

2.5 Perhitungan Laju Kalor (*Heat rate*) PLTGU

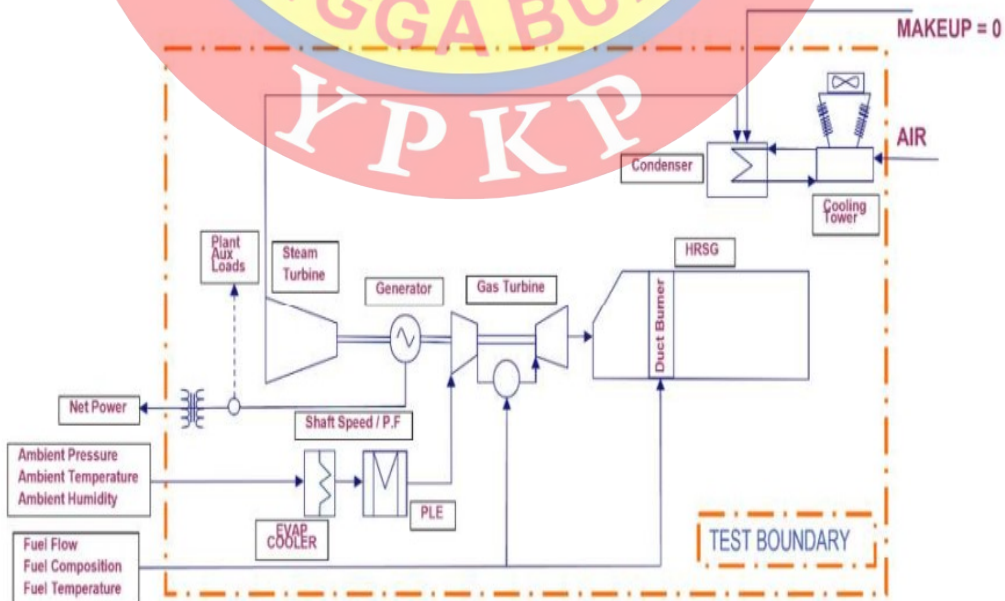
Untuk mengukur kinerja suatu pembangkit listrik, nilai yang dikenal sebagai *Heat Rate* (diukur dalam satuan kcal/kWh) digunakan. Dalam terminologi teknis ketenagalistrikan, Jumlah energi yang ditambahkan melalui perpindahan kalor ke dalam siklus (kcal) untuk menghasilkan satu unit keluaran kerja netto (kWh) dikenal sebagai *Heat rate*. Akibatnya, ada korelasi negatif antara laju kalor dan efisiensi termal. *Heat rate* adalah parameter yang digunakan untuk menilai kinerja sistem pada PLTGU. Menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan oleh ruang bakar (combustor) untuk menghasilkan keluaran kerja, tingkat panas adalah parameter yang digunakan untuk menilai kinerja sistem. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung nilai *heat rate* sistem pembangkit:

2.5.1 Persamaan perhitungan *heat rate*.

Secara umum untuk perhitungan *heat rate* secara umum dapat dihitung menggunakan rumus 2.1 di bawah ini.

$$\text{Heatrate} = \frac{Q}{P}, \text{ kJ/kW-hr} \dots \dots \dots (2.1)$$

Di dalam menghitung *performance test* suatu PLTGU harus ditentukan batasan pengujian atau *test boundary*. Batasan pengujian ini digambarkan dalam gambar di bawah ini :



Gambar : 2.16 *Test Boundary of PLTGU Performance*

Pada PLTGU Jawa 1 saat pengujian unjuk kerja ada batasan operasi yang harus dijaga agar mencapai akurasi yang maksimal pada tabel 2.1 batasan operasi berikut menunjukkan parameter-parameter yang dijaga :

Tabel 2.1 Batasan Operasi

Parameter	Allowable Standard Deviation from Average
<i>Ambient Temperature for each gas turbine</i>	+/- 0.7 °C (1.3 °F)
<i>Barometric Pressure</i>	+/- 0.16 %
<i>Gas Fuel Flow to each gas turbine</i>	+/- 0.65 %
<i>Gas Fuel Supply Temperature</i>	+/- 0.7 °C (1.3 °F)
<i>Heating Value – gaseous fuel per unit volume</i>	+/- 0.5 %
<i>Gas and Steam Turbine Speed for each Unit</i>	+/- 0.33 %
<i>Generator Output for each generator</i>	+/- 0.65 %
<i>Gas Turbine IGV angle (part load cases only)</i>	+/- 0.5 deg
<i>ST Backpressure</i>	+/- 2.6 mm Hg(0.1“Hg)

