



Analisa Efisiensi PLTU Paiton Ketika *High Pressure Heater* (HPH 7) *Inservice* dan *Outservice*

Sigit Untoro¹, Nova Risdiyanto Ismail^{1*}, Akhmad Farid¹, Purbo Suwandono¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Widyagama Malang
Jl. Taman Borobudur Indah 3 Malang 65128 Jawa Timur. Phone (0341) 411291,

*Email: nova@widyagama.ac.id.

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 07/03/2022
Naskah Direvisi 20/06/2022
Naskah Disetujui 27/06/2022
Naskah Online 30/06/2022

ABSTRAK

National electricity needs are always increasing, for that the efficiency of power plants needs to be maintained and expected to be improved. To maintain the efficiency of the power plant, it is necessary to feed water system as a provider of feed water before entering the boiler in good condition and one of the equipment is the High Pressure Heater (HPH). In Paiton Power Plant there are HPH numbers 5,6 and 7. This research aims to compare the efficiency of power plants and the losses caused when PLTU operates in (HPH) 7 inservice and outservice conditions. The research method used is a simulation in the simulator room of PLTU PT. PJB UP Paiton 1 & 2. From the data obtained then done calculations. Research produces the efficiency value of PLTU when in HPH 7 inservice condition is 33.40% and when outservice is 29.20%. The need for coal to increase the temperature lost due to HPH 7 outservice amounted to 11.11 Tons / hour, so that the losses caused by the increase in coal flow amounted to Rp 1,204.896.000 per year.

Keywords: efficiency, inservice, loss, outservice, PLTU

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik nasional selalu meningkat [1], sehingga diperlukan perencanaan infrastruktur ketenagalistrikan mulai tahun 2021 hingga tahun 2030 [1][2]. Selain itu infrastruktur berupa pembangkit listrik yang sudah tersedia perlu di optimalkan [3].

Dari berbagai jenis pembangkit, pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) terus di kembangkan, karena ketersediaan bahan bakar di Indonesia dan di tinjau dari sisi ekonomisnya [4].

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar utama batubara yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap (*steam*) yang dihasilkan dari pembakaran batubara di dalam *boiler*. Uap panas bertekanan tersebut berasal dari hasil perubahan fase air yang dipanaskan oleh batubara di dalam *boiler* [5]. Efisiensi sebuah pembangkit harus dijaga agar pembangkit tersebut tetap bekerja dengan maksimal dan efektif beroperasi. Efisiensi akan menyatakan hubungan antara input dan *output*. Semakin besar *losses* akan semakin kecil efisiensi dan pada akhirnya biaya produksi energi listrik per kWh akan semakin tinggi [6][7].

Losses yang besar dapat terjadi bila *temperature fluida* kerja sebelum masuk ke *boiler* terlalu rendah, sehingga kalor yang dibutuhkan oleh *boiler* meningkat. *Feedwater*

system merupakan salah satu sistem di PLTU yang bekerja menyediakan air umpan sebelum masuk ke *boiler* salah satu peralatannya adalah *High Pressure Heater*. Pada PLTU terdapat 3 *High Pressure Heater* yaitu HPH 5, HPH 6 dan HPH 7 yang berfungsi menaikkan temperatur air umpan dikisaran 30-40 °C [8].

High Pressure Heater (HPH) merupakan *heat exchanger* berupa pemanas berbentuk *shell and tube* di mana dua jenis *fluida* yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, dengan media pemanas uap ekstraksi dari turbin [9]. HPH 7 di PLTU paiton adalah pemanas terakhir *feedwater* sebelum masuk ke dalam ruang *boiler* dan ketika tidak beroperasi, maka akan berpengaruh pada *temperature* dan *enthalpi feedwater*. Masalah yang sering terjadi pada *heat exchanger* berbentuk *shell and tube* di PLTU adalah terjadinya kebocoran *tube-tube*, sehingga perannya sebagai pemindah panas tidak maksimal ketika bekerja dan harus dilakukan *outservice* dalam jangka lama [10][11].

Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan dengan membandingkan efisiensi PLTU dan kerugian yang di akibatkan saat PLTU beroperasi pada kondisi HPH 7 *inservice*/normal operasi dan *outservice*. Penelitian menggunakan simulasi PLTU Paiton 1-2 pada beban 400 MW dan memakai kalor batubara 4500 kCal.

