

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Spesifikasi GTG 2.2

Penelitian dan pengambilan data tugas akhir ini dilaksanakan di PT Indonesia Power Unit Pembangkitan Semarang. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan unit GTG 2.2 tampak depan.



Gambar 4. 1 Unit GTG 2.2 Tampak Depan

Spesifikasi GTG 2.2 yang digunakan pada PT Indonesia Power Unit Pembangkitan Semarang yaitu sebagai berikut:

- a. Industri: General Electric
- b. Model gas turbin: GE / MS 900 1E
- c. Tipe: *Axial-flow*
- d. Jumlah tingkat: 3
- e. Jumlah *shaft*: 1 (*single shaft*)
- f. *Turbine shaft speed*: 3000 rpm

## 4.2 Data Operasi GTG 2.2

Data operasi berupa  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $P_2$ ,  $T_4$ ,  $\dot{m}_{BB}$ , dan  $NK_{BB}$  dapat dilihat pada Tabel 4.1 yang terlampir dibawah ini.

Tabel 4. 1 Data Operasi Unit GTG 2.2

Jam	*Load (MW)	** $T_1$ (°C)	*** $T_2$ (°C)	**** $P_2$ (bar)	***** $T_4$ (°C)	***** $\dot{m}_{BB}$ (kg/s)	***** $NK_{BB}$ (kJ/kg)
Tanggal 17 Juni 2019							
01.00	92.13	26.46	351.97	9.98	560.54	6.34	54258.24
02.00	92.37	26.46	353.98	10.06	543.39	6.28	54258.24
03.00	92.41	26.29	351.27	9.95	559.92	6.32	54258.24
04.00	92.78	25.59	349.43	9.92	559.95	6.30	54258.24
05.00	91.86	25.77	350.26	9.92	559.26	6.31	54258.24
06.00	92.16	24.90	348.25	9.92	560.89	6.25	54258.24
07.00	92.89	24.55	347.24	9.92	560.09	6.29	54258.24
08.00	91.28	26.29	350.78	9.94	560.06	6.32	54258.24
09.00	92.05	28.20	356.65	10.02	559.99	6.37	54258.24
10.00	91.66	30.45	360.02	10.03	559.95	6.26	54258.24
11.00	75.02	31.15	340.33	8.72	558.70	5.54	54258.24
12.00	74.69	32.23	342.87	8.77	560.13	5.48	54258.24
13.00	75.69	32.57	343.53	8.75	560.26	5.55	54258.24
14.00	74.05	33.27	345.06	8.75	560.68	5.59	54258.24
15.00	74.53	33.79	346.41	8.77	559.95	5.59	54258.24
16.00	75.72	33.44	346.06	8.76	560.65	5.62	54258.24
17.00	75.94	33.44	345.06	8.77	559.40	5.64	54258.24
18.00	89.67	30.63	358.49	9.88	558.98	6.31	54258.24
19.00	90.06	30.11	357.83	9.89	560.02	6.31	54258.24
20.00	90.53	29.93	356.31	9.86	559.92	6.34	54258.24
21.00	90.17	28.89	353.46	9.84	560.16	6.31	54258.24
22.00	89.42	28.20	351.97	9.79	559.74	6.23	54258.24
23.00	89.13	27.85	350.96	9.78	560.92	6.21	54258.24

Jam	*Load (MW)	**T <sub>1</sub> (°C)	***T <sub>2</sub> (°C)	****P <sub>2</sub> (bar)	*****T <sub>4</sub> (°C)	***** ṁ <sub>BB</sub> (kg/s)	*****NK <sub>BB</sub> (kJ/kg)
24.00	89.44	27.50	350.96	9.79	559.78	6.23	54258.24
Tanggal 18 Juni 2019							
01.00	90.28	27.33	350.09	9.83	558.74	6.23	54260.28
02.00	89.63	26.98	349.78	9.79	560.19	6.17	54260.28
03.00	89.83	26.29	348.25	9.79	560.58	6.18	54260.28
04.00	89.31	26.11	346.90	9.77	560.54	6.21	54260.28
05.00	89.56	25.24	345.23	9.71	560.30	6.22	54260.28
06.00	89.52	24.72	344.05	9.70	559.29	6.12	54260.28
07.00	89.63	25.94	347.73	9.77	559.29	6.19	54260.28
08.00	90.00	28.37	352.31	9.81	559.57	6.21	54260.28
09.00	90.03	29.24	354.99	9.90	560.58	6.28	54260.28
10.00	90.67	30.11	357.88	9.92	560.72	6.21	54260.28
Tanggal 19 Juni 2019							
18.00	74.41	29.59	336.97	8.42	560.16	5.53	54265.37
19.00	91.06	29.24	359.15	10.02	560.85	6.38	54265.37
20.00	90.92	29.06	358.01	9.98	560.99	6.36	54265.37
21.00	80.63	27.85	339.99	8.99	558.67	5.83	54265.37
22.00	80.44	27.68	338.98	8.96	559.12	5.82	54265.37
23.00	89.69	26.98	350.78	9.75	560.02	6.18	54265.37
24.00	89.91	25.77	347.59	9.80	560.72	6.18	54265.37
Tanggal 20 Juni 2019							
01.00	90.03	25.59	346.90	9.75	560.75	6.19	54255.76
02.00	89.93	25.24	347.07	9.76	559.29	6.18	54255.76
03.00	90.48	25.24	346.06	9.75	559.19	6.21	54255.76
04.00	89.89	24.90	345.89	9.77	559.47	6.18	54255.76
05.00	89.91	24.55	345.54	9.77	559.64	6.18	54255.76
06.00	90.94	24.55	345.06	9.72	560.54	6.20	54255.76
07.00	90.05	24.20	344.71	9.75	560.26	6.19	54255.76

Jam	*Load (MW)	**T <sub>1</sub> (°C)	***T <sub>2</sub> (°C)	****P <sub>2</sub> (bar)	*****T <sub>4</sub> (°C)	***** ṁ <sub>BB</sub> (kg/s)	*****NK <sub>BB</sub> (kJ/kg)
08.00	92.38	25.94	349.95	9.95	561.38	6.34	54255.76
09.00	91.77	28.02	356.65	10.06	560.75	6.37	54255.76
10.00	91.83	29.93	361.69	10.10	559.50	6.38	54255.76
11.00	91.02	31.15	362.35	10.05	560.06	6.15	54255.76
12.00	88.88	31.70	361.17	9.87	560.72	6.22	54255.76
13.00	88.83	32.40	361.69	9.87	560.85	6.21	54255.76
14.00	88.70	32.57	361.51	9.78	559.71	6.16	54255.76
15.00	87.89	33.79	363.70	9.84	560.58	6.20	54255.76
16.00	87.70	33.09	362.87	9.81	559.85	6.18	54255.76
17.00	88.67	32.40	360.85	9.80	560.33	6.21	54255.76
18.00	90.94	31.70	363.18	10.02	559.78	6.32	54255.76
19.00	91.38	30.80	362.17	10.06	559.67	6.38	54255.76
20.00	91.72	29.59	359.85	10.04	559.22	6.36	54255.76
21.00	92.27	28.20	355.65	10.02	560.61	6.33	54255.76
22.00	92.17	27.85	353.81	10.02	559.92	6.39	54255.76
23.00	92.73	26.63	352.63	9.98	559.05	6.31	54255.76
24.00	85.66	26.11	341.86	9.38	560.16	5.93	54255.76
Tanggal 21 Juni 2019							
02.00	91.69	25.42	349.26	9.90	559.40	6.36	54257.55
03.00	92.44	24.03	346.72	9.88	559.64	6.34	54257.55
04.00	92.30	23.33	345.23	9.87	560.19	6.31	54257.55
05.00	91.47	22.81	344.05	9.86	559.08	6.34	54257.55
06.00	91.20	22.47	343.04	9.84	560.78	6.33	54257.55
07.00	91.64	22.47	343.18	9.86	560.54	6.27	54257.55
08.00	91.73	24.90	351.27	10.08	558.08	6.43	54257.55
09.00	91.56	28.54	356.65	9.98	560.89	6.41	54257.55
10.00	69.41	30.11	332.56	8.33	560.78	5.36	54257.55
11.00	69.09	30.98	333.42	8.36	561.55	5.21	54257.55

