

# ANALISIS PERFORMA SISTEM PLTU ANGGREK KAPASITAS 2X25 MW MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BATUBARA DENGAN BEBAN TURBIN 100%

Nuh Zulkifli Ismail<sup>\*1)</sup>, Romi Djafar<sup>2)</sup>, Yunita Djamalu<sup>3)</sup>, Burhan Liputo<sup>4)</sup>

<sup>1,2,3,4)</sup> Teknik Mesin, Universitas Nahdlatul Ulama Gorontalo, Indonesia

Email: zulkifliismail339@gmail.ac.id<sup>1)</sup>

Asal Negara: Indonesia

## ABSTRAK

Di provinsi Gorontalo terdapat sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas 2 x 25 MW yang beroperasi dari 2007. Pada PLTU tersebut terdapat komponen seperti pada Umumnya yaitu dengan komponen utama yaitu boiler, turbin, kondensor dan pompa dengan fluida air sebagai media kerja. Berdasarkan hasil supervisi lapangan diperoleh data dan informasi bahwa selama beroperasi belum pernah dilakukan analisis Performa PLTU tersebut. Oleh karena itu, Pada Penelitian ini dilakukan evaluasi sistem PLTU berdasarkan hukum termodinamika. Tujuan Penelitian ini adalah melakukan analisis performa PLTU berdasarkan data Heat dan Balance mass Diagram. Adapun metode yang dilakukan adalah analisis dan perhitungan menggunakan parameter data Heat dan Balance mass Diagram dan di kombinasikan dengan hasil pemodelan dari cycle tempo pada beban turbin 100%. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa diperoleh performa PLTU berupa efisiensi *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) sebesar 108583,16 kJ/kWh, *Nett Plant Heat Rate* (NPHR) sebesar 93744,39 kJ/kWh, *Turbin Heat Rate* (THR) sebesar 2996,76 kJ/kWh, dan *Heat Rate* (HR) sebesar 2,386 kJ/kWh.

**Kata Kunci:** PLTU, *Heat Balance*, Beban Turbin 100%, Termodinamika

## ABSTRACT

*In Gorontalo Province, there is a Steam Power Plant (PLTU) with a 2 x 25 MW capacity, which has been operating since 2007. The PLTU has components in general, namely the main features, namely boilers, turbines, condensers, and pumps with water fluid as the working medium. Based on the results of field supervision, data, and information were obtained that the PLTU performance analysis had never been carried out during operation. Therefore, in this study, an evaluation of the PLTU system was carried out based on the laws of thermodynamics. This study aims to analyze the performance of the PLTU based on the Heat and balance mass diagram data. The method used are analysis and calculation using the data parameter heat and balance mass diagram combined with the modeling results from the cycle tempo simulation at 100% turbine loading. The results showed that the performance of the PLTU was obtained in the form of gross plant heat rate (GPHR) efficiency of 108583.16 kJ/kWh, net plant heat rate (NPHR) of 93744.39 kJ/kWh, turbine heat rate (THR) of 2996.76 kJ/kWh, and a heat rate (HR) of 2.386 kJ/kWh.*

**Keywords:** PLTU, *Heat Balance*, 100% Turbine Load, Thermodynamics

## 1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga uap (PLTU) merupakan jenis Pembangkit listrik yang sering digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia. PLTU Anggrek merupakan salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang berada di Provinsi Gorontalo yang di kelola anak Perusahaan PJB (Pembangkit Jawa Bali) yang memiliki kapasitas Pembangkit 2x25 MW dengan bahan bakar Batubara.

Kementrian energy dan sumber daya mineral mencatat kondisi kelistrikan nasional hingga hingga ahir tahun 2014. Data ini menunjukkan bahwa pembangkit yang terpasang sebesar 53.585

MW. Penyumbang daya listrik nasional meliputi PLN sebesar 37.280 MW (5%) dan izin operasi non BBM(IO) sebesar 2.677 (5%) totl system kelistrikan di Indonesia pada awal maret 2015 terdapat 22 sistem, yaitu 6 unit dalam kondisi (cadangan lebih dari 20%) , 11 siaga (cadangan kurang dari 1 unit terbesar), dan 5 defisit (pemadaman sebagian).