2. METODE PENELITIAN

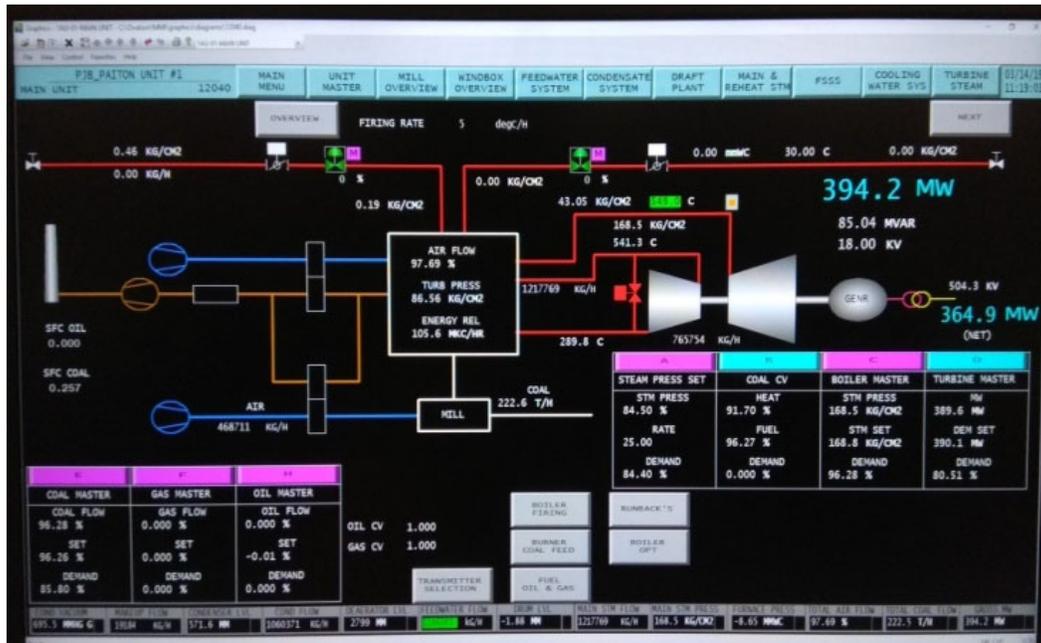
Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah HPH 7 *inservice*/operasi dan *outservice*/mati. Variabel terikat adalah *flow batubara*, *temperature*,

enthalpi, Efisiensi Boiler, Turbine Heat Rate (THR), Gross Plant Heat Rate (GPHR), *Nett plant Heat Rate* (NPHR) dan Efisiensi PLTU. Variabel terkontrol adalah, HPH 7 dengan Load generator 400 MW.

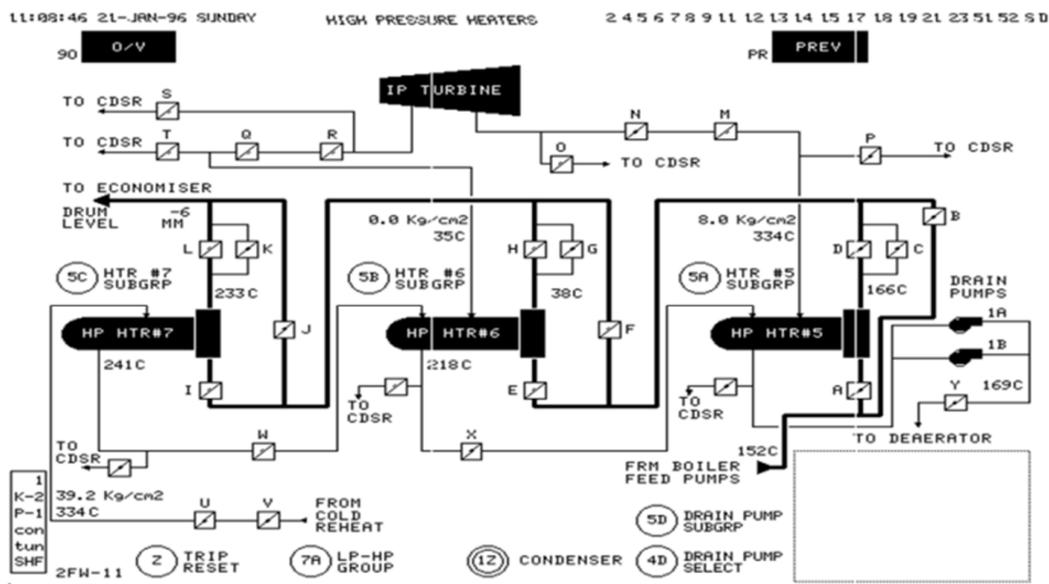
Alat dan Bahan

1. Simulasi PLTU Paiton



Gambar 1. Simulasi [11]