Jam	*Load (MW)	**T <sub>1</sub> (°C)	***T <sub>2</sub> (°C)	****P <sub>2</sub> (bar)	*****T <sub>4</sub> (°C)	***** ṁ <sub>BB</sub> (kg/s)	*****NK <sub>BB</sub> (kJ/kg)
12.00	70.45	32.05	336.44	8.38	560.44	5.20	54257.55
13.00	70.81	32.23	337.63	8.34	558.81	5.36	54257.55
14.00	87.20	32.40	360.33	9.76	560.37	6.18	54257.55
15.00	88.27	32.92	361.86	9.80	560.85	6.06	54257.55
16.00	88.27	31.70	358.84	9.73	559.47	6.05	54257.55
17.00	87.81	30.63	356.17	9.71	560.44	6.19	54257.55
18.00	90.61	29.93	357.49	9.83	560.13	6.32	54257.55
19.00	89.88	29.59	358.49	9.99	560.37	6.41	54257.55
20.00	90.69	29.59	358.67	9.98	559.74	6.38	54257.55
21.00	90.37	29.76	356.31	9.89	558.98	6.34	54257.55
22.00	80.20	27.85	339.15	8.95	559.99	5.82	54257.55
23.00	80.44	27.68	350.96	9.75	500.82	5.61	54257.55
24.00	79.48	27.68	351.13	9.77	501.10	5.64	54257.55
Tanggal 22 Juni 2019							
01.00	79.97	25.42	347.59	9.82	493.70	5.66	54256.63
02.00	80.11	24.90	336.44	8.74	556.06	5.67	54256.63
03.00	80.53	24.55	344.71	9.70	499.60	5.62	54256.63
04.00	79.78	23.85	329.71	8.82	559.95	5.70	54256.63
05.00	86.50	23.51	336.27	9.30	560.65	6.07	54256.63
06.00	69.73	22.99	338.63	9.60	451.76	5.36	54256.63
07.00	92.17	22.81	350.09	10.23	533.28	6.23	54256.63
08.00	92.50	24.72	351.97	10.15	541.86	6.28	54256.63
09.00	92.27	27.50	357.49	10.14	541.13	6.23	54256.63
10.00	89.61	30.45	357.31	9.85	559.99	6.25	54256.63
11.00	90.23	31.70	360.85	9.88	560.37	6.09	54256.63
12.00	89.89	31.53	361.69	9.92	559.81	6.12	54256.63
13.00	80.27	32.40	348.60	9.09	560.09	5.78	54256.63
14.00	80.03	32.23	348.60	9.08	559.22	5.80	54256.63

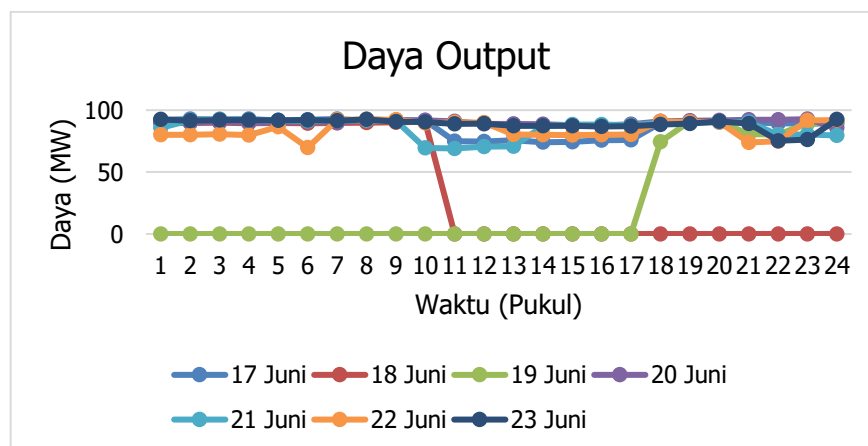
Jam	*Load (MW)	**T <sub>1</sub> (°C)	***T <sub>2</sub> (°C)	****P <sub>2</sub> (bar)	*****T <sub>4</sub> (°C)	***** ṁ <sub>BB</sub> (kg/s)	*****NK <sub>BB</sub> (kJ/kg)
15.00	79.77	32.40	349.08	9.06	559.95	5.60	54256.63
16.00	80.20	32.05	348.77	9.06	560.16	5.58	54256.63
17.00	80.33	30.98	345.40	9.05	560.15	5.61	54256.63
18.00	90.95	29.93	359.15	9.99	559.92	6.30	54256.63
19.00	90.36	30.45	359.33	9.93	559.64	6.29	54256.63
20.00	90.42	30.28	356.83	9.87	561.27	6.28	54256.63
21.00	73.83	29.76	337.97	8.69	560.92	5.61	54256.63
22.00	74.80	28.72	336.44	8.70	560.54	5.55	54256.63
23.00	91.77	29.06	385.32	10.07	559.88	6.42	54256.63
24.00	92.00	28.54	357.00	10.02	559.22	6.32	54256.63
Tanggal 23 Juni 2019							
01.00	92.53	26.81	353.15	9.99	560.68	6.31	54252.25
02.00	91.42	25.77	350.44	9.95	560.92	6.32	54252.25
03.00	92.02	25.59	349.43	9.95	560.16	6.34	54252.25
04.00	92.11	24.72	348.25	9.92	560.54	6.28	54252.25
05.00	91.78	24.03	346.55	9.92	560.37	6.31	54252.25
06.00	92.11	24.03	346.55	9.87	558.91	6.27	54252.25
07.00	91.44	24.55	346.90	9.87	559.36	6.27	54252.25
08.00	92.55	26.11	351.62	9.95	560.23	6.32	54252.25
09.00	90.77	28.89	355.82	9.87	560.09	6.20	54252.25
10.00	90.56	30.80	360.02	9.98	559.50	6.24	54252.25
11.00	88.89	31.70	361.17	9.92	559.67	6.05	54252.25
12.00	89.14	32.57	361.86	9.89	560.51	5.96	54252.25
13.00	87.44	33.44	362.03	9.75	559.71	6.11	54252.25
14.00	87.42	34.14	363.53	9.75	557.49	6.07	54252.25
15.00	87.42	33.44	361.34	9.73	560.23	5.93	54252.25
16.00	86.84	33.27	361.17	9.71	558.49	5.88	54252.25
17.00	87.19	32.23	358.01	9.66	559.95	5.99	54252.25

Jam	*Load (MW)	**T <sub>1</sub> (°C)	***T <sub>2</sub> (°C)	****P <sub>2</sub> (bar)	*****T <sub>4</sub> (°C)	***** ṁ <sub>BB</sub> (kg/s)	*****NK <sub>BB</sub> (kJ/kg)
18.00	88.25	31.36	356.65	9.74	560.82	6.18	54252.25
19.00	89.17	30.28	358.67	9.95	561.13	6.30	54252.25
20.00	90.84	30.28	357.49	9.90	559.05	6.34	54252.25
21.00	89.06	30.11	357.31	9.90	558.94	6.28	54252.25
22.00	75.30	29.06	335.96	8.71	559.36	5.58	54252.25
23.00	76.27	27.50	333.74	8.69	561.34	5.54	54252.25
24.00	92.44	26.81	355.15	9.99	559.22	6.33	54252.25

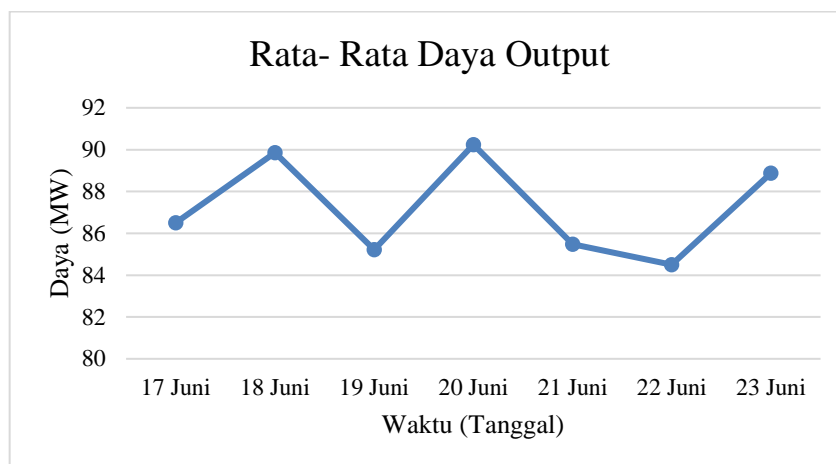
Keterangan:

- \*Load : daya yang dihasilkan
- \*\*T<sub>1</sub> : temperature masuk kompresor
- \*\*\*T<sub>2</sub> : temperature keluar kompresor
- \*\*\*\*P<sub>2</sub> : tekanan keluar kompresor
- \*\*\*\*\*T<sub>4</sub> : temperature keluar turbin
- \*\*\*\*\*ṁ<sub>BB</sub> : laju aliran bahan bakar
- \*\*\*\*\*NK<sub>BB</sub> : nilai kalor bahan bakar

Berdasarkan Tabel 4.1 maka diperoleh grafik daya *output* selama 7 hari seperti pada Gambar 4.2 dan grafik rata-ratanya seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Grafik Daya Output

