

ANALISIS ENERGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DUAL FUEL LINE 3 PT. RIAU ANDALAN PULP AND PAPER PANGKALAN KERINCI

Aris Freddy¹, Romy²

Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

¹arisfreddy012@gmail.com, ²romy_pku@yahoo.com

ABSTRACT

The Steam Power Plant (PLTU) plays a major role in the supply of electricity in Indonesia today. In general, the performance of the power plant is evaluated by using the first thermodynamic law (energy conservation law). For this reason, energy analysis is based on the first law of thermodynamics which can be studied more deeply about the amount of energy in each component of the power plant. The purpose of this study was to analyze the amount of energy in each component in the dual fuel line 3 steam power plant PT. Riau Andalan Pulp and Paper Pangkalan Kerinci. The results showed that the energy value at pump I was (0.006 MW) followed by pump II (2.219 MW), Steam Turbine (88.719 MW), boiler (258,019 MW) and condenser (76.83 MW). Thermal efficiency of the whole system was 33.52%.

Keywords: *energy analysis, thermal efficiency, biomass*

1. Pendahuluan

Krisis energi belakangan menjadi wacana di berbagai media. Salah satu jenis krisis energi yang terjadi adalah krisis energi listrik. Energi listrik dapat diproduksi dengan berbagai cara dari sumber awal yang berbeda-beda, yaitu air, minyak, gas, batubara, angin, cahaya matahari, panas bumi, dan lain-lain [1]. Energi listrik sangat penting dalam pembangunan suatu negara. Krisis energi listrik tersebut dikarenakan besarnya jumlah konsumsi listrik yang diperlukan perkapita negara setiap tahunnya. Menurut data statistik konsumsi listrik yang dipenuhi PLN menurut sektor pada tahun 2012-2017 yang dikeluarkan Perusahaan Listrik Negara (PLN) di Indonesia tampak terjadi peningkatan kebutuhan konsumsi listrik yang signifikan tiap tahunnya [2].

Peningkatan kebutuhan listrik dikemudian hari diperkirakan dapat tumbuh rata-rata 6,5% pertahun hingga tahun 2020 [3]. Konsumsi listrik di Indonesia yang begitu besar akan menjadi suatu masalah apabila penyediaan listrik tidak sejalan dengan kebutuhan.

Sementara itu, ketergantungan Indonesia terhadap energi berbasis bahan bakar fosil masih sangat tinggi. Menurut data Indonesia *Energy Outlook* 2010 yang dikeluarkan oleh Pusat Data dan Informasi Kementerian ESDM, minyak bumi memakan porsi 39%, batu bara 33% dan gas bumi 19% dari total bauran energi primer (*primary energy mix*) di Indonesia dan diprediksi masih akan terus dominan hingga 20 tahun mendatang [4].

Kebanyakan dari pembelajaran mengenai peningkatan performansi setiap komponen di PLTU dan rancangan dari mesin – mesin pembangkit saat

ini berdasarkan hukum pertama termodinamika yaitu terkait dengan analisa energi [5].

Energi terbarukan yaitu energi yang berasal bukan dari energi fosil, yang dapat diperbaharui dan bila dikelola dengan baik maka tidak akan habis. Salah satu energi terbarukan adalah biomassa. Biomassa merupakan energi yang bersumber dari bahan-bahan alami seperti kayu, limbah pertanian, perkebunan, hutan, komponen organik dari industri dan rumah tangga serta kotoran hewan dan manusia. Biomassa dikenal sebagai zero CO₂ emission, dengan kata lain tidak menyebabkan akumulasi CO₂ di atmosfer. Indonesia sebagai negara agraris mempunyai potensi energi biomassa yang cukup besar. Bahan bakar biomassa yang digunakan PT RAPP untuk produksi tenaga listrik tidak 100 % berasal dari energi terbarukan yaitu bark (kulit kayu), serat buah kelapa sawit, tandan kosong, dan cangkang. Efisiensi energi yang dihasilkan pada PLTU hanya berkisar 25-50% [6]. Dari uraian diatas maka penulis tertarik untuk membahas lebih rinci dan spesifik lagi mengenai “Analisis Energi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) *Dual Fuel Line* 3 PT Riau Andalan Pulp and Paper Pangkalan Kerinci” yang akan membahas tentang efisiensi pada turbin uap yang dimanfaatkan sebagai penunjang kinerja turbin uap. Studi ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dari siklus uap tersebut termasuk komponen-komponennya, serta membahas tentang efisiensi thermal dari siklus.