2. HPH (High Pressure Heater)



Gambar 2. HPH (5,6,7) [11]

Analisa Data

Penelitian menggunakan simulasi PLTU Paiton 1-2 pada beban 400 MW dan memakai kalor batubara 4500 kCal. Dengan simulasi tersebut akan didapat data-data dan akan dilakukan perhitungan menggunakan *direct method*. Efisiensi secara *direct method* adalah membandingkan energi yang didapat dari *fluida* kerja (air dan *steam*) dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*. Metodologi ini hanya memerlukan keluaran / *output (steam)* dan panas masuk/*input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi [12][13].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dan perhitungan

Dari ruang simulator PLTU PT. PJB UP Paiton 1 dan 2, didapatkan data ketika pembangkit tersebut beroperasi pada kondisi HPH 7 *Inservice* dan *outservice* sebagai berikut:

Tabel 1. Data penelitian

Parameter	Nama	Kode	Inservice	Outservice	Batasan	Satuan
Beban Gross	Gross	Load G	397.0	395.00	402	MW
Beban Nett	Nett	Load N	372.0	368.00	225	MW
Nilai kalor	High Heat Value	HHV	4500.0	4500.00	4500	kCal
Batubara	Flow	CFbb	197.7	208.77	100-230	Ton/h
	Flow	MSf	1230.7	1073.10	700-1250	Ton/h
Main Steam	Temperature	MSt	534.0	542.00	510-545	degC
	Enthalphy	h1	809.4	815.00	-	kCal/kg
	Tekanan	MSp	168.8	168.20	134-170	Kg/cm2
Hot Reheat	Flow	HRf	1051.4	1019.40	600-1170	Ton/h
	Temperature	HRt	537.8	539.80	510-545	degC
	Enthalphy	h3	844.7	845.90	-	kCal/kg
	Tekanan	HRp	36.2	35.83	26-44.7	Kg/cm2
Cold Reheat	Flow	CRf	1035.2	964.70	600-1170	Ton/h
	Temperature	CRt	334.7	349.00	280-343	degC
	Enthalphy	h4	730.8	739.70	-	kCal/kg
Final Feed Water	Tekanan	CRp	38.8	38.14	26-22.7	Kg/cm2
	Flow	FWf	1246.8	1006.40	0-1500	Ton/h
	Temperature	FWt	254.3	216.50	50-255	degC
	Enthalphy	h2	264.3	222.88	-	kCal/kg
Tekanan	FWp	194.0	193.20	150-200	Kg/cm2	

Perhitungan efisiensi PLTU secara *direct method* menggunakan data dari tabel 1, efisiensi *boiler* adalah sebuah besaran yang menunjukkan hubungan antara *supply* energi masuk ke dalam *boiler* dengan energi keluaran yang dihasilkan oleh *boiler*. Perhitungan menggunakan persamaan dari [14][15][10][16], perhitungan efisiensi *boiler* sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta_{\text{boiler}}) = \frac{[Msf \cdot (h_1 - h_2)] + [HRf \cdot (h_{13} - h_4)]}{CFbb + LHV} \quad (1)$$

Dimana:

- MSf = Flow main steam (Ton/h)
- HRf = Flow hot reheat (Ton/h)
- LHV = Low Heat Value / Kalor batubara (kCal/kg)
- CFbb = Total flow batubara (Ton/h)
- FWf = Final feed water flow (Ton/h)
- h1 = Enthalphy main steam (kCal/kg)
- h2 = Enthalphy feed water (kCal/kg)
- h3 = Enthalphy uap hot reheat (kCal/kg)
- h4 = Enthalphy uap cold reheat (kCal/kg)

Turbine Heat Rate (THR) menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik net yang dihasilkan oleh generator dinyatakan dalam (kCal/kWh).