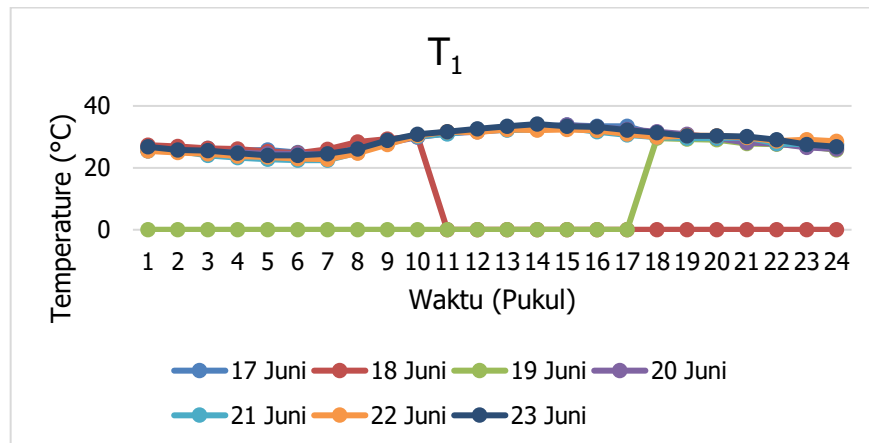
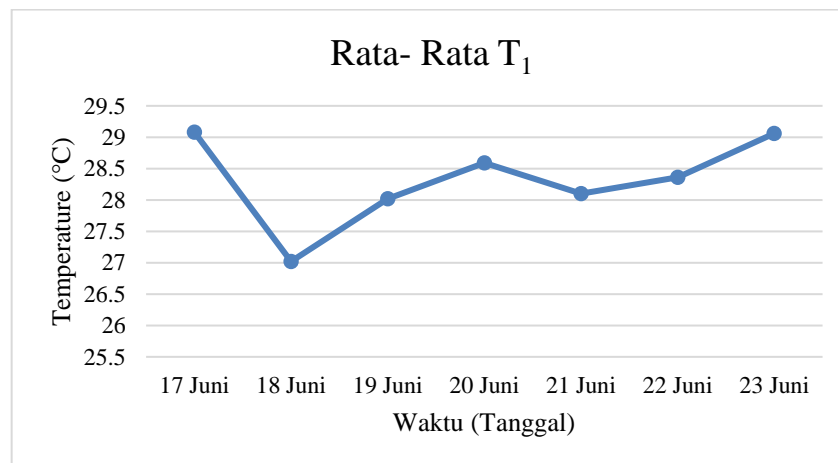


Gambar 4. 3 Grafik Rata-Rata Daya Output

Fluktuasi daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh kebutuhan beban yang digunakan konsumen. Penggunaan beban tertinggi berkisar mulai dari jam 17.00 hingga jam 22.00. Daya yang dihasilkan mempengaruhi nilai efisiensi pada sistem. Semakin besar daya yang dihasilkan maka nilai efisiensinya semakin baik, tetapi hal tersebut juga dipengaruhi oleh energi bahan bakar gas yang digunakan. Pada Tanggal 18 Juni 2019 mulai pukul 11.00 hingga 19 Juni 2019 pukul 17.00 unit GTG 2.2 tidak dioperasikan karena dilakukan pengecekan pada komponen. Daya tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 92.89 MW pada tanggal 17 Juni 2019 pukul 07.00, besarnya nilai daya yang dihasilkan tersebut dikarenakan tingginya permintaan daya dari konsumen. Sedangkan daya terendahnya sebesar 69.09 MW pada tanggal 21 Juni 2019 pukul 01.00, rendahnya nilai daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh sedikitnya kebutuhan daya yang digunakan oleh konsumen. Untuk nilai rata-rata perharinya diperoleh nilai tertinggi pada tanggal 20 Juni sebesar 90.24 MW sedangkan nilai terendahnya pada tanggal 22 Juni 2019 yaitu sebesar 80.50 MW. Nilai rata-rata daya yang didapat setelah melakukan observasi selama 7 hari yaitu sebesar 87.24 MW.

Gambar 4.4 merupakan grafik  $T_1$  selama 7 hari dan Gambar 4.5 merupakan rata-rata  $T_1$  yang diperoleh dari Tabel 4.1.

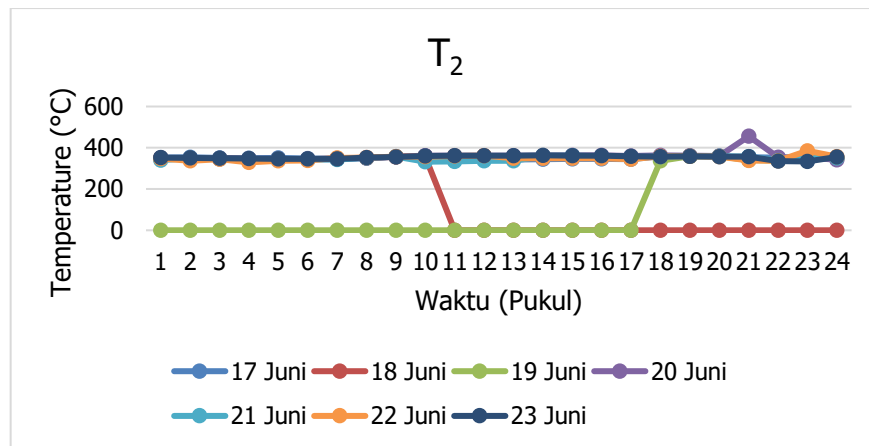


Gambar 4. 4 Grafik Nilai  $T_1$ Gambar 4. 5 Grafik Nilai Rata-Rata  $T_1$ 

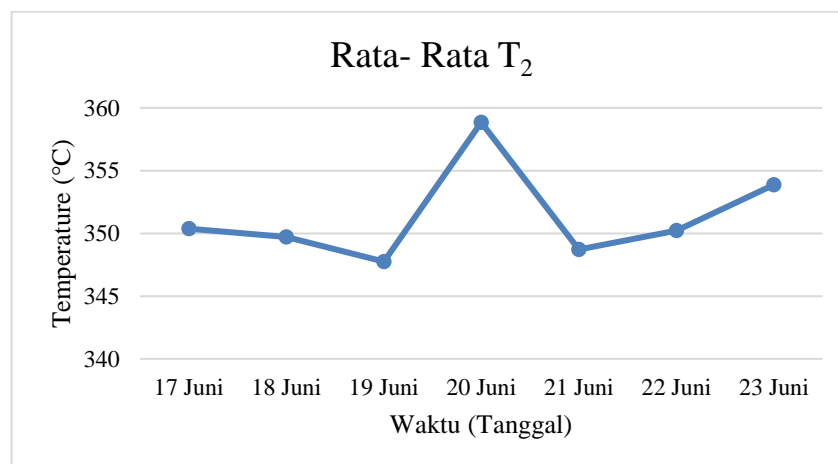
$T_1$  merupakan *temperature* udara yang masuk pada kompresor atau *temperature ambient*. Fluktuasi pada  $T_1$  dipengaruhi oleh kelembapan udara dan cuaca. Besarnya nilai  $T_1$  mempengaruhi proses kerja kompresor, semakin tinggi *temperature* nya maka akan semakin baik, tetapi nilainya memiliki batasan maksimal. Jika melewati batasan maksimal tersebut maka akan mempengaruhi kerja aktual dan efisiensi pada kompresor. Pada Tanggal 18 Juni 2019 mulai pukul 11.00 hingga 19 Juni 2019 pukul 17.00 unit GTG 2.2 tidak dioperasikan karena dilakukan pengecekan pada komponen. *Temperature* pada  $T_1$  memiliki nilai tertinggi sebesar 34.14 °C pada pukul 14.00 tanggal 23 Juni 2019, hal tersebut

dikarenakan tingginya *temperature* pada siang hari. Sedangkan nilai terendahnya yaitu sebesar 22.47 °C pada pukul 07.00 dan 08.00 tanggal 21 Juni 2019 dapat disebabkan oleh cuaca mendung dan *temperature*nya yang rendah. Pada T<sub>1</sub>, nilai rata-rata harian tertingginya yaitu sebesar 29.08 °C pada tanggal 17 Juni 2019 dan nilai terendahnya sebesar 27.02 °C pada tanggal 18 Juni 2019. Nilai rata-rata yang didapat setelah melakukan observasi selama 7 hari yaitu sebesar 28.32 °C.