2.5.2 Pengukuran *Power Output*

Untuk pengukuran output ada 2 yaitu gross power output dan net power output. Gross power output diambil pada output generator sedangkan untuk net power output akan dihitung dari daya yang diukur pada transformator utama. Untuk menghitung total energi yang dihasilkan selama setiap uji coba selama satu jam.

$$P = \sum P_i$$

Di mana,

P_i = Power measured at each unit power meter, kW

2.5.3 Mengukur Heat Consumption

Tingkat konsumsi panas dapat dihitung dengan menghitung laju aliran bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar yang lebih rendah pada tekanan konstan (LHV_p). Nilai-nilai ini akan dihitung melalui analisis laboratorium sampel bahan

bakar.

$$Q = Q_{GT} + Q_{DBHC} \dots\dots\dots(2.2)$$

Di mana:

$$Q_{GT} = W_{GT,i} * LHV_P, \text{ kJ/hr} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Q_{DB} = W_{DB,i} * LHV_P, \text{ kJ/hr} \dots\dots\dots(2.4)$$

Di mana:

$W_{GT,i}$ = Gas Turbine fuel flow rate, kg/hr

$W_{DB,i}$ = Duct Burner fuel flow rate, kg/hr

LHV_P = Fuel lower heating value at constant pressure, kJ/kg



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan di PLTGU JAWA 1 blok 11 yang berlokasi di Jl. SKG Pertamina, Desa Cilamaya, Kec. Cilamaya Wetan, Kab. Karawang, Jawa Barat pada bulan Oktober 2023. PLTGU JAWA 1 blok 11 sendiri memiliki kapasitas 880 MW nett dengan bahan bakar fuel gas. PLTGU Jawa 1 dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini.