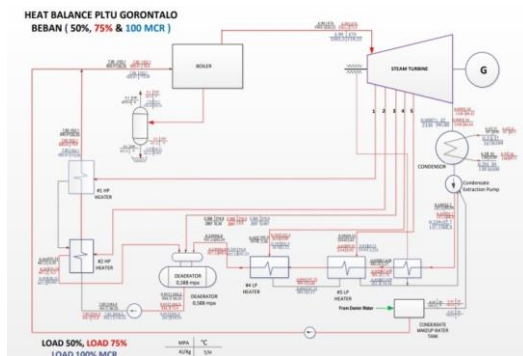
Dendi Junaidi, ddk (2010) dalam studi tentang “ kesetimbangan massa dan kalor serta efisiensi pembangkit listrik tenaga uap pada berbagai perubahan beban dengan memvariasikan jumlah *feedwater heater* menyimpan bahwa penambahan penambahan *feedwater heater* (FWH) akan menaikkan efisiensi instalasi pembangkit listrik namun efisiensi akan menurun jika jumlah *feedwater heater* lebih dari tujuh. Peningkatan efisiensi sangat besar terjadi pada *feedwater heater*

di antara 1-4 sedangkan penambahan 5-7 tidak memberikan peningkatan yang signifikan. T. Srinivas, ddk (2007) dalam studi tentang “*Generalized Thermodynamik Analisis Of Steam Power Cycles With 'N' Number Of Feedwater Heater*” selain melakukan variasi terhadap jumlah *feedwater heater* 1-10 buah, juga terhadap tekanan *boiler*, temperature uap memasuki turbin, dan temperature pembakaran. Jenis *feedwater heater* yang digunakan adalah *closed feedwater heater*.

serta menghasilkan data efisiensi Nett dan Gross Dari PLTU tersebut.

## 2. METODE PENELITIAN

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan dari PT. PLTU Anggrek Gorontalo Penulis telah mendapatkan data yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian dengan perhitungan termodinamika. Data Operation ini yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan termodinamika, setelah menadapkan hasil data ini yang digunakan dalam aplikasi simulasi cyle tempo apabila sudah tidak Error. Hasil data simulasi masing-masing komponen akan diambil data propeties (P, T, h,  $\dot{m}$ ) akan dilakukan proses analisis termodinamika dengan data yang telah dikumpulkan. Berikut ini adalah data *Heat Balance* yang ditunjukkan pada gambar



Gambar 1. Heat balance

### 2.1. Spesifikasi Peralatan

#### 1. Boiler

*Boiler* berfungsi untuk memanaskan air untuk menghasilkan uap, dengan nilai tekanan uap 5.3 Mpa<sup>g</sup>, suhu 458°C, temperatur air umpan *boiler* mencapai 200°C, dan efisiensi (LHV) 90.07%, udara pemanas awal air primer/ temperature masuk udara sekunder 30°C, temperatur keluaran udara sekunder 168°C, koefisien udara berlebih 1.27, lebar tungku jarak antara dua sisi garis tengah dinding air 7010 mm, lebar tungku jarak antara garis tengah dinding air depan dan belakang, elevasi garis tengah uap drum adalah 38000 mm, elevasi lapisan operasi boiler 8000 mm, elevasi titik tertinggi boiler 42070 mm.

#### 2. Turbin

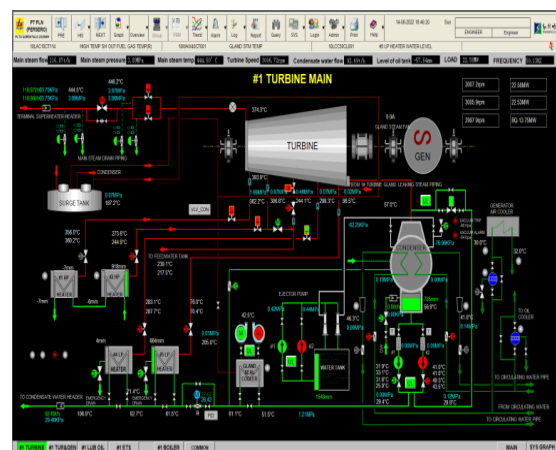
Turbin menunjukkan bahwa dengan kecepatan 3000 r/ min, *output* terukur 27.5 MW, aliran uap utama 121 t/h, tekanan uap sebelumnya MSV 4.9 MPA, suhu uap sebelum MSV 470°C, temperatur air 200°C, umpan tekanan buang 8.7 kpa, dan merek minyak mobil