Berdasarkan Tabel 4.1 diperoleh grafik data operasi T<sub>2</sub> pada Gambar 4.6 dan nilai rata-rata data operasi T<sub>2</sub> yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



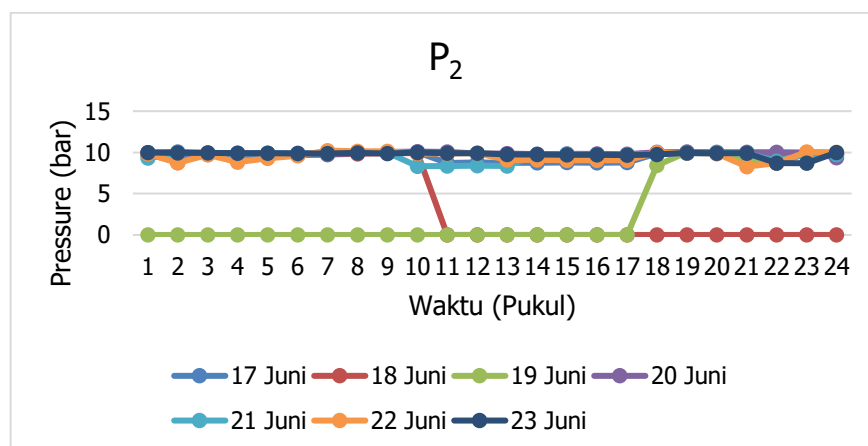
Gambar 4. 6 Grafik Nilai T<sub>2</sub>



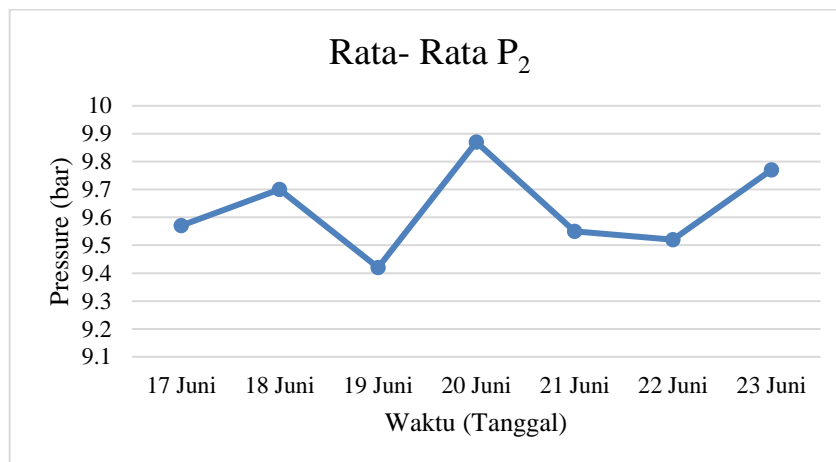
Gambar 4. 7 Grafik Nilai Rata-Rata T<sub>2</sub>

*Temperature* pada  $T_2$  memiliki nilai tertinggi sebesar  $455.65\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada pukul 21.00 tanggal 20 Juni 2019 dapat disebabkan oleh rendahnya *temperature* udara yang masuk pada kompresor. Sedangkan nilai terendahnya yaitu sebesar  $329.21\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada pukul 04.00 tanggal 22 Juni 2019 dikarenakan tingginya *temperature* udara yang masuk pada kompresor. Pada Tanggal 18 Juni 2019 mulai pukul 11.00 hingga 19 Juni 2019 pukul 17.00 unit GTG 2.2 tidak dioperasikan karena dilakukan pengecekan pada komponen. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.7 dapat diketahui nilai rata-rata tertinggi pada  $T_2$  terdapat pada tanggal 20 Juni 2019 yaitu sebesar  $358.84\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan nilai terendahnya pada tanggal 19 Juni 2019 sebesar  $347.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Besarnya nilai  $T_2$  dipengaruhi oleh rambatan *temperature* pada material turbin karena kompresor dirangkai menyatu dengan turbin, *temperature* udara yang masuk juga dapat mempengaruhi nilai pada  $T_2$ , serta kebersihan dari sudu-sudu pada kompresor. Selain itu rambatan *temperature*, tekanan udara juga dapat mempengaruhi besarnya nilai pada  $T_2$ . Nilai rata-rata  $T_2$  yang didapat setelah melakukan observasi selama 7 hari yaitu sebesar  $351.30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Berdasarkan data operasi GTG 2.2 yang tertera pada Tabel 4.1 didapat grafik data  $P_2$  dan rata-rata nilai  $P_2$  yang dihasilkan berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



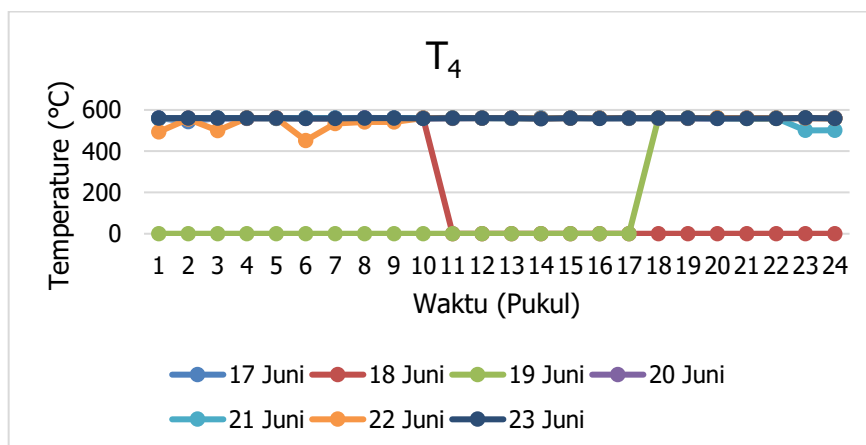
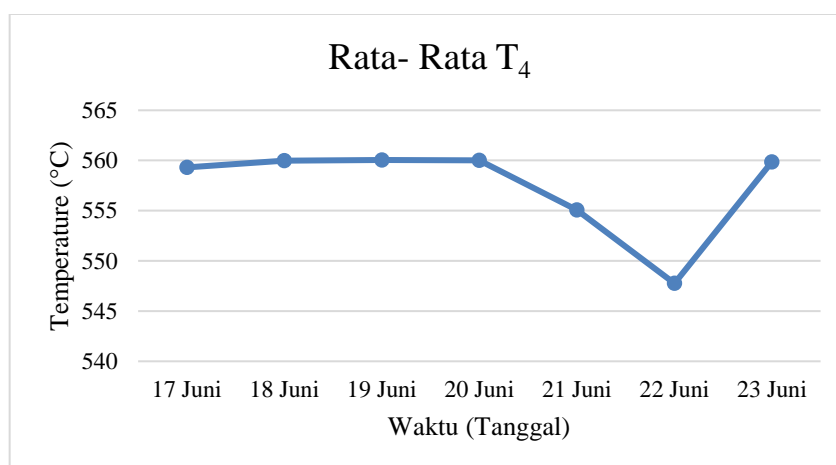
Gambar 4. 8 Grafik Nilai  $P_2$



Gambar 4. 9 Rata-Rata Nilai  $P_2$

Nilai  $P_2$  merupakan tekanan yang keluar dari kompresor. Berdasarkan grafik pada siklus *Bryton* nilai  $P_2$  sama dengan nilai  $P_3$ . Tekanan yang dihasilkan ini dipengaruhi oleh kebersihan sudu-sudu kompresor dan *pressure* pada udara yang masuk pada kompresor. Pada Tanggal 18 Juni 2019 mulai pukul 11.00 hingga 19 Juni 2019 pukul 17.00 unit GTG 2.2 tidak dioperasikan karena dilakukan pengecekan pada komponen. Berdasarkan data operasi yang telah diperoleh, nilai maksimal pada  $P_2$  sebesar 10.23 bar yang terdapat pada tanggal 22 Juni 2019 pukul 07.00, hal tersebut dapat disebabkan oleh bersihnya udara yang masuk pada kompresor. Sedangkan nilai minimumnya sebesar 8.29 bar yaitu pada tanggal 22 Juni 2019 pukul 21.00, kurangnya kebersihan udara yang masuk pada kompresor. dilihat dari grafik pada Gambar 4.9 dapat diketahui nilai rata-rata tertinggi pada  $P_2$  yaitu sebesar 9.87 bar pada tanggal 20 Juni 2019 dan nilai terendahnya sebesar 9.42 bar pada tanggal 19 Juni 2019. Nilai rata-rata yang  $P_2$  didapat setelah melakukan observasi selama 7 hari yaitu sebesar 9.63 bar.

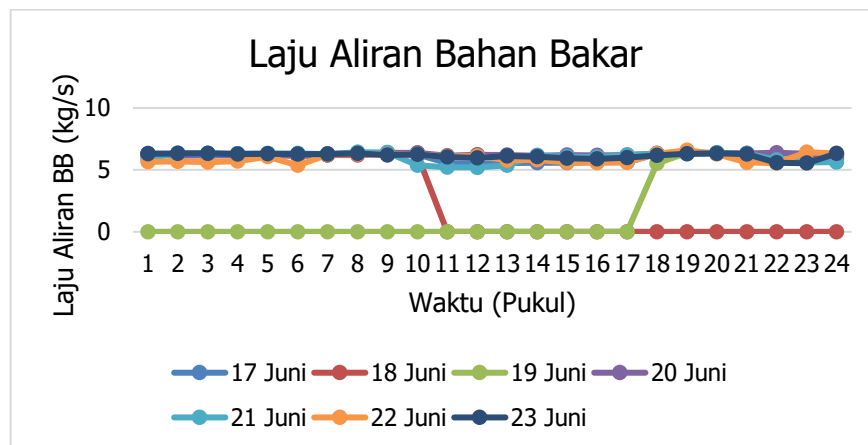
Berikut grafik *temperature* keluar turbin atau  $T_4$  terdapat pada Gambar 4.10 dan nilai rata-ratanya yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.