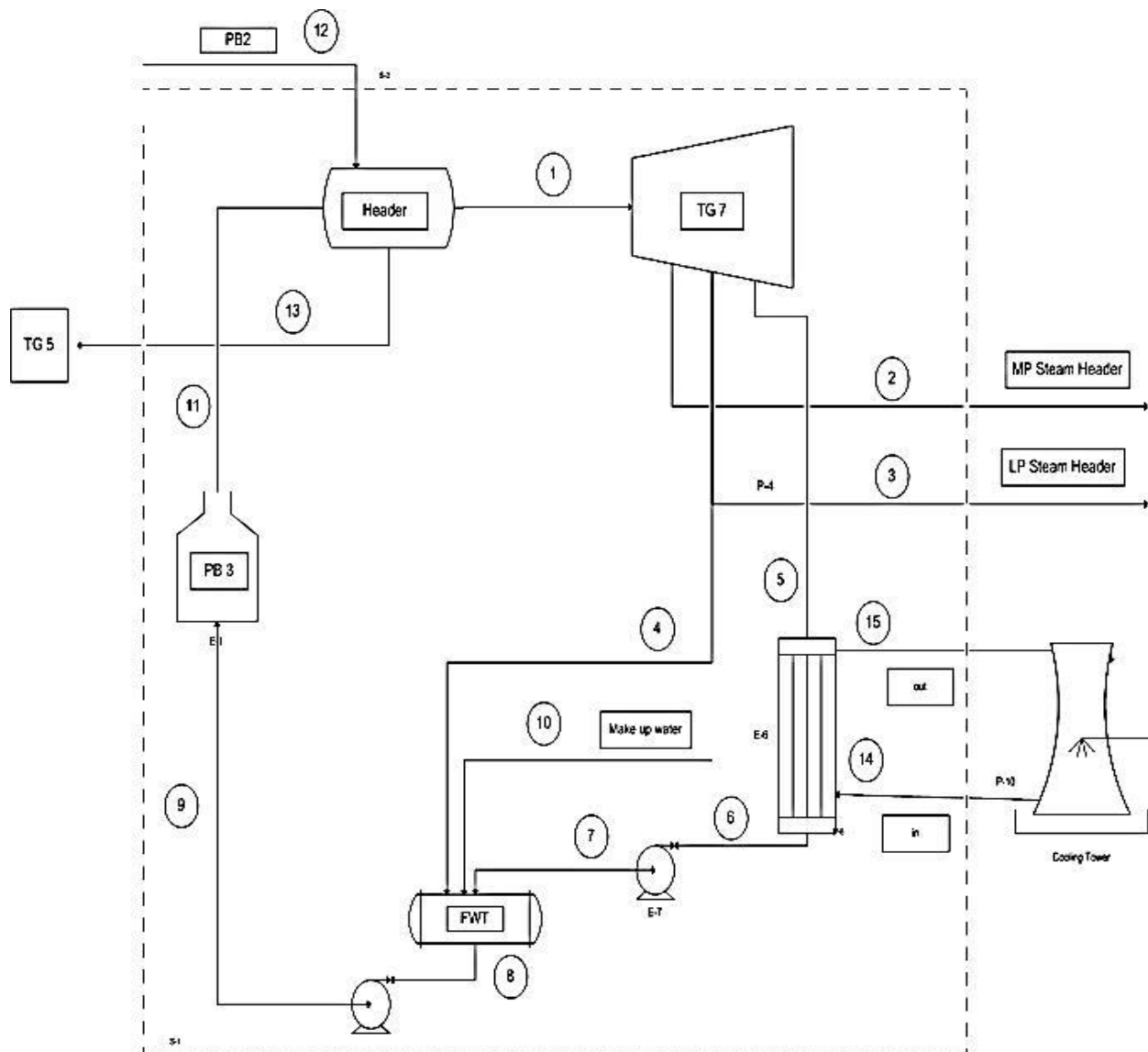
2. Metodologi

Pada tahap awal penelitian, dilakukan identifikasi masalah untuk mengetahui kondisi pembangkit yang akan dijadikan studi kasus pada tugas akhir ini. Permasalahan yang diangkat adalah mengenai identifikasi jenis, lokasi dan nilai kerugian termal pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap *Dual Fuel Line 3* di PT Riau Andalan Pulp and Paper Pangkalan Kerinci.