#### 3. Pump

Pada PLTU Anggrek terdapat komponen utama yang sangat di perlukan dalam pembangkit yaitu pompa, yang dapat mensirkulasikan fluida kerja pada sistem PLTU yang menunjukkan tegangan mencapai hingga 380V, di nilai saat ini 14.7A, nilai kecepatan tertinggi hingga 2890 rpm, kelas isolasi F, kelas perlindungan IP55 dan faktor kekuatan 0.89.

### 2.2. Data Control Central Room (CCR)

Pada sistem pengendalian PLTU Anggrek dilakukan pada CCR (Control Central Room), pada data CCR sistem turbin tersusun atas Termal *Superheater Header, condensor, feedwater tank, ejector pump, high pressure, low Pressure*. Telah dilakukan uji coba di PLTU anggrek dimana tekanan uap (*main steam Pressure*) 3,89 Mpa pada Aliran Uap Utama (*main steam Flow*) 116,87 t/h. sedangkan *temperatur steam* 453,73 °c pada *Frequency* 50,13 Hz. maka denganya data yang ada pada CCR dapat ditampilkan daya gross dengan dengan hasil 20,48% sedangkan dengan *load pressure* batubara 100% menghasilkan daya gross 25,58 MW. Skema Turbin dari data CCR ditunjukkan pada Gambar sebagai berikut.



Gambar 2. Skema turbin dari data CCR

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Data Input hasil pemodelan PLTU Anggrek 2x25 MW

Data input pada Tabel 4.1 merupakan hasil dari pemodelan yang diperoleh dari simulasi cycle tempo. Data ini di perlukan untuk evaluasi performa sistem pltu anggrek menggunakan sistem hukum termodinamika. Tabel data

parameter input komponen utama PLTU Anggrek sebagai berikut.

**Tabel1** Data parameter input komponen utama PLTU Anggrek

No.(pipe)	apparatur	?(kg/s)	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)
1	Main steam	110.556	49.00	470.00	3365.53
24	Masuk HPH 1	95.300	14.00	366.41	3185.54
24	Keluar HPH 1	95.300	14.00	366.41	3185.54
23	Masuk HPH 2	5.508	14.00	366.41	3185.54
23	Keluar HPH 2	5.508	14.00	366.41	3185.44
22	Masuk Deaerator	0.347	5.889	302.10	3066.70
22	Keluar Deaerator	0.347	5.889	302.10	3066.70
26	Masuk Turbin	110.55	49.00	470.00	3365.53
26	Keluar Turbin	110.55	49.00	470.00	3365.53
14	Masuk LPH 1	0.486	3.170	258.74	2985.15
14	Keluar LHP 1	0.486	3.170	258.74	2985.15
13	Masuk LPH 2	0.448	1.228	196.00	2866.47
13	Keluar LHP 1	0.448	1.228	196.00	2866.47
12	Masuk LPH 3	0.371	0.4000	127.12	2736.49
12	Keluar LPH 3	0.371	0.4000	127.12	2736.49
2	Masuk Condensor	8.090	0.08700	43.11	2579.09
2	Keluar Condensor	8.090	0.08700	43.11	2579.09

Data parameter input ini diperlukan penulis untuk dilakukan pemodelan cycle tempo dan perhitungan secara hukum termodinamika untuk membandingkan data performa setelah melakukan simulasi dengan cycle tempo dan secara perhitungan dengan termodinamika.berikut adalah gambar pemodelan simulasi cycle tempo pada kondisi beban 100%.

