

## PERHITUNGAN EFISIENSI *HIGH PRESSURE HEATER* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PT POMI UNIT 3

Adinda Dwi Iffvournamasari<sup>1</sup>, Shafara Najla Marinda Sukmawanta<sup>2</sup>, Yanty Maryanty<sup>1</sup>, Erwan Yulianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

<sup>2</sup> PT Paiton Operation & Maintenance Indonesia, Bhinor, Kec. Paiton, Kabupaten Probolinggo 67291, Indonesia

adindasari143@gmail.com, [yantymaryanty@polinema.ac.id]

### ABSTRAK

PT Paiton Operation & Maintenance Indonesia (PT POMI) Probolinggo merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan bahan bakar batu bara. Perusahaan ini merupakan penyuplai listrik untuk wilayah Jawa dan Bali. Pada industri pembangkit listrik, *High Pressure Heater* (HPH) merupakan alat penukar kalor yang berfungsi sebagai pemanas air umpan sebelum masuk ke *boiler*. Kerusakan pada HPH dapat mengurangi umur, efektifitas dan performa dari HPH serta suhu air pengisi boiler pada *inlet economizer* akan turun, sehingga butuh pemanasan yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan konsumsi bahan bakar pada *boiler* akan naik sehingga menyebabkan penurunan pada efisiensi siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan peningkatan biaya produksi. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menghitung efisiensi HPH pada PT POMI Unit 3 sehingga dapat dilakukan perawatan (*maintenance*) yang baik secara berkala untuk menghemat biaya operasional harian pada alat tersebut. Perhitungan efisiensi HPH pada PT POMI Unit 3 dilakukan dengan metode perhitungan neraca massa dan neraca panas. Variabel yang digunakan yaitu perbedaan suhu masuk pada Unit HP FWH 8A yaitu sebesar 256,9°C dan pada Unit HP FWH 8B yaitu sebesar 256,1°C. Dari hasil perhitungan didapatkan efisiensi pada Unit HP FWH 8A yaitu sebesar 94,76% sedangkan pada Unit HP FWH 8B yaitu sebesar 94,33%. Hasil efisiensi didapatkan dari perbandingan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  di mana semakin besar suhu maka semakin besar perbandingan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  sehingga semakin besar pula efisiensi pada alat *heater* begitu pula sebaliknya semakin kecil suhu maka semakin kecil perbandingan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  sehingga semakin kecil efisiensi pada alat *heater*.

**Kata kunci:** Efisiensi, Heater, Neraca Massa, Neraca Panas

### ABSTRACT

PT Paiton Operation & Maintenance Indonesia (PT POMI) Probolinggo is a steam power plant that uses coal as fuel. This company is a supplier of electricity for the Java and Bali regions. In the power generation industry, *High Pressure Heater* (HPH) is a heat exchanger that functions as a feed water heater before it enters the boiler. Damage to the HPH can reduce the life, effectiveness and performance of the HPH and the temperature of the boiler feed water at the economizer inlet will decrease, thus requiring greater heating. This results in an increase in fuel consumption in the boiler, causing a decrease in the efficiency of the Steam Power Plant (PLTU) cycle and an increase in production costs. Therefore, this study aims to calculate the efficiency of HPH at PT POMI Unit 3 so that good maintenance can be carried out on a regular basis to save daily operational costs on the equipment. The calculation of HPH efficiency at PT POMI Unit 3 is carried out using the mass balance and heat balance calculation methods. The variables used are the difference in the inlet temperature at the HP FWH 8A Unit, which is 256,9°C and at the HP FWH 8B Unit, which is 256,1°C. From the calculation results, the efficiency in the HP FWH 8A Unit is 94,76% while the HP FWH 8B Unit is 94,33%. Efficiency results are obtained from the comparison of  $Q_{steam}$  and  $Q_{water}$  where the greater the temperature, the greater the ratio of  $Q_{steam}$  and

*Qwater so that the greater the efficiency of the heater and vice versa, the smaller the temperature, the smaller the ratio of Qsteam and Qwater so that the efficiency of the heater is smaller.*