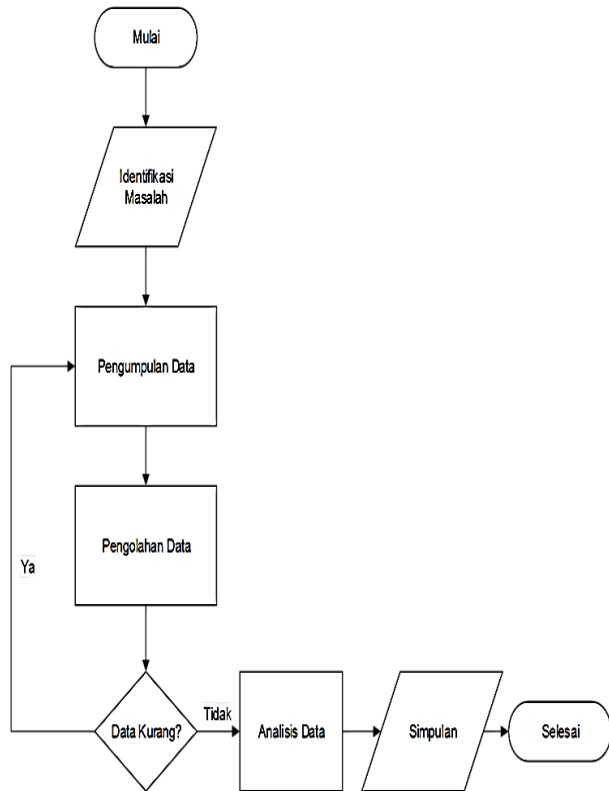
Pengumpulan data dilakukan dengan observasi ke lapangan dengan mengambil sampel data aktual

operasi unit. Data aktual diambil dari logsheet atau daily report Pembangkit Listrik Tenaga Uap *Dual Fuel Line 3* di PT Riau Andalan Pulp and Paper Pangkalan Kerinci. Data aktual operasi yang diambil adalah temperatur dan tekanan setiap statenya, dan komposisi bahan bakar.

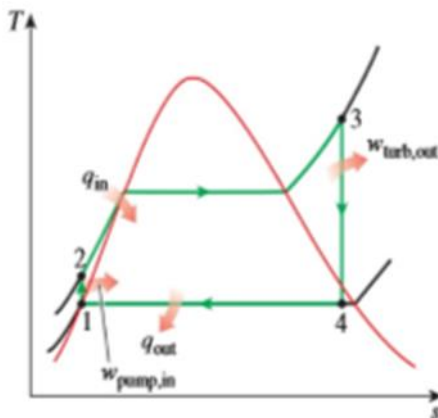
Skema PLTU ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem terdiri dari *feed water pump*, *boiler*, turbin uap dan kondenser.



Gambar 1. Skema PLTU PT RAPP Pangkalan Kerinci



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Siklus Rankine

Pengolahan data dilakukan dengan melakukan perhitungan energi pada tiap-tiap komponen pembangkit yaitu *feed water pump*, *boiler*, turbin uap dan kondenser.

Adapun penjelasan proses yang terjadi pada komponen utama Siklus Rankine adalah sebagai berikut :

- a. Proses 1–2: Pada Pompa (Kompresi isentropis pada pompa)

Kondensat cair meninggalkan kondensor pada kondisi 1 dipompa dari kondensor ke dalam *boiler* sehingga terjadi kenaikan tekanan. Dengan menggunakan volume atur di sekitar pompa dengan asumsi tidak terjadi perpindahan kalor disekitarnya, kestimbangan laju massa dan energi [7].

Pada proses ini kerja masuk ke dalam sistem (W_{in}).

$$\dot{W}_p = \dot{m}(h_2 - h_1) \text{ atau } \frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} = v (P_2 - P_1) \quad (1)$$

- b. Proses 2–3: Pada *boiler* (Penambahan panas dengan tekanan konstan).

