xx July xxxx

Available online:

xx August xxxx

### Keywords:

Maximum

Five

Important

Key

Words

## ABSTRAK

*High pressure heater* merupakan komponen vital yang berfungsi sebagai pemanas awal air umpan sebelum memasuki *boiler*. Laju perpindahan panas dan efektivitas transfer panas pada *high pressure heater* secara langsung mempengaruhi efisiensi termal keseluruhan sistem pembangkit. Parameter suhu dan tekanan pada *high pressure heater* menjadi faktor kritis yang perlu dipantau dan dianalisis secara cermat. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis suhu dan tekanan pada *high pressure heater* pada proses pemanasan air umpan PLTU di PT. Bintan Alumina Indonesia. Mengetahui laju perpindahan panas dan seberapa efektif pemanasan yang terjadi pada *high pressure heater*, dengan mencari nilai dari efektivitas transfer panas yang terjadi pada *high pressure heater*. Penelitian ini menggunakan analisis perpindahan panas yang terjadi pada setiap zona *high pressure heater*, mulai dari zona subcooling, zona condensing, dan zona desuperheating. Dari hasil penelitian ini didapat laju perpindahan panas tertinggi  $Q_{steam} = 10021.714$  kJ/s dan nilai  $Q_{water} = 16825.097$  kJ/s dengan nilai efektivitas transfer panas 59,56%. Sedangkan pada HPH 2 laju perpindahan panas nilai tertinggi yaitu  $Q_{steam} = 7691.07$  kJ/s dan  $Q_{water} = 12744.480$  kJ/s dengan nilai efektivitas 60,35%. Nilai *pressure drop* berpengaruh terhadap nilai efektivitas total HPH, nilai eketivitas terendah dengan nilai 56,37% memiliki penurunan tekanan sebesar 0,77 MPa.

## 1. Pendahuluan

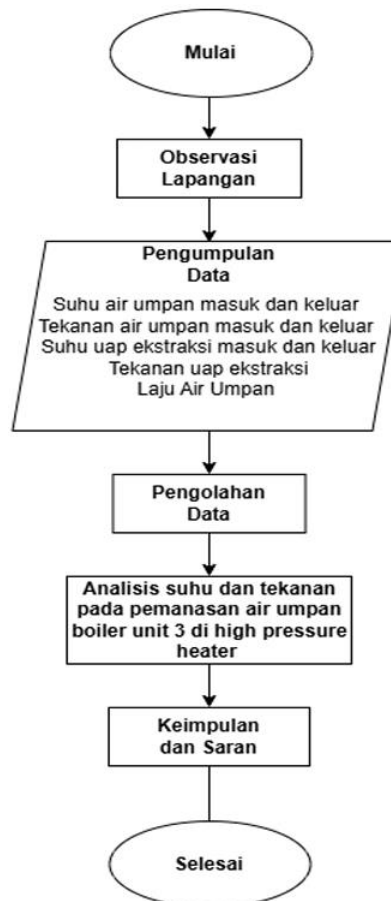
Listrik merupakan sumber energi yang digunakan manusia. Tingginya kebutuhan energi listrik di Indonesia memaksa pemerintah untuk membangun pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik yang paling banyak digunakan adalah PLTU, selain mampu menghasilkan listrik dalam jumlah besar juga mudah mendapatkan air induk. PLTU memanfaatkan energi panas uap dengan memanaskan air untuk mengubah fase cair menjadi fase uap sehingga menghasilkan energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu tulang punggung dalam penyediaan energi listrik di berbagai negara, termasuk Indonesia. Dalam operasionalnya, PLTU mengandalkan efisiensi termal yang tinggi untuk menghasilkan listrik secara optimal. Salah satu komponen kunci yang berperan penting dalam meningkatkan efisiensi ini adalah *High Pressure Heater* (HPH), yang berfungsi untuk memanaskan air umpan (*feed water*) sebelum memasuki boiler.