Gambar 4. 10 Grafik Nilai T<sub>4</sub>Gambar 4. 11 Grafik Nilai Rata-Rata T<sub>4</sub>

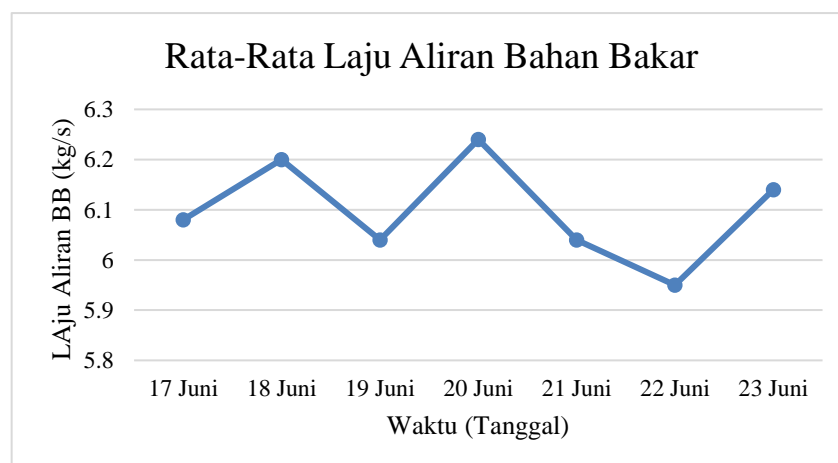
T<sub>4</sub> adalah besarnya *temperature* yang keluar dari turbin atau *temperature* gas buang pada turbin. Besarnya nilai T<sub>4</sub> dipengaruhi oleh proses *combined cycle* yang membutuhkan *temperature* yang tinggi untuk gas buang pada turbin. Tingginya *temperature* pada T<sub>4</sub> mempengaruhi efisiensi pada sistem GTG. semakin tinggi nilainya maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin baik, tetapi tingginya *temperature* tersebut memiliki batasan maksimal yang sudah ditentukan pada spesifikasi turbin sendiri yaitu sebesar 550.8 °C. Pada Tanggal 18 Juni 2019 mulai pukul 11.00 hingga 19 Juni 2019 pukul 17.00 unit GTG 2.2 tidak dioperasikan karena dilakukan pengecekan pada komponen. *Temperature* tertinggi pada T<sub>4</sub> yaitu sebesar 561.55 °C pada pukul 11.00 tanggal 21 Juni 2019, hasil tersebut dipengaruhi oleh besarnya laju aliran udara yang masuk pada kompresor.

Sedangkan *temperature* terendahnya sebesar 451.76 °C yang terdapat pada pukul 06.00 tanggal 22 Juni 2019, minimnya *temperature* yang dihasilkan tersebut dapat diakibatkan oleh rendahnya laju aliran udara yang masuk pada kompresor. Nilai rata-rata tertinggi pada T<sub>4</sub> terdapat pada tanggal sebesar 559.98 °C dan nilai terendahnya pada tanggal 22 Juni 2019 yaitu sebesar 547.46 °C. Nilai rata-rata T<sub>4</sub> yang didapat setelah melakukan observasi selama 7 hari yaitu sebesar 557.39 °C.

Berikut merupakan grafik laju aliran bahan bakar beserta nilai rata-ratanya yang diperoleh dari Tabel 4.1 berturut-turut pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13



Gambar 4. 12 Grafik Nilai Laju Aliran Bahan Bakar

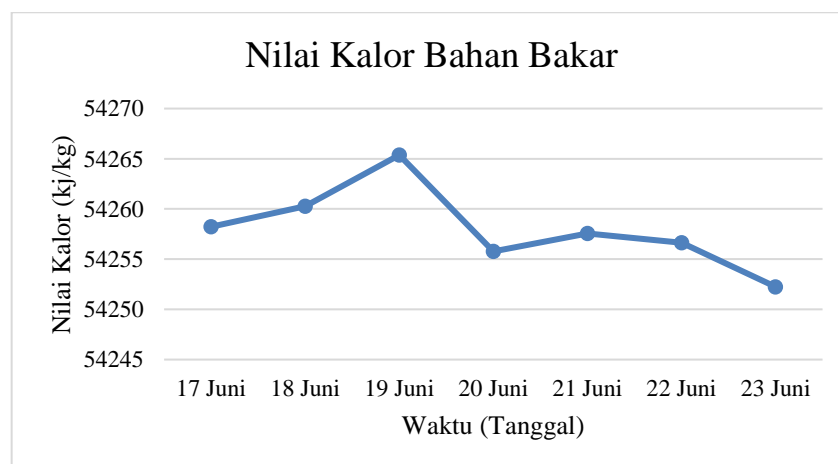


Gambar 4. 13 Grafik Nilai Rata-Rata Laju Aliran Bahan Bakar

Pada Tanggal 18 Juni 2019 mulai pukul 11.00 hingga 19 Juni 2019 pukul 17.00 unit GTG 2.2 tidak dioperasikan karena dilakukan pengecekan pada

komponen. Nilai maksimal laju aliran pada bahan bakar berdasarkan data operasi yang diperoleh yaitu sebesar  $6.59 \text{ kg/s}$  yang terdapat pada pukul 19.00 tanggal 22 Juni 2019 maksimalnya laju aliran udara dipengaruhi oleh besarnya daya yang dibutuhkan dan energi yang digunakan pada proses pembakaran dan nilai minimumnya sebesar  $5.2 \text{ kg/s}$  yaitu pada pukul 12.00 tanggal 21.00, minimnya nilai laju aliran udara disebabkan oleh rendahnya daya yang akan dihasilkan dan energi yang digunakan. untuk nilai rata-ratanya tertinggi pada tanggal 20 Juni 2019 sebesar  $6.24 \text{ kg/s}$  dan nilai terendahnya pada tanggal 22 Juni 2019 sebesar  $5.95 \text{ kg/s}$ . Laju aliran bahan bakar ini mempengaruhi proses pembakaran pada *combustion chamber*. Besarnya nilai ini harus disesuaikan dengan udara yang digunakan agar proses pembakaran dapat berlangsung secara optimal. Nilai rata-rata laju aliran bahan bakar yang didapat setelah melakukan observasi selama 7 hari yaitu sebesar  $6.10 \text{ kg/s}$ .

Gambar 4.14 merupakan gambar grafik nilai kalor bahan bakar yang diperoleh dari data operasi pada Tabel 4.1.



Gambar 4. 14 Grafik Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor pada bahan bakar berpengaruh pada *output* daya yang dihasilkan, besarnya energi yang terdapat pada bahan bakar harus sebanding dengan energi yang akan digunakan. Nilai kalor maksimum berdasarkan Tabel 4.1 yaitu sebesar  $54265.37 \text{ kJ/kg}$  yang terdapat pada tanggal 19 Juni 2019, besarnya nilai kalor bahan

bakar dipengaruhi oleh energi yang terkandung pada bahan bakar gas yang digunakan dan nilai minimumnya sebesar  $54252.25 \text{ kJ/kg}$  yaitu pada tanggal 23 Juni 2019 disebabkan oleh rendahnya energi yang terkandung pada bahan bakar gas. Nilai rata-rata yang didapat setelah melakukan observasi selama 7 hari yaitu sebesar  $54258.01 \text{ kJ/kg}$ .

### 4.3 Perhitungan Nilai Efisiensi

Contoh perhitungan diambil dari salah satu data yaitu pada tanggal 17 Juni 2019 pada pukul 01.00 WIB.

#### 4.3.1 Kondisi 1

Pada kondisi ini, udara yang masuk ke kompresor diperoleh dari lingkungan (udara atmosfer) melalui *air inlet*. Nilai  $P_1$  adalah tekanan atmosfer yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan barometer yang tertera pada lampiran.

$$P_1 = 76 \text{ mmHg} = 1.01325 \text{ bar}$$

$$T_1 = 26.46 \text{ }^\circ\text{C} = 299.61 \text{ K}$$

Nilai entalpi udara dihitung menggunakan rumus interpolasi dan tabel termodinamika dari buku "*Thermodynamics An Engineering Approach 5th edition*" karangan Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles pada bagian Table A-17.