Fluida Kerja meninggalkan pompa pada kondisi 2 dipanaskan sampai jenuh dan diuapkan di dalam boiler. Dengan menggunakan volume atur yang melingkupi tabung boiler dan drum yang mengalirkan air pengisian dari kondisi 2 ke kondisi 3. Besar penambahan panas yang terjadi pada boiler dirumuskan dengan persamaan dibawah ini [7].

$$Q_{in} = \dot{m} (h_3 - h_2) \quad (2)$$

- c. Pada 3-4 :Pada Turbin Uap (Proses ekspansi Isentropik)

Uap dari Boiler pada kondisi 3 berada pada temperatur dan tekanan yang sudah dinaikkan kemudian berekspansi melalui turbin untuk menghasilkan kerja dan kemudian dibuang ke kondensor pada kondisi 4 dengan tekanan yang relatif rendah. Dengan mengabaikan perpindahan kalor dengan sekelilingnya, kesetimbangan laju energi dan massa untuk volume atur di sekitar turbin pada kondisi tunak [7].

$$\dot{W}_t = \dot{m}(h_3 - h_4) \quad (3)$$

- d. Pada 4-1: Pada Kondensor (Pelepasan panas secara isobar)

Dalam kondensor terjadi perpindahan kalor dari uap ke air pendingin yang mengalir dalam aliran yang terpisah. Uap terkondensasi dan temperatur air pendingin meningkat [7].

$$Q_{out} = \dot{m} (h_4 - h_1) \quad (4)$$

Tabel 3. Data Input Untuk Jam 09.00 WIB

State	SUBSTANSI	\dot{m} (kg/s)	T (C)	P (bar)
1	Turbin Uap #7 (in)	107,38	535,57	134,8
2	Ekstraksi #1 MP Steam header	40,46	203,07	12,1
3	Ekstraksi #2 LP steam header	4,96	154,48	4,09
4	Ekstraksi #2 LP steam to FWT	31,54	154,48	4,09
5	Uap masuk kondensor	40	47	0,11
6	Air masuk Pompa 1	40	41	0,08
7	Air masuk feedwater tank	40	41	2,24
8	Air masuk pompa 2	151	185,1	3,76
9	Air umpan masuk ruang bakar	151	185,1	133,2
9'	Udara masuk ruang bakar	136,6	91	2,7324
9''	Bahan bakar masuk	31,42	29,7	20,265
10	Air demin masuk feedwater tank	43,1	39,32	
11	Uap Keluar Power Boiler 3	158,3	539,7	137,5
12	Uap Keluar Power Boiler 2	55,7	529	136
13	Uap Masuk Turbin Uap (TG #5)	94,44	522,82	131,64
14	Air Pendingin masuk Kondensor	99	30	
15	Air Pendingin keluar Kondensor	99	32	

Maka, Efisiensi termal dari siklus Rankine ideal :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_T - W_P}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (5)$$

Keterangan:

\dot{m} = Laju Aliran Fluida (kg/s)

\dot{W}_P = Kerja Pompa (MW)

\dot{W}_T = Kerja Turbin (MW)

Q_{in} = Kalor yang masuk (MW)

Q_{out} = Kalor yang keluar (MW)

η_{th} = Efisiensi termal siklus (%)

h_1 = Enthalpy pada state 1, Masuk Pompa ((kJ/kg)

h_2 = Enthalpy pada state 2, Masuk Boiler ((kJ/kg)

h_3 = Enthalpy pada state 3, Masuk Turbin Uap ((kJ/kg)

h_4 = Enthalpy pada state 4, Masuk Kondenser ((kJ/kg)

3. Hasil

Adapun hasil Pengambilan data dilakukan pada bulan Januari 2019 terhitung tanggal 1 Januari 2019 dengan jam operasi 24 jam/hari pada pukul 09:00 WIB.

Kerja (W) dan Panas (Q) pada setiap komponen (state) didapat dengan persamaan berikut :

a. Proses 1-2,3,4,5: Proses ekstraksi dan ekspansi pada turbin [7].

Nilai kerja turbin pada proses 1-2,3,4,5 adalah sebagai berikut :

$$W_{T,uap} = [(\dot{m}_1 \times h_1) - ((\dot{m}_2 \times h_2) + (\dot{m}_3 \times h_3) + (\dot{m}_4 \times h_4) + (\dot{m}_5 \times h_5))]$$

$$W_{T,uap} = [(107,38 \frac{kg}{s} \times 3426,67 \frac{kJ}{kg}) - ((40,46 \frac{kg}{s} \times 2822,091 \frac{kJ}{kg}) + (4,96 \frac{kg}{s} \times 2622,365 \frac{kJ}{kg}) + (31,54 \frac{kg}{s} \times 2622,365 \frac{kJ}{kg}) + (40 \frac{kg}{s} \times 2092,725 \frac{kJ}{kg}))]$$