PT. Bintan Alumina Indonesia, menjadi salah satu Perusahaan yang menggunakan pembangkit listrik tenaga uap ini. Sebagai salah satu Upaya dari Perusahaan dalam memenuhi kebutuhan energi listriknya yang digunakan untuk mendukung proses produksi. Pembangkit tenaga uap di PT. Bintan Alumina Indonesia memiliki 6 unit boiler, 6 unit turbin, 6 generator. *Boiler* pada pembangkit listrik tenaga uap di PT. Bintan Alumina Indonesia memiliki kapasitas 2x30 MW dan 4x25 MW. Boiler unit 3 dari PLTU ini memiliki peran yang cukup penting dalam menyediakan listrik untuk mendukung proses produksi alumina. *Boiler* menjadi salah satu dari beberapa komponen utama dalam sistem pembangkit listrik tenaga uap. Dalam sistem PLTU, *high pressure heater* merupakan komponen vital yang berfungsi sebagai pemanas awal air umpan sebelum memasuki boiler.

Kinerja *high pressure heater* secara langsung mempengaruhi efisiensi termal keseluruhan sistem pembangkit. Parameter suhu dan tekanan pada *high pressure heater* menjadi faktor kritis yang perlu dipantau dan dianalisis secara cermat, karena berbagai macam faktor seperti *fouling* atau endapan yang dimana ini dapat menyebabkan mempengaruhi laju perpindahan panas dan efektivitas perpindahan panas sehingga dapat berdampak signifikan pada proses pemanasan air umpan dan selanjutnya mempengaruhi efisiensi *boiler* serta kinerja pembangkit secara keseluruhan. Penelitian ini berfokus pada analisis suhu dan tekanan pada *high pressure heater* dalam proses pemanasan air umpan di *high pressure heater*. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis suhu dan tekanan pada *high pressure heater* pada proses pemanasan air umpan PLTU di PT. Bintang Aluminium Indonesia. Mengetahui laju perpindahan panas dan mengetahui efektivitas perpindahan panas yang terjadi pada *high pressure heater*, dengan mencari nilai dari efektivitas transfer energi yang terjadi pada *high pressure heater*. Analisis *pressure drop* juga menjadi salah satu parameter yang perlu dilakukan analisis. Hasil analisis ini akan menjadi dasar untuk mengoptimalkan parameter operasi dan mengambil keputusan operasional yang lebih baik.

## 2. Metode

Perancangan penelitian ini menjelaskan seluruh kegiatan yang dilaksanakan selama penelitian berlangsung. Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Penelitian

### 2.2 Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian analisis suhu dan tekanan pada *high pressure heater* dalam pemanasan feed water boiler unit 3 PLTU di PT. Bintang Alumina Indonesia, pengumpulan data dilakukan secara sistematis 16 dan terstruktur untuk memastikan kelengkapan dan keakuratan ana-

lisis. Pengambilan data dilakukan melalui sistem DCS (Distributed Control System) dan SCADA yang terpasang di control room PLTU di PT. Bintang Alumina Indonesia. Data yang diambil pada tanggal 1-14 November 2025 pada jam yang sama.

Table 1. Parameter Pengukuran

No	Parameter	Satuan
1	Suhu air umpan masuk dan keluar	°C
2	Tekanan air umpan masuk dan keluar	PASCAL (Pa)
3	Suhu <i>steam</i> pemanas yang masuk	°C
4	Tekanan <i>steam</i> pemanas	PASCAL (Pa)
5	Laju aliran air umpan	t/h

## 2.2 Analisis Data

Data berikut yang diperoleh dari monitoring Distributed Control System (DCS) di PLTU PT.Bintang Alumina Indonesia yang akan digunakan pada penelitian ini. Data ini diambil selama 14 hari mulai tanggal 1 November 2024 sampai 14 november 2024 pada jam 13.00. Data yang diambil berupa suhu feedwater keluar dan masuk (T1f dan T2f), suhu uap ekstraksi keluar dan masuk (T1s dan T2s), tekanan feedwater keluar dan masuk (P1f dan P2f), tekanan uap ekstraksi (Ps), dan Laju air umpan (t/h) dari kedua high pressure heater.