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{(T_1 - T_{\text{bawah}})(h_{\text{atas}} - h_{\text{bawah}})}{(T_{\text{atas}} - T_{\text{bawah}})} + h_{\text{bawah}} \\ &= \frac{(299.61 - 298)(300.19 - 298.18)}{(300 - 298)} + 298.18 \\ &= 299.79 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

#### 4.3.2 Kondisi 2

Pada kondisi ini udara akan dikompresikan menuju ruang bakar dengan *temperature* dan tekanan sebagai berikut:

$$P_2 = 9.98 \text{ bar}$$

$$T_2 = 351.97 \text{ }^\circ\text{C} = 625.12 \text{ K}$$



Untuk mencari nilai entalpi udaranya digunakan cara yang sama seperti sebelumnya.

$$\begin{aligned}
 h_2 &= \frac{(T_2 - T_{\text{bawah}})(h_{\text{atas}} - h_{\text{bawah}})}{(T_{\text{atas}} - T_{\text{bawah}})} + h_{\text{bawah}} \\
 &= \frac{(625.12 - 620)(638.63 - 628.07)}{(630 - 620)} + 628.07 \\
 &= 633.47 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Karena kondisi yang didapat merupakan kondisi ideal, kondisi ini berlangsung proses kompresi *isentropic* yang mendapatkan nilai  $Pr_1$  sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 Pr_1 &= \frac{(T_1 - T_{\text{bawah}})(Pr_{\text{atas}} - Pr_{\text{bawah}})}{(T_{\text{atas}} - T_{\text{bawah}})} + Pr_{\text{bawah}} \\
 &= \frac{(299.61 - 298)(1.3860 - 1.3543)}{(300 - 298)} + 1.3543 \\
 &= 1.38 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pr'_2 &= Pr_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \\
 &= 1.3798 \left( \frac{9.98}{1.01} \right) \\
 &= 13.59 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Dari nilai  $Pr'_2$  yang didapat digunakan untuk mencari entalpi udara menggunakan interpolasi dan tabel yang sama seperti sebelumnya.

$$\begin{aligned}
 h'_2 &= \frac{(Pr'_2 - Pr_{\text{bawah}})(h_{\text{atas}} - h_{\text{bawah}})}{(Pr_{\text{atas}} - Pr_{\text{bawah}})} + h_{\text{bawah}} \\
 &= \frac{(13.59 - 13.50)(586.04 - 575.59)}{(14.38 - 13.50)} + 575.59 \\
 &= 576.66 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

### 4.3.3 Kondisi 3

Kondisi ini terjadi proses pembakaran pada ruang bakar (*combustion chamber*), bahan bakar yang berupa gas akan dicampurkan dengan udara yang sebelumnya dikompresi pada kompresor dan pemantik api yang digunakan agar proses pembakaran dapat berlangsung. Fluida dari pembakaran tersebut akan keluar menuju turbin untuk menggerakkan sudu-sudu pada turbin yang akan mengubah energi fluida hasil pembakaran menjadi energi gerak.

$$T_4 = 560.54 \text{ }^\circ\text{C} = 833.69 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} Pr_4 &= \frac{(T_4 - T_{\text{bawah}}) (Pr_{\text{atas}} - Pr_{\text{bawah}})}{(T_{\text{atas}} - T_{\text{bawah}})} + Pr_{\text{bawah}} \\ &= \frac{(833.6 - 820) (57.60 - 52.59)}{(840 - 820)} + 52.59 \\ &= 56.02 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Diasumsikan  $P_3 = P_2$

$$\begin{aligned} Pr_3 &= Pr_4 \left( \frac{P_3}{P_4} \right) \\ &= 56.02 \left( \frac{9.98}{1.01} \right) \\ &= 551.67 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_3 &= \frac{(Pr_3 - Pr_{\text{bawah}}) (h_{\text{atas}} - h_{\text{bawah}})}{(Pr_{\text{atas}} - Pr_{\text{bawah}})} + h_{\text{bawah}} \\ &= \frac{(551.67 - 537.10) (1611.79 - 1587.63)}{(568.80 - 537.10)} + 1587.63 \\ &= 1598.80 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Nilai  $T_3$  tidak dapat diketahui oleh sistem karena *temperaturnya* terlalu tinggi, maka dapat dihitung menggunakan interpolasi dan tabel gas ideal menggunakan hasil  $h_3$  yang telah didapat sebelumnya.

$$\begin{aligned} T_3 &= \frac{(h_3 - h_{\text{bawah}}) (T_{\text{atas}} - T_{\text{bawah}})}{(h_{\text{atas}} - h_{\text{bawah}})} + T_{\text{atas}} \\ &= \frac{(1598.80 - 1587.63) (1480 - 1460)}{(1480 - 1460)} + 1460 \\ &= 1469.25 \text{ K} \end{aligned}$$

#### 4.3.4 Kondisi 4

Kondisi 4 terjadi proses ekspansi gas buang dari hasil pembakaran pada turbin. *Temperature* gas buang ini menjadi lebih tinggi dari gas ideal, hal tersebut dikarenakan adanya proses gesekan antara gas hasil pembakaran dengan sudu-sudu pada turbin. Untuk mencari nilai entalpinya digunakan rumus interpolasi dan tabel gas ideal dengan nilai  $T_4$  yang didapat melalui data operator.

$$\begin{aligned} h_4 &= \frac{(T_4 - T_{\text{bawah}})(h_{\text{atas}} - h_{\text{bawah}})}{(T_{\text{atas}} - T_{\text{bawah}})} + h_{\text{bawah}} \\ &= \frac{(833.69 - 820)(866.08 - 848.98)}{(840 - 820)} + 843.98 \\ &= 859.11 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Karena didapat kondisi ideal pada kondisi ini maka terjadi proses isentropis yang dapat dihitung dengan ketetapan konstanta  $k$  sebesar 1,4. Diasumsikan nilai  $P_4=P_1$  dan  $P_2=P_3$

$$\begin{aligned} T'_4 &= T_3 \left( \frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} \\ &= 1469.25 \left( \frac{1.01}{9.98} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} \\ &= 764.30 \text{ K} \end{aligned}$$

Dari hasil  $T'_4$  yang telah didapat maka dapat dihitung nilai entalpi isentropisnya.

$$\begin{aligned} h'_4 &= \frac{(T'_4 - T_{\text{bawah}})(h_{\text{atas}} - h_{\text{bawah}})}{(T_{\text{atas}} - T_{\text{bawah}})} + h_{\text{bawah}} \\ &= \frac{(764.30 - 760)(800.03 - 778.18)}{(780 - 760)} + 778.18 \\ &= 782.88 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

### 4.3.5 Kalor Masuk

Nilai kalor masuk dapat dihitung dengan rumus seperti pada Persamaan 2.4 dengan data laju aliran dan nilai kalor dari bahan bakar yang diperoleh melalui data operator.

$$\begin{aligned} Q_{in} &= \dot{m}_{BB} \times NK_{BB} \\ &= 6.34 \times 54258.23 \\ &= 343997.24 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

### 4.3.6 Laju Aliran Udara

Dari hasil perhitungan nilai kalor masuk, dapat dihitung laju aliran udara yang masuk dengan nilai  $h_3$  dan  $h_2$  yang telah didapat dari perhitungan sebelumnya. Perhitungan laju aliran udara seperti pada Persamaan 2.5

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ud} &= \frac{Q_{in} - (\dot{m}_{BB} \cdot h_3)}{(h_3 - h_2)} \\ &= \frac{343997.17 - (6.34 \cdot 1598.80)}{(1598.80 - 633.47)} \\ &= 334.72 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

### 4.3.7 Kerja Kompresor

#### a. Efisiensi kompresor

Nilai efisiensi kompresor dihitung menggunakan rumus yang tertera pada Persamaan 2.2.

$$\begin{aligned} \eta_c &= \frac{h'_2 - h_1}{h_2 - h_1} \times 100\% \\ &= \frac{576.66 - 299.79}{633.47 - 299.79} \times 100\% \\ &= 82.97 \% \end{aligned}$$

### b. Kerja aktual kompresor

Nilai kerja aktual pada kompresor dihitung menggunakan Persamaan 2.1.

$$\begin{aligned}
 W_{ca} &= \frac{\dot{m}_{ud} (h_2 - h_1)}{\eta_c} \\
 &= \frac{345.85 (633.47 - 299.79)}{0.82} \\
 &= 139083.80 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

## 4.3.8 Kerja Turbin

### a. Efisiensi turbin

Besarnya nilai efisiensi pada turbin dapat diketahui dengan melakukan perhitungan menggunakan Persamaan 2.7.

$$\begin{aligned}
 \eta_t &= \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h'_4} \times 100\% \\
 &= \frac{1598.80 - 859.11}{1598.80 - 782.88} \times 100\% \\
 &= 91 \%
 \end{aligned}$$

### b. Kerja aktual turbin

Nilai kerja aktual kompresor dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$\begin{aligned}
 W_{ta} &= (\dot{m}_{ud} + \dot{m}_{BB}) \cdot (h_3 - h_4) \\
 &= (345.85 + 6.34) (1598.80 - 859.11) \\
 &= 260515.62 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