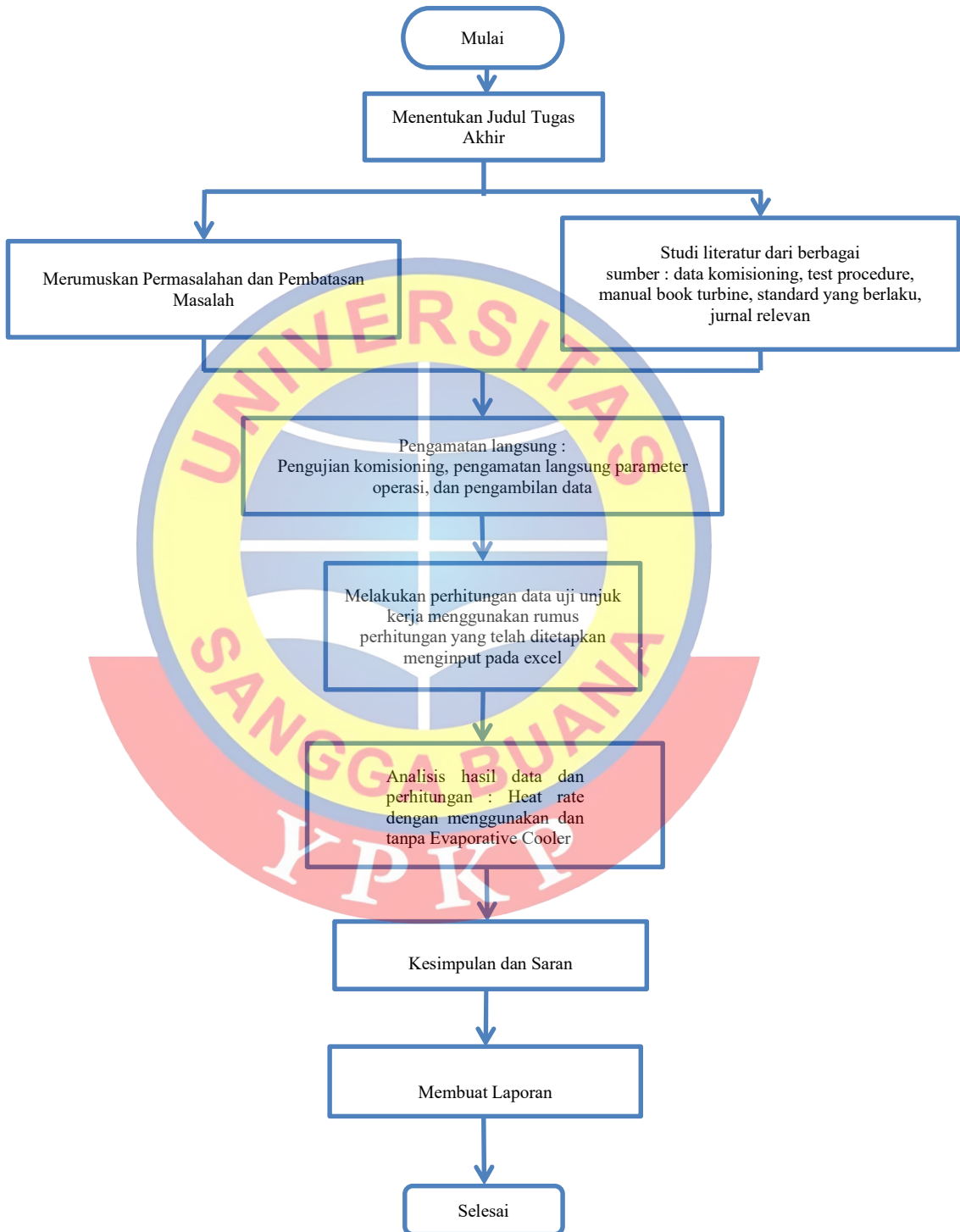
Gambar 3.1 PLTGU Jawa 1

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan tugas ini adalah metode kuantitatif. Metode ini dilakukan berdasarkan studi kasus yang ada di lapangan dan didukung dengan data-data yang diambil di lapangan, kemudian disertai dengan teori-teori pendukung lainnya seperti jurnal, standar internasional, laporan komisioning dan prosedur pengujian dari pabrikan. PT Jawa Satu Power dan PT GE Power menyediakan data pengujian *performance test*. Selain itu, untuk rumus Perhitungan diambil dari literatur, termasuk prosedur pengujian *performance test* PT GE Power, dan standar internasional seperti ASME PTC, ISO, AGA Report 8 yang tentunya disesuaikan dengan kondisi data yang diamati selama pengujian di lapangan. Hasilnya kemudian dimasukkan ke dalam laporan

penelitian Tugas akhir dalam format yang telah ditentukan. Kemudian hasil penelitian tugas akhir dituangkan dalam format laporan yang sudah di tentukan.

3.3 Desain Penelitian



Gambar 3.2 Flowchart Metode Penelitian

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Dalam proses penyusunan tugas akhir, informasi data diperlukan sebagai landasan atau referensi dalam menganalisa perhitungan untuk mendapatkan hasil terbaik dan memastikan penyelesaian tugas akhir tepat waktu. Informasi ini dapat diperoleh dengan beberapa cara berikut:

3.4.1 Metode Studi Literatur

Metode ini dilakukan dengan mempelajari referensi umum yang digunakan dalam perhitungan kinerja, instruksi kerja (IK), buku operasi manual, dan prosedur pengujian.

3.4.2 Metode Pengamatan Langsung

Metode ini dilakukan dengan melihat langsung bagaimana unit bekerja dan berpartisipasi dalam pengujian kinerja selama masa komisioning.

3.5 Teknik Pengolahan Data

Dalam tugas akhir ini dibutuhkan beberapa data masukan untuk perhitungan *heat rate*. Tahapan pengolahan data dalam perhitungan *heat rate* adalah sebagai berikut.

1. Data desain *heat balance* PLTGU Jawa 1 dapat digunakan untuk mendapatkan data desain. Nilai laju alir massa, entalpi, tekanan, dan suhu disetiap titik kondisi dapat diperoleh dari data pengaturan panas PLTGU Jawa 1.
2. Data *heat balance* nilai pengaturan panas untuk pembebanan sebesar 100% kapasitas total pembangkit.
3. Data *ambient temperature* dan *relative humidity* menurut laporan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) tahun 2023, suhu udara sekitar dan tingkat kelembapan relatif di Kota Karawang.
4. Data spesifikasi setiap komponen diperoleh dari desain pembangkit secara manual.