**Keywords:** Efficiency, Heater, Mass Balance, Heat Balance

## 1. PENDAHULUAN

PT Paiton Operation and Maintenance Indonesia (PT POMI) unit 3 merupakan pembangkit listrik yang menggunakan turbo generator berbahan bakar batubara sebagai penghasil uap panas (*steam*) dengan kapasitas 1 x 815 NMW. Prinsip kerja PLTU menggunakan sistem tertutup (*Loop Tertutup*) yaitu menggunakan air hasil proses pengondensasian di *condenser* dan penambahan air dari *water treatment* sebagai *make up* dipompa oleh *condensate extraction pump* ke *polisher* untuk diproses agar gas – gas yang terkandung pada air pengisi *boiler* terutama gas O<sub>2</sub>, dan air pengendapan hilang, setelah itu dipompa ke *Feed Water Heater (FWH)* untuk dipanaskan dan kemudian dialirkan ke daerator agar gas - gas O<sub>2</sub> hilang kemudian dipompa lagi oleh *boiler feed pumps* menuju ke *FWH* yang selanjutnya akan diteruskan di *Economizer* untuk dinaikan temperaturnya dan selanjutnya menuju ke steam drum untuk dipisahkan antara uap dan air, kemudian air dipompa oleh *boiler circulating water pump* menuju *boiler* untuk dipanaskan lagi melalui *water wall*, disini terjadi perubahan fase fluida dari air menjadi uap, kemudian masuk lagi ke *steam drum*. setelah itu dari *steam drum (saturated steam)* akan dialirkan ke *low temperature superheated steam (First Super Heater), Secondary Super Heater* dan kemudian ke *final Super Heater*, sehingga keluaran uap akan berubah menjadi *superheated steam* yang mempunyai tekanan dan suhu tinggi yang akan digunakan untuk memutar *HP turbine* sehingga tekanan dan temperaturnya akan turun sehingga *superheated steam* perlu pemanasan ulang yang terjadi di *reheater*, dari *reheater* ini *superheated Steam* akan dikembalikan untuk Memutar IP atau RH dan LP Turbin. Di dalam turbin ini akan terjadi konversi energi *thermal* dari *steam* menjadi energi mekanis yang menyebabkan rotor turbin berputar. Perputaran Rotor ini yang akan menggerakkan generator yang dihubungkan dengan *coupling* dan akhirnya oleh generator energi mekanis akan diubah menjadi energi listrik. Uap bekas dari turbin selanjutnya dikondensasikan dari *condenser* sehingga menjadi air kembali dan volume air ditambah melalui *make up water* kemudian dipompa oleh *condensate extraction pump* masuk ke *low pressure feedwater heater, deaerator*. Selanjutnya, dipompa oleh *boiler feedwater pump* menuju *high pressure feedwater heater, economizer* akhirnya dipanaskan menjadi uap lagi menuju *boiler*.