Table 2. Data Penelitian HPH 1

Waktu	T1f (°C)	T2f (°C)	T1s (°C)	T2s (°C)	P1f (MPa)	P2f (MPa)	Ps (MPa)	$\dot{m}_f$ (t/h)
1/11/2024	160.17	184.78	393.23	161.67	13.2	13.08	1.1	190.13
2/11/2024	161.86	189.09	390.21	163.93	13.9	13.13	1.09	162.92
3/11/2024	160.8	183.13	395.37	166.9	13.9	13.52	1.8	149.99
4/11/2024	161.66	189.06	391.12	167.64	13.9	13.51	2.09	200.96
5/11/2024	154.73	191.12	399.78	156.95	13.03	12.82	1.35	228.95
6/11/2024	161.21	190.74	396.09	161.27	13.67	13.28	0.98	174.12
7/11/2024	161.19	185.08	397.74	160.44	12.97	12.45	0.85	143.09
8/11/2024	160.78	189.15	398.09	160.09	13.53	13.02	1.64	149.19
9/11/2024	160.37	191.19	394.86	162.23	13.09	12.93	1.32	199.25
10/11/2024	161.58	185.48	392.9	164.99	13.09	12.92	1.9	201
11/11/2024	160.13	184.11	395.34	160.73	12.92	12.41	1.38	146.96
12/11/2024	161.41	184.72	398.03	165.79	13.55	13.16	1.97	220.41
13/11/2024	160.26	186.07	390.06	165.46	12.8	12.29	1.45	190.83
14/11/2024	162.61	188.49	392.8	161.67	13.32	12.98	1.08	166.77

Table 3. Data Penelitian HPH 2

Waktu	T1f (°C)	T2f (°C)	T1s (°C)	T2s (°C)	P1f (MPa)	P2f (MPa)	Ps (MPa)	$\dot{m}_f$ (t/h)
1/11/2024	184.78	193.09	418.98	186.31	13.2	13.08	1.53	190.13
2/11/2024	189.09	208.29	423.46	188.64	13.9	13.13	1.47	162.92
3/11/2024	183.13	191.42	431.8	196.76	13.9	13.52	1.82	149.99
4/11/2024	189.06	207.98	463.72	175.79	13.9	13.51	1.09	226.09
5/11/2024	191.12	218.21	472.29	172.75	13.28	12.82	0.95	228.95
6/11/2024	190.74	209.89	465.82	169.93	13.67	13.28	0.92	174.12
7/11/2024	185.08	205.43	453.21	187.87	12.97	12.45	1.21	143.09
8/11/2024	189.15	195.23	402.93	169.13	13.53	13.02	0.97	149.19
9/11/2024	191.19	212.31	428.54	192.77	13.09	12.93	2.04	199.25
10/11/2024	185.48	196.39	399.97	173.48	13.09	12.92	1.07	201
11/11/2024	184.11	199.74	425.32	179.01	12.92	12.41	1.19	146.96
12/11/2024	191.72	212.73	458.12	165.28	13.55	13.16	0.84	220.41
13/11/2024	186.07	203.08	427.43	191.2	12.8	12.29	1.93	190.83
14/11/2024	188.49	198.75	398.32	180.27	13.32	12.98	2.05	166.77

## 2.3 Menentukan Laju Perpindahan Panas Sisi steam (Qsteam)

1. Menentukan Enthalpy steam masuk dan keluar.

Dalam menentukan enthalpy air umpan masuk dan keluar high pressure heater dapat menggunakan steam tables dengan diketahuinya 17 parameter suhu air umpan masuk, suhu air umpan keluar, dan tekanan air umpan .

2. Menentukan Enthalpy steam masuk dan keluar.

Untuk menentukan nilai enthalpy steam masuk dan keluar high pressure heater menggunakan steam tables yang Dimana diketahui suhu steam masuk dan keluar, tekanan steam pemanas.

3. Menentukan Nilai Enthalpy Suhu Saturasi Steam Pemanas.

Untuk menentukan nilai enthalpy suhu saturasi steam menggunakan steam table, dengan mengetahui tekanan steam pemanas.