3.6 Teknik Perhitungan

Perhitungan uji unjuk kerja pada turbin gas mengacu pada standar ASME PTC

22, 6, 46 dan ISO 6974, 6975, 6976 serta mengacu pada prosedur uji dari pabrikan

PT GE. Perhitungan dibuat dalam microsoft excel dengan menggunakan rumus perhitungan yang ditetapkan di dalam referensi standar dan prosedur uji.

3.7 Teknik Analisis Data

Setelah didapatkan hasil perhitungan kondisi aktual pada saat evaporator cooler dinyalakan, kemudian hasil perhitungan tersebut dibandingkan terhadap perhitungan *performance test* yang dilakukan pada kondisi evaporator cooler dimatikan. Kemudian melakukan analisis dengan melakukan identifikasi terhadap parameter operasi yang memengaruhi terjadinya perubahan nilai unjuk kerja PLTGU jawa 1 dengan dan tanpa teknologi Evaporative Cooler.



BAB IV
DATA DAN ANALISIS

4.1 Data Pengujian.

Pada PLTGU Jawa 1 blok 11 peralatan utama yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

1. Turbin Gas

- Manufacturer : GE Energy Products France SNC
- Year of Manufacture : 2020
- Type : 9HA.02
- Serial Number : 899040/899041
- Rated output : 563.000 kW
- Rated speed : 3000 rpm

2. HRSG

- Manufacturer : GE POWER – Gas Power System
- Type : Once Through with Horizontal Tubes, Horizontal Gas Flow, Interbank SF between SH/RH banks
- Year of manufacture : -
- Serial number : IGF-00056-11/ IGF-00056-21
- Capacity : 902.368 Kg/hr
- HP steam pressure : 219.5 Barg
- HP steam temperature : 604 °C
- IP steam pressure : 51.0 Barg
- IP steam temperature : 604 °C
- LP steam pressure : 9.1 Barg
- LP steam temperature : 604 °C

3. Turbin Uap

- Manufacturer : GE POWER – Gas Power System
- Year of Manufacture : 2019
- Model : -

- Type : D652-41
- Serial Number : 370T044
- Rated output : 372,465 kW
- Main steam flow : -
- Main steam pressure : 187.41 bar
- Main steam temperature : 600°C
- Exhaust press : 0.0885 mbar
- Rated speed : 3000 rpm

4. Generator

- Manufacturer : GENERAL ELECTRIC COMPANY
- Year of Manufacture : 2019
- Type : W88 With Static Excitation
- Serial Number : PL100205
- Rated capacity : 1090000 kVA
- Rated voltage : 24000 V
- Rated current : 26221 A
- Rated power factor : 0.85
- Excitation voltage : 586 V
- Excitation current : 6186 A
- Rated speed : 3000 RPM
- Rated frequency : 50 Hz
- Number of phases : 3 phase

Data pengujian ini diambil dari parameter operasi selama pengujian unjuk kerja. Data dapat diambil dari pencatatan manual atau dari data download Sistem Pengumpulan Data. Uji unjuk kerja dilakukan selama satu jam pada set poin beban 100% dengan kondisi Evaporative cooler On dan Evaporative cooler Off menggunakan kondisi referensi seperti pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Kondisi referensi

Guarantee/Reference Conditions			
Ambient Temperature	C		31.00
Ambient Pressure	bar, a		1.0100
Ambient Relative Humidity	%		75.00
Ambient Wet Bulb Temperature	C		27.24
Ambient Temp break-point above which Evaps/Chiller should be ON	C		15.00
Power Factor	-		0.85
Frequency	Hz		50.00
Wet Bulb at Cooling Tower	C		27.24

4.1.1 Data Pengujian Pada Kondisi Evaporative cooler ON

Pada pengujian *base load* dengan kondisi Evaporative cooler ON menggunakan kondisi referensi seperti pada tabel 4.2 diperoleh data pengujian seperti berikut ini :