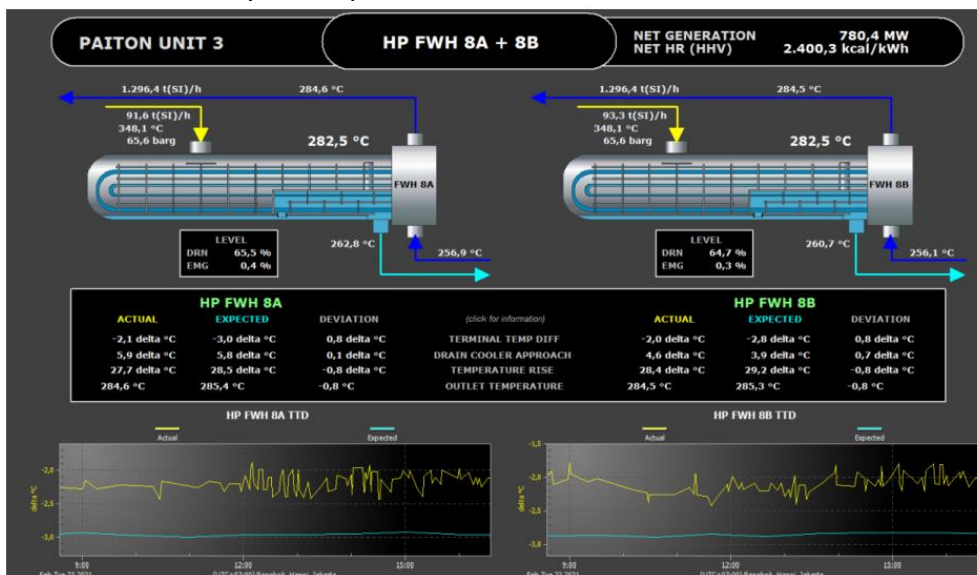
Pada industri pembangkit listrik, HPH banyak digunakan sebagai pemanas air umpan sebelum masuk ke *boiler*. Media pemanas yang digunakan adalah uap panas hasil ekstraksi dari turbin. Sebagai salah satu komponen di PLTU, perawatan (*maintenance*) yang baik dari HPH akan menghemat biaya operasional harian [1]. Pada dunia industri seperti industri perminyakan, pabrik kimia, industri pupuk, PLTU dan juga di Pusdiklat Migas telah banyak dilakukan analisis efisiensi efektif pada alat penukar kalor atau *Heat Exchanger (HE)*. HPH merupakan contoh dari alat penukar panas yang terdapat pada industri pembangkit listrik. Berikut beberapa penelitian yang telah melakukan analisis tentang perhitungan efisiensi efektif pada alat penukar kalor atau *Heat Exchanger (HE)*. Pertama adalah penelitian yang dilakukan oleh Sugiyanto (2015) di Pusdiklat Migas Cepu Jawa Tengah. Penelitian tersebut

menggunakan metode analisis perpindahan panas *Shell and Tube Heat Exchanger* dan menciptakan aplikasi perhitungan alat penukar kalor dengan *Microsoft Visual basic 6.0*. Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan pada *heat exchanger* tipe horizontal *shell and tube* di Pusdiklat Migas Cepu Jawa Tengah diperoleh efisiensi efektif maksimal sebesar 63,48 % [2]. Kedua, terdapat penelitian yang ditulis oleh Handayani, dkk (2020) dimana pada penelitian yang dilakukan di PLTU Pangkalan Susu *Operation and Maintenance* tersebut diketahui hasil analisis efisiensi HPH sebesar 93,53%. Penelitian tersebut menggunakan metode analisis perpindahan panas *Shell and Tube* pada HPH [3].

Berdasarkan latar belakang dan beberapa penelitian di atas, menganalisis efisiensi HPH telah dilakukan oleh beberapa perusahaan PLTU contohnya di Pusdiklat Migas Cepu Jawa Tengah dan di PLTU Pangkalan Susu *Operation and Maintenance* menggunakan metode analisis perpindahan panas *Shell and Tube* pada alat penukar panas. Perhitungan efisiensi HPH pada PLTU POMI Unit 3 dilakukan dengan metode perhitungan neraca massa dan neraca panas. Perhitungan efisiensi pada alat penukar panas HPH berdasarkan data operasional di PT PLTU POMI Unit 3. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi HPH pada PLTU POMI Unit 3. Diharapkan, setelah mengetahui efisiensi pada HPH, perawatan (*maintenance*) dapat dilakukan secara rutin sehingga HPH dapat berfungsi dengan baik.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk perhitungan efisiensi HPH dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan neraca massa dan neraca panas. Data didapatkan dari data operasional HPH pada PT PLTU POMI Unit 3 yaitu dapat dilihat dari Gambar 1:

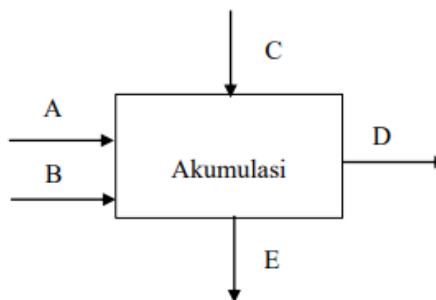


Gambar 1. Data operasional HPH pada PT PLTU POMI Unit 3 (Sumber: PT PLTU POMI Unit 3)