Dari persamaan pada [10][11] [16], perhitungan THR sebagai berikut:

$$THR = \frac{(Sf.h1 - Fwf.h2) + (HRf.h3 - CRf.h4)}{Load} \quad (2)$$

dimana:

- THR = Turbine Heat Rate (kCal/kWh)
- MSf = Main Steam Flow (Ton/h)
- Fwf = Final Feed Water Flow (Ton/h)
- HRf = Hot Reheat Flow (Ton/h)
- CRf = Cold Reheat Flow (Ton/h)
- PG/Load = Output Generator netto (MW)

GBHR (*Gross Plant Heat Rate*) adalah perhitungan jumlah kalori yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh listrik dan belum dikurangi pemakaian sendiri (kCal/kWh). Dari persamaan pada [10][11][16], perhitungan GBHR sebagai berikut:

$$GPHR = \frac{THR}{\eta_{\text{boiler}}} \quad (3)$$

NPHR (*Net Plant Heat Rate*) adalah perhitungan jumlah kalori yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh listrik dan sudah dikurangi pemakaian sendiri (kCal/kWh). Dari persamaan pada [10][11][16], perhitungan NPHR sebagai berikut:

$$NPHR = \frac{Load \text{ Gross} \cdot GPHR}{Load \text{ Nett}} \quad (4)$$

Effisiensi PLTU dalam %, Dimana 860,421 kCal sama dengan satu kWh. Dari persamaan pada [10][11][16], perhitungan efisiensi PLTU sebagai berikut:

$$\eta_{PLTU} = \frac{1 \cdot 860.421}{NPHR} \quad (5)$$

Perhitungan kerugian PLTU, dari data berikut didapat nilai kerugian PLTU yang di akibatkan tidak beroperasinya HPH 7 atau *outservice* dengan *load* rata-rata 370 MWh. Dari persamaan pada [10][11][16], perhitungan kerugian PLTU sebagai berikut:

Tabel 2. Data perhitungan kerugian

Cfbb = Flow batubar (kg/h)	208773
Total Produksi kwh per hari	888000
Harga Batubara (Rp/kg)	700
THR in -THR out (kCal/kwh)	24.45

$$K = \left(\frac{P \cdot \Delta THR}{hhv} \right) * (H * h) \quad (6)$$

Dimana:

- K = Kerugian per Hari (Rp)
- P = Produksi kwh per hari
- ΔTHR = THR in – THR out
- H = Harga Batubara per kg
- h = Jumlah hari

Setelah dilakukan perhitungan efisiensi akan didapatkan hasil data sebagai berikut:

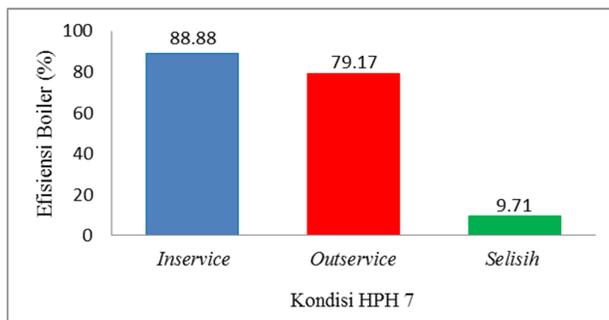
Tabel 3. Perbandingan efisiensi HPH 7

	HPH 7 <i>Inservice</i>	HPH 7 <i>Outservice</i>	Selisih	Satuan
Efisiensi Boiler	88.88	79.17	9.71	%
THR	2145.67	2170.12	24.45	kCal/kwh
GPHR	2414.05	2741.10	327.05	kCal/kwh
NPHR	2576.29	2942.21	365.93	kCal/kwh
Efisiensi PLTU	33.40	29.20	4.20	%
Flow Batubara	197.66	208.77	11.11	Ton/h

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 3 dapat dilihat perbedaan nilai efisiensi saat HPH 7 beroperasi dan tidak beroperasi. HPH 7 memiliki peran yang penting dalam menyiapkan air umpan boiler dengan kualitas terbaik untuk memaksimalkan pembakaran batubara agar lebih efektif dan efisien.

Pengaruh *Inservice* dan *Outservice* HPH 7 terhadap Efisiensi Boiler

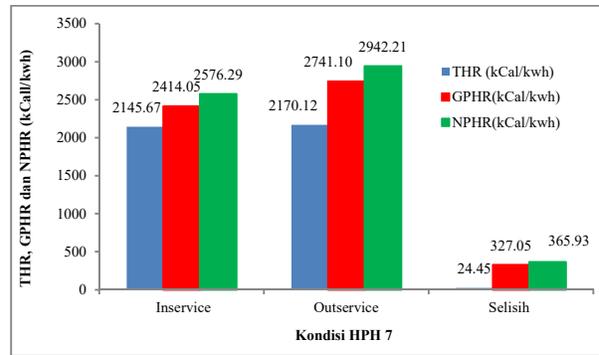
Berdasarkan perhitungan dan analisa pada tabel 3, di peroleh perbandingan efisiensi boiler ketika HPH 7 beroperasi memiliki nilai efisiensi boiler sebesar 88.88% dan ketika tidak beroperasi efisiensi boiler menurun menjadi 79.17 %, sehingga selisih efisiensi boiler sebesar 9.71%. Kondisi demikian dipengaruhi oleh penurunan nilai *temperature feedwater*, *enthalpi feedwater* dan pemakaian batubara yang lebih banyak dibandingkan dengan ketika HPH 7 beroperasi.