Tabel 4.2 Data hasil pengujian Evaporative Cooler On

Basic information			
Station		PLTGU Jawa 1	
Test Point Designation		Thermal Performance Test at Base Load Evap ON	
Test date		Tuesday, October 17, 2023	
Test Start time		11:00:00	
Test duration		60	
Fuel type (Natural gas, Liquid fuel)		Natural gas	
Power Block Type		1x1 9HA.02	
Heat Sink Boundary		Cooling tower	
Units of Measure		SI	
Test Results		Units	Results
Averaged Measured Data used in calculations			
Boundary Conditions			
Ambient Dry Bulb Temperature	C		36,0300
Ambient Wet Bulb Temperature	C		23,7600
Ambient Pressure	bar,a		1,0095
Ambient Relative Humidity	%		48,9614
Wet Bulb Temperature at Cooling Tower	C		26,3970
Power Measurements			
Power Block Power Output At Test Boundary	MW		893,0905
SS Generator Gross Output	MW		917,9685
SS Power Factor			0,9582
SS Frequency	Hz		50,0367
Heat Consumption and fuel properties			
Total Heat Consumption of the Power Block, LHV	kJ/hr		5390704291,4533
Total fuel flow to the gas turbines	kg/hr		94267,8614
Total gas turbine heat consumption, LHV	kJ/hr		4683893545,3285
GT 1 Fuel Flow	kg/hr		94267,8614
Total duct burner heat consumption, LHV	kJ/hr		706810746,1248
Duct burner 1 Fuel Flow	kg/hr		14225,2459
Natural Gas LHV	kJ/kg		49687,0670
H/C Molar Ratio			3,9126
Gas Fuel Composition			
Hydrocarbons			
Methane (CH4)	Mole Frac		0,9636
Ethane (C2H6)	Mole Frac		0,0267
Propane (C3H8)	Mole Frac		0,0054
Isobutane (C4H10)	Mole Frac		0,0010
N-Butane (C4H10)	Mole Frac		0,0013
Isopentane (C5H12)	Mole Frac		0,0002
N-Pentane (C5H12)	Mole Frac		0,0000
Non-Hydrocarbons			
Nitrogen (N2)	Mole Frac		0,0017

4.1.2 Data Pengujian Pada Kondisi Evaporative cooler OFF

Pada pengujian *base load* dengan kondisi Evaporative cooler Off menggunakan kondisi referensi seperti pada tabel 4.3 diperoleh data pengujian seperti berikut ini :

Tabel 4.3 Data hasil pengujian Evaporative Cooler Off

Basic information		
Station	PLTGU Jawa 1	
Test Point Designation	Thermal Performance Test at Base Load Evap OFF	
Test date	Friday, October 20, 2023	
Test Start time	17:00:00	
Test duration	60	
Fuel type (Natural gas, Liquid fuel)	Natural gas	
Power Block Type	1x1 9HA.03	
Heat Sink Boundary	Cooling tower	
Units of Measure	SI	
Averaged Measured Data used in calculations	Units	Results
Boundary Conditions		
Ambient Dry Bulb Temperature	C	30,5562931
Ambient Wet Bulb Temperature	C	25,86
Ambient Pressure	bar,a	1,009037758
Ambient Relative Humidity	%	77,2631967
Wet Bulb Temperature at Cooling Tower	C	25,74
Power Measurements		
Power Block Power Output At Test Boundary	MW	857,8952525
SS Generator Gross Output	MW	883,6600016
SS Power Factor		0,971066521
SS Frequency	Hz	50,03992315
Heat Consumption and fuel properties		
Total Heat Consumption of the Power Block, LHV	kJ/hr	5150222376,0000
Total fuel flow to the gas turbines	kg/hr	90654,0000
Total gas turbine heat consumption, LHV	kJ/hr	4499520636,0000
GT 1 Fuel Flow	kg/hr	90654
Total duct burner heat consumption, LHV	kJ/hr	650701740
Duct burner 1 Fuel Flow	kg/hr	13110
Natural Gas LHV	kJ/kg	49634
H/C Molar Ratio		3,92
Gas Fuel Composition		
Hydrocarbons		
Methane (CH ₄)	Mole Frac	0,967368
Ethane (C ₂ H ₆)	Mole Frac	0,023334
Propane (C ₃ H ₈)	Mole Frac	0,00468
Isobutane (C ₄ H ₁₀)	Mole Frac	0,000909
N-Butane (C ₄ H ₁₀)	Mole Frac	0,001122
Isopentane (C ₅ H ₁₂)	Mole Frac	0,000213
N-Pentane (C ₅ H ₁₂)	Mole Frac	0,000035
Non-Hydrocarbons		
Nitrogen (N ₂)	Mole Frac	0,002321

4.2 Perhitungan Heat Rate

Perhitungan kinerja tes ini menggunakan rumus acuan dari standar internasional ASME PTC 22, 46 serta buku panduan dan prosedur pengujian pabrikan GE.