Berdasarkan Gambar 1, diketahui data operasional HPH pada PT PLTU POMI unit 3. Pada HP FWH 8A, suhu *water in* sebesar 256,9°C dan suhu *water out* sebesar 284,6°C dengan laju alir massa *water out* sebesar 1296,4 ton/jam. Laju alir *Steam* masuk sebesar 91,6 ton/jam dengan tekanan 65,6 barg pada suhu 348,1°C dan suhu *condensate* keluar sebesar 262,8°C. Sedangkan pada HP FWH 8B, suhu *water in* sebesar 256,1°C dan suhu *water out* sebesar 284,5°C dengan laju alir massa *water out* sebesar 1296,4 ton/jam. Laju alir *steam* masuk

sebesar 93,3 ton/jam dengan tekanan 65,6 barg pada suhu 348,1°C dan suhu *condensate* keluar sebesar 260,7°C.

### 2.1. Neraca Massa



**Gambar 2.** Diagram blok neraca massa

Persamaan neraca massa dapat dirumuskan pada Persamaan 1 [4] :

Massa masuk = massa keluar + massa yang terakumulasi

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E + M_{\text{akumulasi}} \quad (1)$$

Bila tidak ada massa yang terakumulasi, maka menjadi Persamaan 2:

Massa masuk = massa yang keluar

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E \quad (2)$$

Keterangan :

$M_A$  : massa masuk A (kg)

$M_B$  : massa masuk B (kg)

$M_C$  : massa masuk C (kg)

$M_D$  : massa keluar D (kg)

$M_E$  : massa keluar E (kg)

$M_{\text{akumulasi}}$  : massa akumulasi (kg)

### 2.2. Neraca Panas

Persamaan neraca panas dapat dirumuskan pada Persamaan 3 [4] :

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Energi} \\ \text{masuk} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{energi yang} \\ \text{timbul} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{akumulasi} \\ \text{energi} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{energi} \\ \text{keluar} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{energi yang} \\ \text{dipakai} \end{array} \right]$$

[ke sistem]    [dalam sistem]    [dalam sistem]    [dari sistem]    [dalam sistem]

Maka :

$$E_1 + Q = \Delta E + E_2 + W \quad (3)$$

Keterangan :

$E_1$  : Energi masuk sistem (kJ/jam)

$Q$  : Enthalpy (kJ/jam)

$\Delta E$  : Energi akumulasi (kJ/jam)

$E_2$  : Energi keluar sistem (kJ/jam)

$W$  : Energi yang dipakai sistem (kJ/jam)

### 2.3. Perhitungan $Q_{\text{steam}}$

$$Q_{1\text{steam}} = m_{\text{steam}} \times c_p \times \Delta T \quad (4)$$

$$Q_{2\text{steam}} = m_{\text{steam}} \times L \quad (5)$$

$$Q_{3\text{steam}} = m_{\text{steam}} \times c_p \times \Delta T \quad (6)$$

$$Q_{\text{steam}} = Q_{1\text{steam}} + Q_{2\text{steam}} + Q_{3\text{steam}} \quad (7)$$

Keterangan :

$Q_{1steam}$	: Enthalpy steam 1 (kJ/jam)
$Q_{2steam}$	: Enthalpy steam 2 (kJ/jam)
$Q_{3steam}$	: Enthalpy steam 3 (kJ/jam)
$Q_{steam}$	: Enthalpy steam akumulasi (kJ/jam)
cp	: kapasitas panas (kJ/kmol)
L	: Kalor laten (kJ/kg)
$\Delta T$	: Selisih suhu (K)

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

$$Q_{water} = m_{water} \times cp \times \Delta T \quad (8)$$

Keterangan :

$Q_{water}$	: Enthalpy water (kJ/jam)
cp	: kapasitas panas (kJ/kmol)
$\Delta T$	: Selisih suhu (K)

#### 2.5. Perhitungan Efisiensi Heater

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{steam}}{Q_{water}} \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan :

$Q_{water}$	: Enthalpy water (kJ/jam)
$Q_{steam}$	: Enthalpy steam (kJ/jam)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil

Hasil perhitungan efisiensi HPH dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 yaitu:

**Tabel 1.** Hasil Perhitungan *Heat Exchanger* Unit HP FWH 8A

No	Parameter 1	Hasil perhitungan
1	Mass Balance Steam	91.600 kg/jam
2	Titik Didih Air	281,814 °C
3	$Q_{1steam}$	38.284.307,37 kJ/jam
4	$\lambda$ pada T = 281,81°C	1528,611 kJ/kg
5	$Q_{2steam}$	140.020.800,4 kJ/jam
6	$Q_{3steam}$	9.191.746,202 kJ/jam
7	$Q_{steam}$	177,997x10 <sup>6</sup> kJ/jam
8	Mass Balance Water	1.296.400 kg/jam
9	Suhu rata-rata	270,75 °C
10	$Q_{water}$	188,165x10 <sup>6</sup> kJ/jam
11	Efisiensi	94,76 %

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan *Heat Exchanger* Unit HP FWH 8B

No	Parameter 1	Hasil perhitungan
1	Mass Balance Steam	93.300 kg/jam
2	Titik Didih Air	281,814 °C
3	$Q_{1steam}$	38.994.823,99 kJ/jam
4	$\lambda$ pada T = 281,81°C	1.528,611 kJ/kg
5	$Q_{2steam}$	142.619.439,7 kJ/jam
6	$Q_{3steam}$	10.346.486,13 kJ/jam
7	$Q_{steam}$	181,614x10 <sup>6</sup> kJ/jam

8	Mass Balance Water	1.296.400 kg/jam
9	Suhu rata-rata	270,3 °C
10	$Q_{water}$	$192,521 \times 10^6$ kJ/jam
11	Efisiensi	94,33 %

### 3.2. Pembahasan

Pada penelitian ini akan membahas tentang efisiensi HPH pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT POMI Unit 3. Alat penukar kalor atau *Heat Exchanger (HE)* adalah suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan satu fluida ke fluida lainnya. Fluida yang digunakan pada alat penukar kalor atau *Heat Exchanger (HE)* adalah air biasa (*cooling water*) sebagai pendingin dan uap panas (*steam*) sebagai pemanas (*superheated steam*) [1]. Perpindahan kalor adalah ilmu yang mempelajari berpindahnya suatu energi (berupa kalor) dari suatu sistem ke sistem lain karena adanya perbedaan suhu. Pada sistem yang memiliki suhu sama tidak akan terjadi perpindahan kalor. Karena adanya suhu yang berbeda menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor. Sama dengan perbedaan tegangan sebagai penggerak arus listrik. Proses perpindahan kalor terjadi pada sistem yang memiliki suhu lebih tinggi ke temperatur lebih rendah. Keseimbangan pada masing – masing sistem terjadi ketika sistem memiliki suhu yang sama [5]. *Shell and Tube Heat Exchanger* merupakan tipe dari alat penukar kalor yang banyak dipakai dalam industri pembangkit listrik. Pada industri pembangkit listrik, HPH banyak digunakan sebagai pemanas air umpan sebelum masuk ke *boiler* dan menggunakan uap panas hasil ekstraksi dari turbin sebagai media pemanas. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah tube (*tube bundle*) di bagian dalam, di mana suhu fluida di dalam *tube bundle* berbeda dengan di luar *tube* (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara aliran fluida di dalam *tube* dan di luar *tube*. Sedangkan daerah yang berhubungan dengan bagian dalam *tube* disebut dengan *tube side* dan yang di luar dari *tube* disebut *shell side*. Dengan adanya HPH dapat mengurangi beban kerja *boiler* karena sebelum masuk *boiler*, *feedwater* dipanaskan terlebih dahulu di HPH sehingga temperatur *feedwater* sebelum masuk *boiler* sudah tinggi dan kalor yang diperlukan *boiler* untuk mengubah air menjadi uap akan lebih sedikit. Karena begitu pentingnya peralatan ini, maka perlu diketahui kerusakan – kerusakan yang terjadi pada peralatan ini. Kerusakan pada HPH dapat mengurangi umur, efektifitas dan performa dari HPH, serta suhu air pengisi *boiler* pada *inlet economizer* akan turun, sehingga butuh pemanasan yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan naiknya konsumsi bahan bakar pada *boiler* sehingga menyebabkan penurunan efisiensi siklus PLTU dan peningkatan biaya produksi. Oleh sebab itu sebagai salah satu komponen di PLTU, perawatan (*maintenance*) yang baik dari HPH akan menghemat biaya operasional harian dengan menghitung efisiensi pada alat tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan efisiensi pada Unit HP FWH 8A yaitu sebesar 94,76 % sedangkan pada Unit HP FWH 8B yaitu sebesar 94,33 %. Efisiensi pada kedua unit dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang masuk pada Unit HP FWH 8A sebesar 256,9°C dan pada Unit HP FWH 8B yaitu sebesar 256,1°C. Hasil efisiensi didapatkan dari perbandingan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  di mana pada Unit HP FWH 8A  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  adalah  $177,997 \times 10^6$  kJ/jam dan  $188,165 \times 10^6$  kJ/jam sedangkan pada Unit HP FWH 8B  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  adalah  $181,614 \times 10^6$  kJ/jam dan  $192,521 \times 10^6$  kJ/jam. Hasil efisiensi kedua unit tidak