4. Menentukan laju *steam* pemanas ( $\dot{m}_s$ ).

Laju *steam* pemanas dapat dihitung dengan persamaan :

$$\dot{m}_s \cdot (h_{1s} - h_{2s}) = \dot{m}_f \cdot (h_{2f} - h_{1f})$$

Maka :

$$\dot{m}_s = \dot{m}_f \cdot \frac{(h_{2f} - h_{1f})}{(h_{1s} - h_{2s})}$$

Dimana :

$\dot{m}_s$  = Laju aliran *steam* pemanas (kg/s)

$\dot{m}_f$  = Laju aliran air umpan (kg/s).

$h_{1f}$  = Enthalpy air umpan masuk (kJ/kg).

$h_{2f}$  = Enthalpy air umpan keluar(kJ/kg).

$h_{1s}$  = Enthalpy steam masuk (kJ/kg).

$h_{2s}$  = Enthalpy steam keluar (kJ/kg).

5. Menentukan nilai laju perpindahan panas sisi steam.

Setelah mengetahui nilai dari laju aliran steam, dapat menentukan total perpindahan panas steam dengan menggunakan persamaan :

- a. Menentukan nilai Q zona subcooling.

$$Q_{subcooling} = \dot{m}_s \cdot (h_{sat, f} - h_{2s})$$

- b. Menentukan nilai Q zona condensing

$$Q_{condensing} = \dot{m}_s \cdot (h_{sat, g} - h_{sat, f})$$

- c. Menentukan nilai Q zona desuperheating.

$$Q_{desuperheating} = \dot{m}_s \cdot (h_{1s} - h_{sat, g})$$

- d. Menentukan nilai Q total

$$Q_{total} = Q_{subcooling} + Q_{condensing} + Q_{desuperheating}$$

## 2.4 Menentukan Laju Perpindahan Panas Sisi Air Umpan ( $Q_{water}$ )

Sebelum menentukan  $Q_{out}$ , terlebih dahulu untuk menentukan nilai kapasitas panas spesifik air umpan. Dengan diketahuinya nilai tekanan masuk air umpan ( $P_{1f}$ ) dapat menentukan nilai  $C_{pf}$  dengan menggunakan steam tables.

$$Q_{water} = \dot{m}_f \cdot C_{pf} \cdot (T_{2f} - T_{1f})$$

Dimana :

$Q_{water}$  = Laju Perpindahan Panas Sisi Air Umpan (kJ/s)

$\dot{m}_f$  = Laju aliran umpan (kg/s)

$C_{pf}$  = Kapasitas panas spesifik air pada tekanan konstan (kJ/kg. °C)

$h_{1f}$  = Enthalpi air umpan masuk (kJ/kg)

$h_{2f}$  = Enthalpi air umpan keluar (kJ/kg)

## 2.5 Efektivitas Transfer Panas

$$\eta = \frac{Q_{in}}{Q_{out}} \times 100$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi perpindahan panas (%)

$Q_{steam}$  = Laju perpindahan panas steam (kJ/s).

$Q_{water}$  = Laju perpindahan panas air (kJ/s)

## 2.6 Pressure Drop Analysis

$$\Delta P_f = P_{1f} - P_{2f}$$

Dimana:

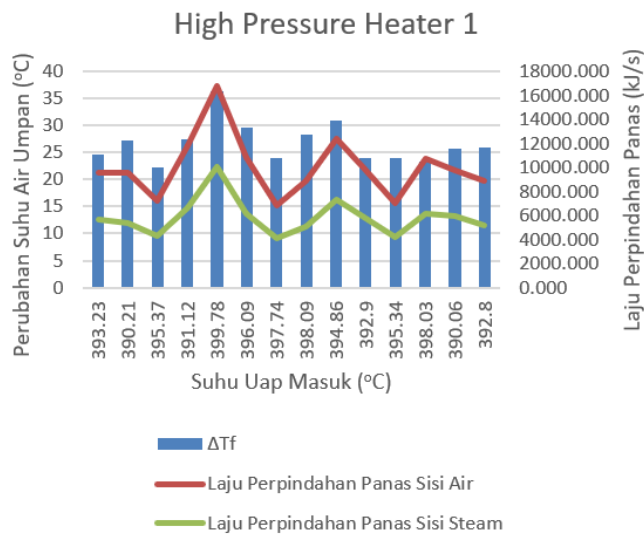
$\Delta P_f$  = Pressure drop actual (MPa)