4.2.1 Perhitungan Heat rate Pada Kondisi Evaporative cooler ON

4.2.1.1 Menentukan Power output

Untuk *net power output* data rata-rata diambil selama 1 jam pada kWh meter mendapatkan nilai **893.090,5207 kW**.

4.2.1.2 Menentukan Heat Consumption

Untuk heat consumption dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Q = Q_{GT} + Q_{DBHC}$$

$$Q = 4683893545,3285 \text{ kJ/hr} + 706810746,1248 \text{ kJ/hr}$$

$$Q = \mathbf{5390704291,4533 \text{ kJ/hr}}$$

Di mana:

$$Q_{GT} = W_{GT,i} * LHV_P, \text{ kJ/hr}$$

$$Q_{DB} = W_{DB,i} * LHV_P, \text{ kJ/hr}$$

Di mana:

$$W_{GT,i} = \text{Gas Turbine fuel flow rate, kg/hr}$$

$$W_{DB,i} = \text{Duct Burner fuel flow rate, kg/hr}$$

$$LHV_P = \text{Fuel lower heating value at constant pressure, kJ/kg}$$

$$Q_{GT} = W_{GT,i} * LHV_P, \text{ kJ/hr, kJ/hr}$$

$$Q_{GT} = 94267,8614 * 49687,067$$

$$Q_{GT} = \mathbf{4683893545,3285 \text{ kJ/hr}}$$

$$Q_{DB} = W_{DB,i} * LHV_P, \text{ kJ/hr}$$

$$Q_{DB} = 14225,2459 * 49687,067$$

$$Q_{DB} = \mathbf{706810746,1248 \text{ kJ/hr}}$$

4.2.1.3 Menentukan Heat rate

Untuk menghitung *heat rate* dapat menggunakan rumus :

$$HR = \frac{Q}{P}$$

Di mana :

HR = Heat rate pengujian (kJ/kW-hr)

Q = Heat Consumption (kJ/hr)

P = Power output (kW)

Sehingga nilai combine cycle heat rate pada kondisi evaporative cooler on saat pengujian adalah sebagai berikut :

$$\text{Heat rate} = \frac{5390704291,4533}{893090,5207}$$

$$\text{Heat rate} = \mathbf{6.036,011 \text{ kJ/kW-hr}}$$

4.2.2 Perhitungan Heat rate Pada Kondisi Evaporative cooler OFF

4.2.2.1 Menentukan Power output

Untuk *net power output* data rata-rata diambil selama 1 jam pada kWh meter mendapatkan nilai **857.895,2525 kW**.

4.2.2.2 Menentukan Heat Consumption

Untuk *heat consumption* dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Q = Q_{GT} + Q_{DBHC}$$

$$Q = 4499520636,0000 \text{ kJ/hr} + 650701740 \text{ kJ/hr}$$

$$Q = \mathbf{5150222376,0000 \text{ kJ/hr}}$$

Di mana:

$$Q_{GT} = W_{GT,i} * LHV_P, \text{ kJ/hr}$$

$$Q_{DB} = W_{DB,i} * LHV_P, \text{ kJ/hr}$$

Di mana:

$$Q_{GT} = \text{Heat Consumption gas turbine, kJ/hr}$$

$$Q_{DB} = \text{Heat Consumption duct burner, kJ/hr}$$

$$W_{GT,i} = \text{Gas Turbine fuel flow rate, kg/hr}$$

$$W_{DB,i} = \text{Duct Burner fuel flow rate, kg/hr}$$

$$LHV_P = \text{Fuel lower heating value at constant pressure, kJ/kg}$$

$$Q_{GT} = W_{GT,i} * LHV_P, \text{ kJ/hr, kJ/hr}$$

$$Q_{GT} = 90654 * 49634$$

$$Q_{GT} = \mathbf{4499520636,0000 \text{ kJ/hr}}$$