Gambar 3. Efisiensi boiler

Pengaruh *Inservice* dan *Outservice* HPH 7 terhadap THR, GPHR dan NPHR

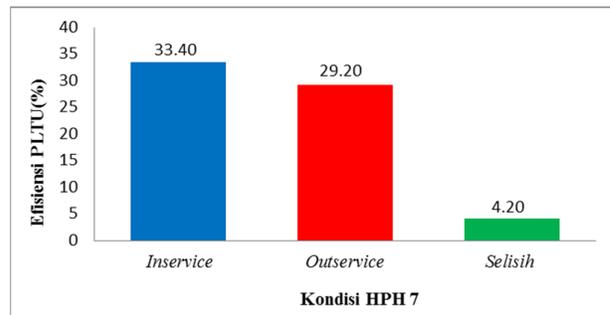
Pada tabel 3, efisiensi Turbin *heat rate* (THR) ketika HPH 7 beroperasi sebesar 2145.67 kCal/kWh, sedangkan ketika tidak beroperasi naik menjadi 2170.12 kCal/kWh, sehingga selisihnya sebesar 24.45 kCal/kWh. Efisiensi *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) ketika HPH 7 beroperasi sebesar 2414.05 kCal/kWh, sedangkan ketika tidak beroperasi menjadi 2741.10 kCal/kWh, sehingga kenaikannya sebesar 327.05 kCal/kWh. Pada efisiensi *Nett Plant Heat Rate* (NPHR) ketika HPH 7 beroperasi sebesar 2576.29 kCal/kWh, sedangkan ketika tidak beroperasi naik menjadi 2942.21 kCal/kWh, sehingga selisihnya menjadi 365.93 kCal/kWh. Kondisi kenaikan dipengaruhi oleh menurunnya nilai *temperature feedwater*, *enthalpi feedwater* dan pemakaian batubara yang lebih banyak dibandingkan dengan ketika HPH 7 beroperasi.



Gambar 4. THR, GPHR dan NPHR

Pengaruh *Inservice* dan *Outservice* HPH 7 terhadap Efisiensi PLTU

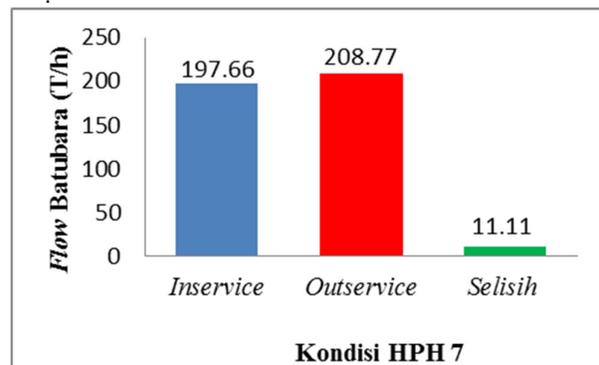
Pada tabel 3, perbandingan efisiensi PLTU ketika HPH 7 beroperasi sebesar 33.40 %. sedangkan dalam kondisi HPH 7 tidak beroperasi menurun menjadi 29.20 %. Penurunan efisiensi sebesar 4.20 %. Penurunan nilai efisiensi PLTU ini dipengaruhi oleh penurunan nilai *temperature feedwater* dan pemakaian jumlah batubara yang lebih banyak dibandingkan dengan ketika HPH 7 beroperasi.



Gambar 5. Efisiensi PLTU

Pengaruh *Inservice* dan *Outservice* HPH 7 terhadap Flow Batubara.