## 4.3.9 Efisiensi Sistem

Nilai efisiensi sistem pada GTG 2.2 untuk data pada tanggal 17 Juni 2019 pukul 01.00 dihitung menggunakan persamaan 2.9 dengan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \eta_{th} &= \frac{W_{ta} - W_{ca}}{\dot{m}_{BB} \times NK_{BB}} \times 100\% \\
 &= \frac{260515.62 - 139083.80}{6.34 \times 54258.23} \times 100\% \\
 &= 35.30 \%
 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan nilai efisiensi yang lainnya dipaparkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Efisiensi Kompresor, Turbin, dan Sistem Pada GTG 2.2

Jam	Efisiensi Kompresor	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
Tanggal 17 Juni 2019			
02.00	82.83 %	90.88 %	34.86 %
03.00	82.93 %	90.67 %	35.23 %
04.00	82.89 %	90.67 %	35.22 %
05.00	82.77 %	90.68 %	35.10 %
06.00	82.84 %	90.65 %	35.24 %
07.00	82.92 %	90.66 %	35.32 %
08.00	83.01 %	90.66 %	35.29 %
09.00	82.85 %	90.67 %	35.13 %
10.00	83.21 %	90.67 %	35.25 %
11.00	81.86 %	90.65 %	32.53 %
12.00	81.98 %	90.62 %	32.66 %
13.00	81.86 %	90.62 %	32.52 %
14.00	81.81 %	90.61 %	32.44 %
15.00	81.83 %	90.62 %	32.44 %
16.00	81.69 %	90.61 %	32.31 %
17.00	82.01 %	90.63 %	32.61 %
18.00	82.94 %	90.68 %	34.95 %
19.00	82.90 %	90.66 %	34.91 %
20.00	83.05 %	90.67 %	35.01 %
21.00	83.16 %	90.66 %	35.11 %
22.00	82.94 %	90.67 %	34.89 %
23.00	82.98 %	90.65 %	34.93 %
24.00	82.85 %	90.67 %	34.84 %

Jam	Efisiensi Kompresor	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
<b>Tanggal 18 Juni 2019</b>			
01.00	83.19 %	90.69 %	35.24 %
02.00	82.87 %	90.66 %	34.98 %
03.00	82.91 %	90.65 %	35.06 %
04.00	83.08 %	90.66 %	35.18 %
05.00	82.76 %	90.66 %	34.90 %
06.00	82.75 %	90.67 %	34.89 %
07.00	82.77 %	90.67 %	34.92 %
08.00	83.04 %	90.67 %	35.05 %
09.00	83.24 %	90.65 %	35.27 %
10.00	83.03 %	90.65 %	35.07 %
<b>Tanggal 19 Juni 2019</b>			
18.00	80.45 %	90.60 %	30.91 %
19.00	82.75 %	90.65 %	34.99 %
20.00	82.75 %	90.65 %	34.96 %
21.00	81.79 %	90.65 %	33.00 %
22.00	81.82 %	90.64 %	33.00 %
23.00	82.40 %	90.67 %	34.54 %
24.00	82.87 %	90.65 %	34.06 %
<b>Tanggal 20 Juni 2019</b>			
01.00	82.70 %	90.65 %	34.88 %
02.00	82.53 %	90.68 %	34.75 %
03.00	82.74 %	90.68 %	34.91 %
04.00	82.71 %	90.67 %	34.93 %
05.00	82.62 %	90.67 %	34.88 %
06.00	82.50 %	90.66 %	34.73 %
07.00	82.56 %	90.66 %	34.83 %
08.00	83.09 %	90.64 %	35.40 %

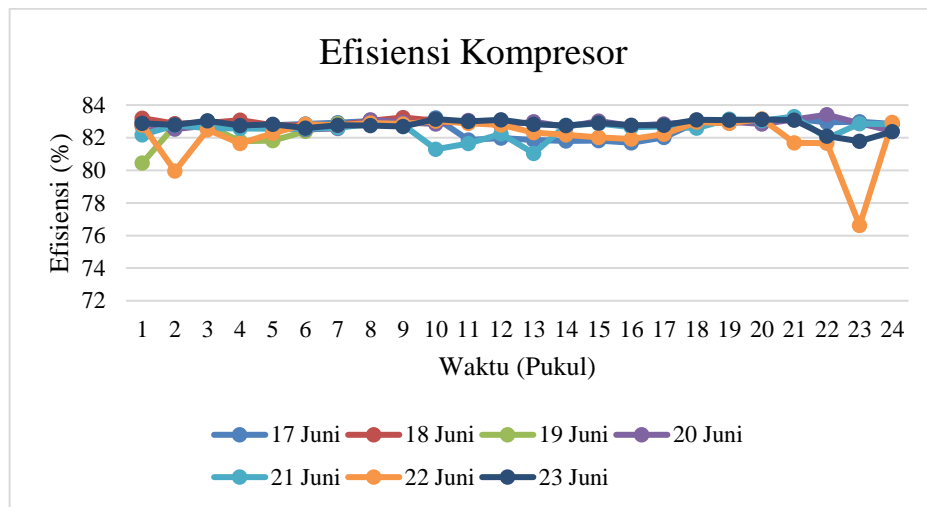
Jam	Efisiensi Kompresor	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
09.00	82.95 %	90.66 %	35.28 %
10.00	82.85 %	90.68 %	35.10 %
11.00	83.05 %	90.67 %	35.16 %
12.00	82.75 %	90.65 %	34.67 %
13.00	82.98 %	90.65 %	34.83 %
14.00	82.66 %	90.67 %	34.44 %
15.00	83.02 %	90.65 %	34.74 %
16.00	82.73 %	90.67 %	34.50 %
17.00	82.84 %	90.66 %	34.63 %
18.00	82.97 %	90.67 %	35.01 %
19.00	82.98 %	90.67 %	35.11 %
20.00	82.85 %	90.68 %	35.05 %
21.00	83.11 %	90.66 %	35.36 %
22.00	83.41 %	90.67 %	35.62 %
23.00	82.89 %	90.68 %	35.20 %
24.00	82.41 %	90.64 %	34.16 %
<b>Tanggal 21 Juni 2019</b>			
01.00	82.18 %	90.66 %	33.88 %
02.00	82.76 %	90.67 %	35.07 %
03.00	82.59 %	90.67 %	34.54 %
04.00	82.56 %	90.66 %	35.02 %
05.00	82.55 %	90.68 %	35.01 %
06.00	82.54 %	90.65 %	35.03 %
07.00	82.60 %	90.66 %	35.10 %
08.00	82.84 %	90.70 %	35.36 %
09.00	82.79 %	90.65 %	35.06 %
10.00	81.29 %	90.59 %	31.60 %
11.00	81.64 %	90.58 %	31.92 %
12.00	82.83 %	90.58 %	31.69 %



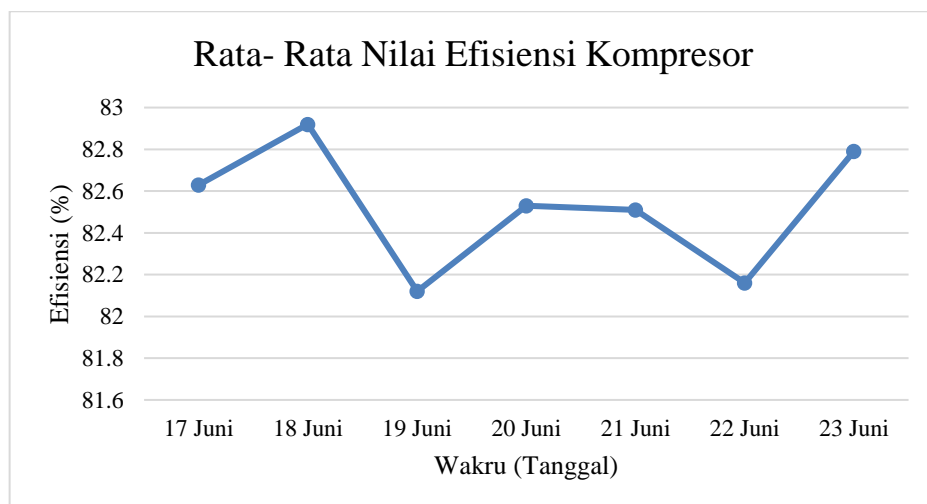
Jam	Efisiensi Kompresor	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
13.00	81.04 %	90.62 %	31.19 %
14.00	82.77 %	90.66 %	34.53 %
15.00	82.86 %	90.65 %	34.62 %
16.00	82.64 %	90.67 %	34.42 %
17.00	82.69 %	90.66 %	34.52 %
18.00	82.59 %	90.68 %	34.60 %
19.00	83.14 %	90.66 %	35.10 %
20.00	83.04 %	90.67 %	35.00 %
21.00	83.30 %	90.68 %	35.10 %
22.00	81.96 %	90.64 %	32.98 %
23.00	82.87 %	91.76 %	33.58 %
24.00	82.88 %	91.36 %	33.66 %
<b>Tanggal 22 Juni 2019</b>			
01.00	82.79 %	91.46 %	33.71 %
02.00	79.95 %	90.68 %	31.15 %
03.00	82.49 %	91.39 %	33.49 %
04.00	81.65 %	90.62 %	32.89 %
05.00	82.27 %	90.63 %	34.05 %
06.00	82.82 %	92.03 %	32.59 %
07.00	82.77 %	90.99 %	35.14 %
08.00	82.90 %	90.90 %	35.23 %
09.00	82.85 %	90.91 %	34.99 %
10.00	83.01 %	90.68 %	34.91 %
11.00	82.88 %	90.66 %	34.80 %
12.00	82.78 %	90.67 %	34.75 %
13.00	82.32 %	90.63 %	33.35 %
14.00	82.17 %	90.65 %	33.21 %
15.00	82.02 %	90.63 %	33.05 %
16.00	81.92 %	90.63 %	32.99 %