### 3.2. Analisis termodinamika PLTU Anggrek berdasarkan Data cycle tempo

Menghitung Energi yang dibuang oleh kondensor

$$Q_{kondensor} = h_2 - h_5$$

$$Q_{kondensor} = 2579.09 - 137,1$$

$$= 2441,99 \text{ KJ/kg}$$

Menghitung Daya Turbin

$$W_{turbin} = h_{26} - h_2$$

$$W_{turbin} = 3365,53 - 2579,09 = 786,44$$

$$W_{turbin} = \dot{m} \cdot W_{turbin}$$

$$\dot{W}_{turbin} = 33 \times 786,44 = 25.952,52 \text{ KW}$$

$$= 25.952 \text{ MW}$$

Pompa 1

$$\dot{m}_6 = 9,392 \quad h_6 = 181,32$$

$$\dot{m}_5 = 9,392 \quad h_5$$

$$= 180,54$$

$$W_{pompa 1} = (\dot{m}_6 \times h_6) - (\dot{m}_5 \times h_5)$$

$$(9,392 \times 181,32) - (9,392 \times 180,54) =$$

$$7,32 \text{ KW}$$

$$= 110,56 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad h_{16}$$

$$= 667,32 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{17} = 110,56 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad h_{17}$$

$$= 676,18 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{pompa 2} = (\dot{m}_{17} \times h_{17}) - (\dot{m}_{16} \times h_{16})$$

$$(110,56 \times 676,18) - (110,56 \times 667,32)$$

$$= 979,58 \text{ KW}$$

Menghitung panas boiler

$$h_1 = 3365,53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_{19}$$

$$= 2827,79 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\frac{Q_{boiler}}{\dot{m}} = h_1 - h_{19}$$

$$Q_{boiler} = (h_1 - h_{19}) \times \dot{m}$$

$$Q_{boiler} = (3365,53 - 2827,79) \times 110.55$$

$$= 59447.15 \text{ KW}$$

Efisiensi siklus pembangkit

$$\frac{\dot{W}_{turbin} - \dot{W}_{pompa}}{\dot{Q}_{boiler}}$$

$$\frac{25.952,52 - 7,32 - 979,59}{59447.15} = 0.41 \times 100\%$$

$$= 41\%$$

Gross Plant Heat Rate

$$\text{Gross Plant Heat Rate} = \frac{\text{MrFxLHVF}}{\text{Gross generating Output}}$$

Gross Plant Heat Rate

$$= \frac{6,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 115404.03 \text{ kJ/kg}}{25252,53 \text{ KW}} \times 3600 \text{ s}$$

$$= 108583,16 \text{ kJ/kw. h}$$

Neet Plant Heat Rate

$$\text{Nett Plant Heat Rate} = \frac{\text{MrFxLHVF}}{\text{Nett generating Output}}$$

Nett Plant Heat Rate

$$= \frac{6,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 98844.03 \text{ kJ/kg}}{25252,53 \text{ KW} - 200 \text{ KW}} \times 3600 \text{ s}$$

$$= 93744.39 \text{ kJ/kg}$$

Turbin Heat Rate

$$THR = \frac{\dot{m}_{steam}(h_{steam} - h_{water})}{\text{gross output}}$$

$$\frac{6.6 \text{ kg/h}(3365,53 - 180.54)}{25252,53 \text{ KW}}$$

$$= 2996,74 \text{ kJ/kw. h}$$

Heat Rate

$$HR = \frac{1}{n_{th}}$$

$$HR = \frac{1}{0,419} = 2,386 \text{ kJ/kw. h}$$

Setelah melakukan pemodelan sitem pembangkit menggunakan cycle tempo berdasarkan data heat balance,penulis dapat menentukan bahwa data yang diambil benar-benar valid saat dilakukan pengoprasian di sofwer cycle tempo dengan mencocokan data heat balance yang diperoleh,data yang diperoleh dengan data yang ada di cycle tempo tidak jauh berbeda dengan kondisi operasi, setelah melakukan simulasi penulis melakukan perhitungan secara termodinamika dengan data yang ada di cycle tempo.