Dari data yang di peroleh dapat di buat gambar 4, sebagai berikut:



Gambar 6. Flow batubara

Berdasarkan gambar 4 dapat disimpulkan bahwa *flow* batubara ketika HPH 7 *inservice* adalah 197.66

Ton/jam akan naik menjadi 208.77 Ton/jam dikarenakan HPH 7 *outservice* dan *flow* batubara bertambah sebesar 11.11 Ton/jam untuk menaikkan *temperature feedwater* yang masuk ke ruang *boiler*. Kerugian per hari PLTU yang di akibatkan beroperasi tanpa HPH 7 sebesar Rp 3.346.933, sedangkan kerugian per tahunnya sebesar Rp 1.204.896.000

4. KESIMPULAN

Dari data dan pembahasan dapat di simpulkan bahwa nilai efisiensi PLTU ketika dalam kondisi HPH 7 *inservice* adalah 33.40 % dan ketika *outservice* adalah 29.20 %. Kebutuhan batubara untuk menaikkan temperatur yang hilang dikarenakan HPH 7 *outservice* sebesar 11.11 Ton/jam, sehingga kerugian yang diakibatkan oleh kenaikan *flow* batubara sebesar Rp 1.204.896.000 per tahun.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Mokalu and C. J. Paat, "Dampak Pembangunan PLTU Terhadap Perubahan Mata Pencarian Masyarakat Desa Binjeita II Kecamatan Bolangitang Timur Kabupaten Bolaang Mongondow Provinsi Sulawesi Utara," *J. Ilm. Soc.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [2] P. T. Listrik, "Rencana usaha penyediaan tenaga listrik (ruptl) pt pln (persero)."
- [3] C. Wiharya, "Kajian optimasi Unit Jasa Pembangkitan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (UJP PLTU) Indonesia Power," vol. 18, no. 2, pp. 18–29, 2020.
- [4] Cahyadi, "KAJIAN TEKNIS PEMBANGKIT LISTRIK BERBAHAN BAKAR FOSSIL," *JITE*, vol. 1, no. 12, pp. 21–32, 2011.
- [5] W. D. S. and Dkk, "Analisis Perhitungan Efisiensi Boiler Kapasitas 55 Ton / Jam di PT PT . PJB (Pembangkit Jawa Bali) PLTU Ketapang 2X10 MW," *J. Tekini*, vol. 1, no. 2, pp. 3–7, 2017.
- [6] A. N. Ristyanto, J. Windarto, and S. Handoko, "SIMULATOR EFISIENSI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP," *TRANSIENT*, vol. 2, no. 2, pp. 234–240, 2013.
- [7] PT. PLN, *Termodinamika Diklat Pengoperasian Alat Bantu PLTU (Modul 3/op)*. PT. PLN Unit Pendidikan Dan Pelatihan Suralaya, 2004.
- [8] M. U. Damayanti and B. U. K. Widodo, "Analisis Termal High Pressure Feedwater Heater di PLTU PT. XYZ," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 569–574, 2016.
- [9] I. Putra, "Studi perhitungan heat exchanger type shell and tube dehumidifier biogas limbah sawit untuk pembangkit listrik tenaga biogas," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 2, pp. 42–49, 2017.
- [10] PJB-IMS, *Instruksi Kerja (IK) Cold Start. UP Paiton*. 2019.
- [11] S. S. Hamon, *Paiton Steam Power Plant 1&2 Tokyo-Japan*. sumitomo corporation, 1990.
- [12] W. T. Kurnia, *Analisa Efisiensi Mesin Boiler Pada Unit 2 PT. Pembangkitan Jawa Bali Up Paiton Dengan Metode Asme Ptc 4.1*. Laporan Kerja Praktek PT. Pembangkitan Jawa Bali UP Paiton, 2019.
- [13] Y. V Proskurin, "Analysis of Boiler Engine Efficiency Unit 2 PT . PJB UP Paiton Analysis of Boiler Engine Efficiency Unit 2 PT . PJB UP Paiton," 2021.
- [14] A. N. ABRARI, *Analisis efisiensi boiler sebelum dan sesudah overhaul di ptu suralaya unit 8 skripsi*. PROGRAM STRATA SATU FAKULTAS TEKNOLOGI DAN BISNIS ENERGI INSTITUT TEKNOLOGI PLN, 2020.
- [15] I. Febianto, M. I. Arsyad, and G. S. Lubis, "STUDI EFISIENSI THERMAL BOILER MENGGUNAKAN DIRECT METHOD PADA PLTU SUNGAI RINGIN DI KABUPATEN SINTANG Indra Febianto 1) , M.," 2017.
- [16] Pusat Pendidikan dan Pelatihan, *Efisiensi*. PT. PLN (Persero).

Halaman ini sengaja dikosongkan