$P_{1f}$  = Tekanan air umpan masuk (MPa)

$P_{2f}$  = Tekanan air umpan keluar (MPa)

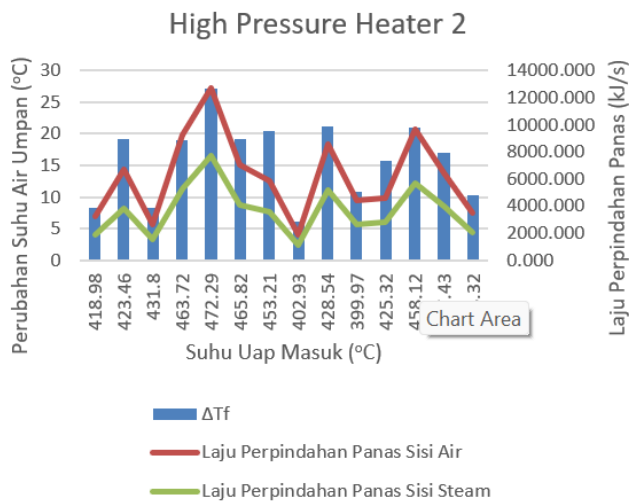
## 3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian menggunakan persamaan perhitungan, maka mendapat hasil grafik sebagai berikut.



Gambar 2. Grafik laju perpindahan panas HPH 1

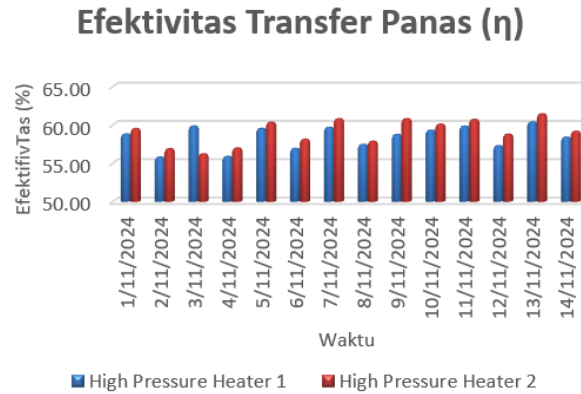
Berdasarkan analisis data operasional high pressure heater selama periode 1-14 November 2024, terdapat beberapa korelasi penting antara temperatur inlet fluida panas (T1s) dengan laju perpindahan panas, serta pressure drop dengan efektivitas transfer panas. Pada temperatur inlet fluida panas, terlihat adanya hubungan positif dengan laju perpindahan panas, dimana T1s tertinggi sebesar 399.78°C menghasilkan laju perpindahan panas tertinggi mencapai 10021.714 kJ/s pada tanggal 5 November. Sebaliknya, saat T1s mencapai nilai terendah 390.06°C, laju perpindahan panas juga relatif rendah yaitu 5915.408 kJ/s pada tanggal 13 November. Sedangkan pada Qwater perbandingan antara T2f dan T1f berpengaruh pada laju perpindahan panas Qwater yang terjadi pada 5 November dengan nilai T2f 191.12 oC dan T1f 154.37 oC dengan laju perpindahan panas Qwater 16825.097 kJ/s.



Gambar 3. Grafik laju perpindahan panas HPH 2

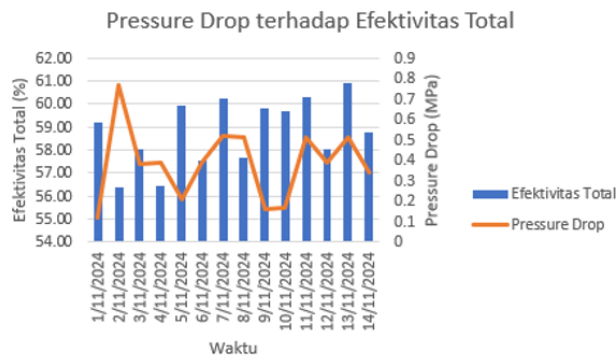
Pada HPH 2, hubungan antara temperatur inlet fluida panas (T1s) dengan laju perpindahan panas, serta pressure drop dengan efektivitas perpindahan panas. Pada analisis T1s terhadap laju perpindahan panas, terlihat korelasi yang cukup signifikan dimana T1s tertinggi mencapai 472.29°C menghasilkan laju perpindahan panas masuk sebesar 7691.07 kJ/s pada tanggal 5 November. ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur inlet fluida panas cenderung meningkatkan laju perpindahan panas. Namun, korelasi ini tidak sepenuhnya linear, seperti terlihat pada tanggal 4 November dimana T1s 463.72°C menghasilkan laju perpindahan panas 5246.41 kJ/s. Laju