jauh berbeda karena suhu air yang masuk juga tidak jauh berbeda. 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 efisiensi alat HPH yang tinggi menunjukkan bahwa performa alat tersebut maksimal. Hasil ini sesuai dengan literatur bahwa perlu mengetahui efisiensi pada HPH sehingga dapat melakukan perawatan (*maintenance*) secara rutin agar HPH dapat berfungsi dengan baik [6].

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan hasil pengolahan data operasional di PLTU POMI Unit 3 yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Efisiensi HPH di PLTU POMI Unit 3 memiliki nilai 94,76% untuk Unit HP FWH 8A dan 94,33 % untuk Unit HP FWH 8B. Efisiensi pada kedua unit dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang masuk pada Unit HP FWH 8A sebesar 256,9°C dan pada Unit HP FWH 8B yaitu sebesar 256,1°C. Hasil efisiensi didapatkan dari perbandingan  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  di mana pada Unit HP FWH 8A  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  adalah  $177,997 \times 10^6$  kJ/jam dan  $188,165 \times 10^6$  kJ/jam sedangkan pada Unit HP FWH 8B  $Q_{steam}$  dan  $Q_{water}$  adalah  $181,614 \times 10^6$  kJ/jam dan  $192,521 \times 10^6$  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*. Berdasarkan hasil perhitungan dan latar belakang yang ada maka perlu adanya perawatan (*maintenance*) secara rutin dari HPH sehingga HPH dapat berfungsi dengan baik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada PT POMI yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan Praktik Kerja Industri dan juga sebagai penyedia data riset sehingga artikel ini dapat disusun dengan baik.

#### REFERENSI

- [1] A. M. A. L. Reind Junsupratyo, Frans P. Sappu, "Analisis Efisiensi Efektif High Pressure Heater (Hph) Tipe Vertikal U Shape Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Amurang Unit 1," vol. 11, no. June, hal. 2017, 2017.
- [2] Sugiyanto, "Analisis Ala Penukar Kalor Tipe Shell and Tube Dan Aplikasi Perhitungan Dengan Microsoft Visual Basic 6.0," hal. 19, 2015.
- [3] L. Handayani, L. Tobing, dan J. Sutrisno, "Analisis Efektivitas High Pressure Heater Unit 1 PLTU Pangkalan Susu Operation and Maintenance," vol. 2, no. 2, 2020.
- [4] A. E. Akhir, "Perhitungan neraca massa dan neraca panas pada pra-rancangan pabrik glusitol dengan bahan baku d-glukosa kapasitas 90.000 ton/tahun," *Fak. Tek. Univ. Negeri Semarang, semarang. (skripsi).*, no. 5213415013, 2019.
- [5] Suger dkk., *Analisa perpindahan kalor pada Heat exchanger*, vol. 2, no. 1. 2013.
- [6] Khairunnisa, E. Naryono, M. Ismail, , "Evaluasi Efektivitas Alat Heat Exchanger 11E-25 Pada Kilang Fuel Oil Complex (Foc) I Di Pt Pertamina Ru-iv Cilacap," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 288–296, 2021, doi: 10.33795/distilat.v7i2.231.