#### 1. Data System Efisiensi Cycle Tempo

Data diatas menunjukan efisinsi siklus pembangkit dalam pemodelan menggunakan simulasi cycle tempo dimana\_data yang ada di cycle tempo menunjukan sistem efisiensi gross 42,052% nett 40,249% hasil turbin 25000 KW dengan daya boiler sebesar 59450,25 KW,pompa 1 *condensate pump* 7,33KW ,pompa 2 boiler *feedwater pump* 982,97 KW dengan beban 100%.

#### 2. Data Efisiensi Perhitungan Termodinamika

Pada perhitungan secara termodinamika mendapatkan 41% daya turbin 2595 KW dengan daya boiler 59447,15 KW, pompa 1 *condensate pump* 7,32 KW, pompa 2 *feedwater pump* 979,58 KW dengan beban 100%.

Dapat dinyatakan bahwa hasil dari perhitungan termodinamika tidak jauh berbeda dengan simulasi menggunakan cycle tempo dengan perbandingan setelah melakukan perhitungan secara termodinamika 2%. Perhitungan termodinamika bisa diambil acuan untuk melihat efisiensi kondisi Pembangkit.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Analisi perfoma PLTU beban turbin 100% dengan menggunakan perhitungan termodinamika dengan menggunakan data pada heat balance mendapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada beban turbin 100% didapatkan hasil sistem efisiensi pembangkit sebesar 42% dengan perhitungan termodinamika berdasarkan data heat balance
2. Nilai gross plant heat rate dari PLTU Anggrek dengan pembebanan pada turbin 100% didapatkan nilai 108583,16 kj/kWh dalam perhitungan termodinamika.
3. Nilai net plant heat rate dari PLTU Anggrek dengan pembebanan pada tubin 100% didapatkan nilai 93744,39 kj/kWh dalam perhitungan termodinamika.
4. Nilai turbin heat rate dari PLTU Anggrek dengan pembebanan pada turbin 100% didapatkan nilai 2996,76 kj/kWh, dalam perhitungan termidinamika.
5. Nilai heat rate dari PLTU Anggrek dengan pembebanan pada turbin 100% didapatkan nilai 2,386 kj/kWh. dalam perhitngan termodinamika

Beberapa saran yang bias diberikan setelah pelaksanaan tugas akhir antara lain sebagai berikut:

1. Sebaiknya ada data pendukung yang lebih spesifik pada semua komponen dalam sistem pembangkit agar mempermudah dalam perhitungan termodinamika

2. Memberikan informasi hasil efisiensi pembangkit pada saat oprasi sehingga bisa dilakukan perbandingan dalam perhitungan termodinamika.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Hendi., & Hardiyanto. (2021). Studi Termodinamika Pembakaran Kombinasi Batubara dan Biomassa. *Material dan Proses Manufaktur* , 1.
- (Srinivas,Gupta,D& Reddy), (2007). Generalized Thermodynamic Analysis Of steam Power
- Raja, A. K., Srivastava, A. P ., & Dwevedi, M. (2006). *Power Plant Engineering*. Publication (P) LTD.
- Simanjuntak, oloni T ., & Amien, S. (2015). Studi Keandalan (Reliability) Pembangkit Listrik Tenaga Uap Super Kritis 660 MW. *Prooceding Seminar Nasional tahunan Teknik Mesin XIV (STTM XIV)*, KE-71, 7-8.
- Woodruff, E. B., Lammers, H. B., & Lammers, T. F. (2005). *Steam Power Plant Operation Eighth Edition*. 795.
- Sulistiyo Wibowo (2021). Analisis Siklus Rankine Dalam Sistem Pembangkit Tenaga Uap. *Makalah seminar Fisika*. <https://id.scribd.com/doc/249006350/Makalah-Siklus-Rankine-Dalam-Sistem-Pembangkit-Tenaga-Uap>, <http://montaraventures.com>
- Satrio, P ., & Nasruddin. (2015). Analisis Energi , Exergi dan Optimasi pada Pembangkit Uap Super Kritis 660 MW. *Prooceding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM)*, KE-71, 7-8.
- Dang, R., Mangal, S. K., & Gaurav. (2016). Energi & Exergy Analisis of Thermal Power Plant at Design Load. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3(5), 29-36. <https://doi.org/10.17148/JARJSET.2016.3507>.