perpindahan panas sisi water dipengaruhi perbandingan antara suhu air umpan keluar dan masuk (T2f dan T1f). Seperti yang terjadi pada 5 November, nilai T2f 218.21 oC dan nilai T1f oC dengan nilai laju perpindahan panas 12744.480 kJ/s.



Gambar 4. Grafik efektivitas transfer panas

Penumpukan kerak atau kotoran pada permukaan penukar panas (heat exchanger) dapat mengurangi efisiensi transfer panas. Hal ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kualitas air yang digunakan atau adanya endapan dari zat yang terkandung dalam fluida. Pada gambar grafik efektivitas transfer panas HPH 1 dan 2, kedua high pressure heater menunjukkan pola efektivitas yang relative stabil dengan fluktuasi dalam rentang 55-62%. Kedua high pressure heater memiliki tren performa yang sama dan bergerak secara parallel sepanjang pengukuran, dikarenakan kedua HPH dipasang secara parallel dimana air umpan yang sudah dipanaskan di HPH 1 akan dialirkan ke HPH 2 untuk dipanaskan kembali dengan suhu uap ekstraksi yang lebih tinggi. Pada HPH 1 mencapai efektivitas tertinggi pada 13 November dengan nilai efektivitas 60.40%. Sementara itu, pada HPH 2 menunjukkan performa yang sedikit lebih tinggi di beberapa titik waktu, efektivitas tertinggi pada HPH 2 mencapai 61.45%. Analisa tren menunjukkan kedua HPH memiliki sedikit penurunan ditengah periode perhitungan (sekitar 4-7 November 2024) sebelum kembali meningkat menjelang akhir periode pengukuran.



Gambar 5. Grafik pressure drop terhadap efektivitas total

Pressure drop yang tinggi mengindikasikan hambatan aliran, seperti adanya endapan atau fouling pada pipa, sehingga efektivitas transfer panas total menurun. Dapat dilihat pada grafik hasil perhitungan diatas penurunan tekanan tertinggi menghasilkan efektivitas total yang rendah terjadi pada 2 November 2024 dengan penurunan tekanan 0.77 MPa dengan nilai efektivitas total 56.37%. Sedangkan penurunan tekanan terendah seperti yang terjadi pada 1 November 2024 dengan nilai 0.12 MPa efektivitas total meningkat dengan nilai 59.18 %. Perubahan tekanan yang signifikan sangat berpengaruh terhadap efektivitas transfer panas total high pressure heater, sehingga pentingnya melakukan pemantauan dan pemeliharaan terhadap sistem high pressure heater seperti preventive