$$W_{T,uap} = 88.719,26kW = 88,719 MW$$

b. Proses 5-6 : Pelepasan panas pada kondensor [7]. Dalam kondensor terjadi perpindahan kalor dari uap ke air pendingin yang mengalir dalam aliran yang terpisah. Uap terkondensasi dan temperatur air pendingin meningkat. Pada kondisi tunak (*steady state*), kesetimbangan laju massa dan energi untuk volume atur yang melingkupi bagian kodensasi dan penukar kalor adalah:

$$Q_{out} = (\dot{m}_5 \times h_5) - (\dot{m}_6 \times h_6)$$

$$Q_{out} = (40 \frac{kg}{s} \times 2092,725 \frac{kJ}{kg}) - (40 \frac{kg}{s} \times 171,746 \frac{kJ}{kg})$$

$$Q_{out} = 76839,16 kW = 76,83 MW$$

c. Proses 6-7 : Proses kompresi pada pompa I [4].

$$W_{pompa1} = \dot{m} \times (v_f \times (P_7 - P_6))$$

$$W_{pompa1} = (\dot{m}_7 \times v_{f7} \times P_7) - (\dot{m}_6 \times v_{f6} \times P_6)$$

$$W_{pompa1} = (40 \frac{kg}{s} \times 0,0010082 m^3/kg \times 244 kPa) - (40 \frac{kg}{s} \times 0,0010082 m^3/kg \times 80 kPa)$$

$$W_{pompa1} = 6,613792kW = 0,0066137 MW$$

d. Proses 7-8 : Proses penambahan panas pada Feed Water Tank (FWT) [7].

$$Q_{in} = [(\dot{m}_8 \times h_8) - (\dot{m}_3 \times h_3) + (\dot{m}_7 \times h_7) + (\dot{m}_{10} \times h_{10})]$$

$$Q_{in} = [(151 \frac{kg}{s} \times 594,1268 \frac{kJ}{kg}) - ((4,06 \frac{kg}{s} \times 2622,365 \frac{kJ}{kg}) + (40 \frac{kg}{s} \times 171,746 \frac{kJ}{kg}) + (43,1 \frac{kg}{s} \times 164,435 \frac{kJ}{kg}))]$$

$$Q_{in} = 65109,36 \text{ kW} = 65,109 \text{ MW}$$

e. Proses 8-9 : Proses kompresi isentropi pada pompa Feedwater [7].

$$W_{pompaII} = \dot{m} \times (v_f \times (P_9 - P_8))$$

$$W_{pompaII} = \dot{m}_9 \times ((V_{f9} \times P_9) - (V_{f8} \times P_8))$$

$$W_{pompaII} = 151 \frac{kg}{s} \times ((0,001135 \text{ m}^3/\text{kg} \times 13320 \text{ kPa}) - (0,001135 \text{ m}^3/\text{kg} \times 370 \text{ kPa}))$$

$$W_{pompaII} = 2219,55 \text{ kW} = 2,219 \text{ MW}$$

f. Proses 9-11: Proses pembakaran pada ruang bakar [7].

$$Q_B = (\dot{m}_{ud} + \dot{m}_{bb}) \times ((C_{p(T11)} \times T_{11}) - (C_{p(T9')} \times T_{9'}))$$

$$Q_B = (136,6 \frac{kg}{s} + 31,42 \frac{kg}{s}) \times ((1,0994 \frac{kJ}{kg.K} \times 812,7 \text{ K}) - (1,0128 \frac{kJ}{kg.K} \times 398 \text{ K}))$$

$$Q_B = (168,02 \frac{kg}{s}) \times ((1,0994 \frac{kJ}{kg.K} \times 812,7 \text{ K}) - (1,0128 \frac{kJ}{kg.K} \times 398 \text{ K}))$$

$$Q_B = 82395,32 \text{ kW} = 82,395 \text{ MW}$$

$$Q_{HE} = ((\dot{m}_{11} \times h_{11}) - (\dot{m}_1 \times h_1))$$

$$Q_{HE} = ((158,3 \frac{kg}{s} \times 3433,86 \frac{kJ}{kg}) - (107,38 \frac{kg}{s} \times 3426,67 \frac{kJ}{kg}))$$

$$Q_{HE} = 175624,22 \text{ kW} = 175,624 \text{ MW}$$

Lalu Q_{in} dapat dihitung dengan menjumlahkan Q_B dan Q_{HE}

$$Q_{inRB} = Q_B + Q_{HE}$$

$$Q_{inRB} = (82,395 + 175,624) \text{ MW}$$

$$Q_{inRB} = 258,019 \text{ MW}$$

g. Proses 11-1 : Proses penambahan panas dan pressure pada Header [7].