maintenance guna menjaga stabilitas dari efektivitas transfer panas total dan mengurangi pressure drop.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan laju perpindahan panas dan efektivitas perpindahan panas pada HPH unit 3 PLTU PT. Bintan Alumina Indonesia. Menggunakan Analisa perpindahan panas yang dilakukan, maka dapat penulis mendapatkan Kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis perhitungan yang ada pada bab 4 Perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) berfluktuasi 20-35°C, dengan suhu lebih tinggi menghasilkan perbedaan suhu lebih besar. Laju perpindahan panas sisi air (Laju Perpindahan Panas Sisi Air) berada di kisaran 10.000-16.000 kW, dengan nilai tertinggi pada suhu uap masuk yang lebih tinggi. Laju perpindahan panas sisi uap juga meningkat seiring kenaikan suhu uap masuk.
2. Berdasarkan analisis *pressure drop* air umpan, penurunan tekanan air umpan tertinggi nilai *pressure drop* 0.77 MPa sedangkan nilai terendah 0.12 MPa. Dapat disimpulkan juga penurunan tekanan yang terjadi pada air umpan berpengaruh terhadap efektivitas transfer panas seperti yang terjadi pada *pressure drop* terendah dengan nilai penurunan tekanan 0.77 MPa menghasilkan nilai efektivitas total terendah dengan nilai 56.37%.
3. Berdasarkan analisis ini, dapat disimpulkan bahwa untuk mencapai performa optimal, sistem sebaiknya dioperasikan dengan mempertahankan T1s pada rentang 395-400°C dan menjaga pressure drop pada kisaran moderat 0.3-0.5 MPa. Pemantauan berkelanjutan terhadap interaksi kedua parameter ini sangat penting untuk memastikan efisiensi operasional. Selain itu, tindakan maintenance preventif perlu dilakukan ketika pressure drop mulai menunjukkan tren kenaikan untuk mencegah penurunan performa sistem secara keseluruhan.

#### References

- [1] A. Aqila, N. Safitri, P. Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro, and P. Negeri Lhokseumawe, "ANALISIS KERJA HIGH PRESSURE HEATER TIPE SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER DI PLTU PT. PLN NUSANTARA POWER UPK NAGAN RAYA 2 X 110 MW," vol. 7, no. 2, 2023.
- [2] dan Amru Fathony Lubis and J. Teknik Mesin STT-PLN Menara PLN Jl Lingkar Luar Barat Duri Kosambi, "PENGARUH FOULING TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS PADA SUPERHEATER BOILER CFB PLTU SEBALANG," *Jurnal Power Plant*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [3] M. Saputra and A. F. Syah, "Analisis Perpindahan Panas Pada Heat Exchanger Di Furnace Boiler Circulating Fluidizing Bed Unit 1 Pltu Nagan Raya 2 X 110 Mw," vol. 4, no. 1, 2018.
- [4] A. A. Hariyatma, A. N. I. Wardana, and E. Wijayanti, "Identifikasi Sistem Temperatur Air Umpan Deaerator pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap," 2015.
- [5] A. Safentry and F. Habib, "STUDI TEKNOLOGI MEMBRAN MIKRO UNTUK PEMURNIAN AIR UMPAN BOILER DIPUSAT PENGUMPUL PRODUKSI (PPP) PERTAMINA EP ASSET 2 FIELD PRABUMULIH," 2019.
- [6] A. Aqila, N. Safitri, P. Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro, and P. Negeri Lhokseumawe, "ANALISIS KERJA HIGH PRESSURE HEATER TIPE SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER DI PLTU PT. PLN NUSANTARA POWER UPK NAGAN RAYA 2 X 110 MW," vol. 7, no. 2, 2023.

- [7] A. Dwi Ifvournamasari, S. Najla, M. Sukmawanta, Y. Maryanty, and E. Yulianto, "PERHITUNGAN EFISIENSI HIGH PRESSURE HEATER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PT POMI UNIT 3," vol. 2022, no. 2, pp. 308–314, [Online]. Available: <http://distilat.polinema.ac.id>
- [8] R. Junsupratyo, F. P. Sappu, and A. M. Lakat, "ANALISIS EFISIENSI EFEKTIF HIGH PRESSURE HEATER (HPH) TIPE VERTIKAL U SHAPE DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP AMURANG UNIT 1."
- [9] K. A. As Syukri, D. Perdana, Moch. I. M. Sulthon, and S. H. Sumarlan, "Analisis Pindah Panas Konduksi dan Konveksi pada Heat Exchanger Evaporator Efek Ganda pada Pengolahan Nira Tebu," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, vol. 11, no. 2, pp. 159–171, Sep. 2023, doi: 10.29303/jrpb.v11i2.221.
- [10] S. D. Nugroho, "Evaluasi Distributed Control System pada PLTU dengan Failure Mode, Effect and Criticaly Analysis (FMECA)," *KILAT*, vol. 11, no. 1, pp. 88–102, Apr. 2022, doi: 10.33322/kilat.v11i1.1531.