$$Q_{in} = ((\dot{m}_{11} \times h_{11}) - (\dot{m}_1 \times h_1))$$

$$Q_{in} = ((158,3 \frac{kg}{s} \times 3433,86 \frac{kJ}{kg}) - (107,38 \frac{kg}{s} \times 3426,67 \frac{kJ}{kg}))$$

$$Q_{in} = 175624,22 \text{ kW} = 175,624 \text{ MW}$$

Perhitungan nilai efisiensi termal pada sistem pembangkit listrik tenaga uap didapat dari perbandingan kerja bersih (W_{nett}) sistem dan nilai panas masuk kedalam sistem (Q_{in}). Nilai kerja bersih

yang digunakan untuk menentukan nilai efisiensi kerja dari siklus kombinasi uap ini adalah ($W_{nett,uap}$). Sedangkan untuk nilai panas masuk yang digunakan hanya berasal dari nilai panas masuk di ruang bakar.

Maka nilai W_{nett} pada sistem pembangkit listrik tenaga uap line 3 PT RAPP 100 MW adalah

$$W_{nett} = W_{nett,uap}$$

$$= (W_{turbin,uap} - (W_{pompaI} + W_{pompaII}))$$

$$= (88719,26 \text{ kW} - (6,6137 \text{ kW} + 2219,55 \text{ kW}))$$

$$= (88,719 \text{ MW} - 2,226 \text{ MW})$$

$$= 86,493 \text{ MW}$$

Sehingga,

$$\eta_{th} = \frac{W_{nett}}{Q_{inRB}}$$

$$= \frac{86,493 \text{ MW}}{258,019 \text{ MW}}$$

$$= 0,3352$$

$$= 33,52 \%$$

4. Pembahasan

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai energi setiap komponen adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Analisis Energi

PARAMETER	UNIT	NILAI
W Pompa I	(MW)	0,006613
W Pompa II	(MW)	2,219
W Turbin Uap	(MW)	88,719
Q in Uap	(MW)	258,019
Q out Uap	(MW)	76,83
W nett Sistem	(MW)	86,493
Effisiensi Sistem	%	33,52

PLTU *Dual fuel line 3* PT Riau Andalan Pulp and Paper terdiri dari 1 unit pembangkit listrik tenaga uap dengan kapasitas 100 MW. Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui hasil perhitungan yang didapat menunjukkan nilai daya aktual yang dihasilkan oleh pembangkit listrik adalah sebesar (86,6 MW). Dengan nilai nilai efisiensi termal (33,52 %). Nilai efisiensi sistem ini dapat terbilang kecil, walaupun kebanyakan pembangkit listrik tenaga uap memang memiliki nilai efisiensi 25 – 50 %.

5. Simpulan

Simpulan perhitungan yang telah dilakukan, didapat nilai energi setiap komponen yaitu Pompa I sebesar (0,006613 MW), Pompa II (2,219 MW), Turbin Uap (88,719 MW), Boiler (258,019 MW) dan Kondenser (76,83 MW). Termal efisiensi dari sistem adalah 33,52%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tumiran, 2002. Kualitas Energi Listrik Menyongsong Pembahasan RUU Ketenagalistrikan, Majalah Energi, Edisi 16 (Juni-Agustus 2002), Pusat Studi Energi UGM, Yogyakarta
- [2] Kementerian energi dan sumber daya mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan T.A 2018
- [3] Muchlis, Moch, 2012. Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 sd 2020. http://www.oocities.org/markal_bppt/publish/slistrk/slmuch.pdf (diakses 17 januari 2019)
- [4] Pusat Data dan Informasi Kementrian ESDM. 2013. "Indonesia Energy Outlook 2010 (IEO 2010)". Kementrian ESDM
- [5] Bejan, A., Tsatsaronis, G. and Moran, M., 1996. *Thermal Design & Optimization*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Dahono, Argo. 2011. Ayo Membangun Pembangkit Listrik di Indonesia. <https://konversi.wordpress.com/2011/05/22/mengapa-pltu-mempunyai-efisiensi-rendah.html> (diakses 15 januari 2019)
- [7] Cengel, Y. A. & Boles, M. A., 2015. *Thermodynamic An Engineering Approach*. 8th ed. New York: Mc Graw-Hill Education.