Jam	Efisiensi Kompresor	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
17.00	82.22 %	90.63 %	33.30 %
18.00	82.96 %	90.67 %	35.08 %
19.00	82.88 %	90.67 %	34.92 %
20.00	83.15 %	90.64 %	35.11 %
21.00	81.69 %	90.61 %	32.43 %
22.00	81.67 %	90.62 %	32.47 %
23.00	76.62 %	90.57 %	28.92 %
24.00	82.94 %	90.68 %	35.18 %
<b>Tanggal 23 Juni 2019</b>			
01.00	82.89 %	90.65 %	35.22 %
02.00	82.78 %	90.65 %	35.23 %
03.00	83.04 %	90.66 %	35.91 %
04.00	82.75 %	90.66 %	35.15 %
05.00	82.83 %	90.66 %	35.26 %
06.00	82.58 %	90.68 %	34.98 %
07.00	82.76 %	90.68 %	35.10 %
08.00	82.74 %	90.66 %	35.09 %
09.00	82.69 %	90.66 %	34.76 %
10.00	83.14 %	90.67 %	35.16 %
11.00	83.00 %	90.67 %	34.93 %
12.00	83.10 %	90.66 %	34.96 %
13.00	82.83 %	90.67 %	34.49 %
14.00	82.75 %	90.70 %	34.38 %
15.00	82.91 %	90.66 %	34.55 %
16.00	82.76 %	92.00 %	34.38 %
17.00	82.77 %	91.98 %	34.42 %
18.00	83.09 %	90.65 %	34.85 %
19.00	83.07 %	90.65 %	35.11 %

Jam	Efisiensi Kompresor	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
20.00	83.12 %	90.68 %	35.09 %
21.00	83.08 %	90.68 %	35.06 %
22.00	82.09 %	90.64 %	32.75 %
23.00	81.78 %	90.60 %	32.61 %
24.00	82.37 %	90.68 %	34.76 %



Gambar 4. 15 Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Kompresor

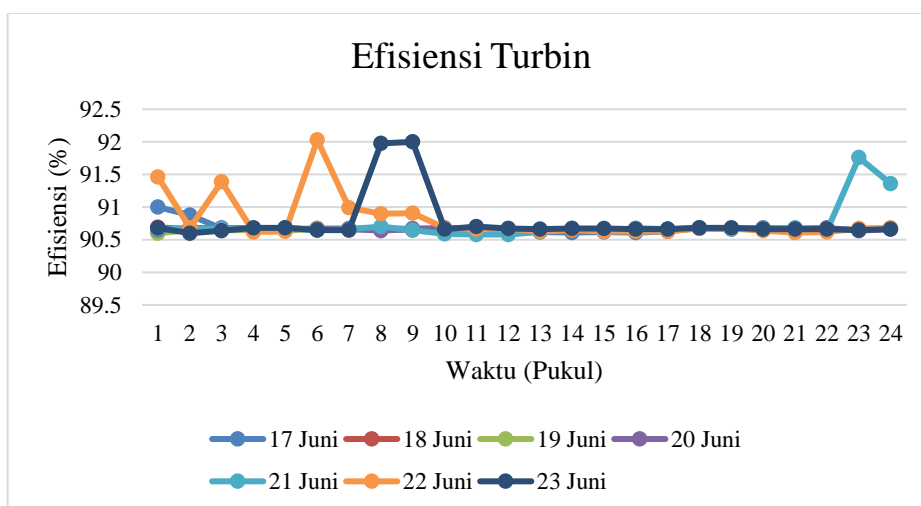


Gambar 4. 16 Grafik Nilai Rata-Rata Hasil Perhitungan Efisiensi Kompresor

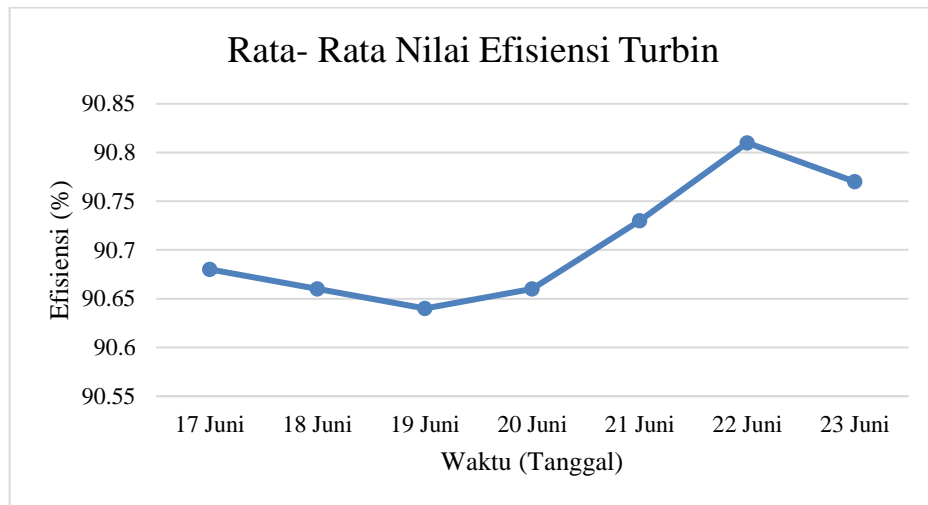
Dari hasil perhitungan yang telah tertera pada Tabel 4.2 dapat diketahui hasil efisiensi tertinggi dari kompresor yaitu sebesar 83.41% pada pukul 22.00

tanggal 20 Juni 2019 dan efisiensi terendahnya terdapat pada pukul 22.00 tanggal 23 Juni 2019 yaitu sebesar 76.62%. Efisiensi pada kompresor dipengaruhi oleh besarnya nilai  $T_1$ ,  $T_2$ , dan  $P_2$ . Setelah dilakukan perhitungan setiap jamnya, diambil nilai rata-rata perharinya. Berdasarkan Gambar 4.16 yaitu rata-rata efisiensi kompresor perharinya diperoleh efisiensi tertinggi pada tanggal 18 Juni 2019 yaitu sebesar 82.96% dan efisiensi terendahnya pada tanggal 19 Juni 2019 yaitu 82.12%. Dilihat dari hasil yang telah diperoleh rata-rata nilai efisiensinya dapat dikategorikan baik.

Berikut merupakan grafik hasil efisiensi turbin yang dihitung setiap jam selama 7 hari yang tertera pada Gambar 4.17 dan hasil rata-rata efisiensi turbin perharinya yang ditunjukkan pada Gambar 4.18

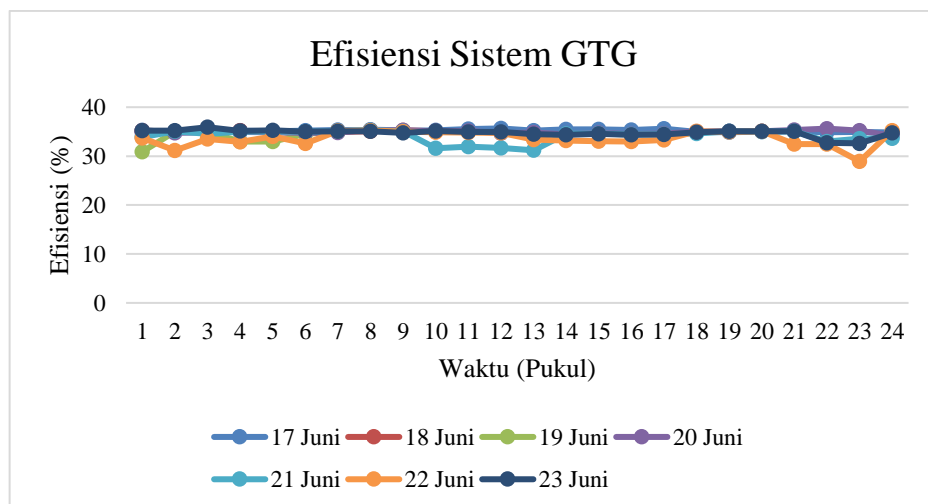


Gambar 4. 17 Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin

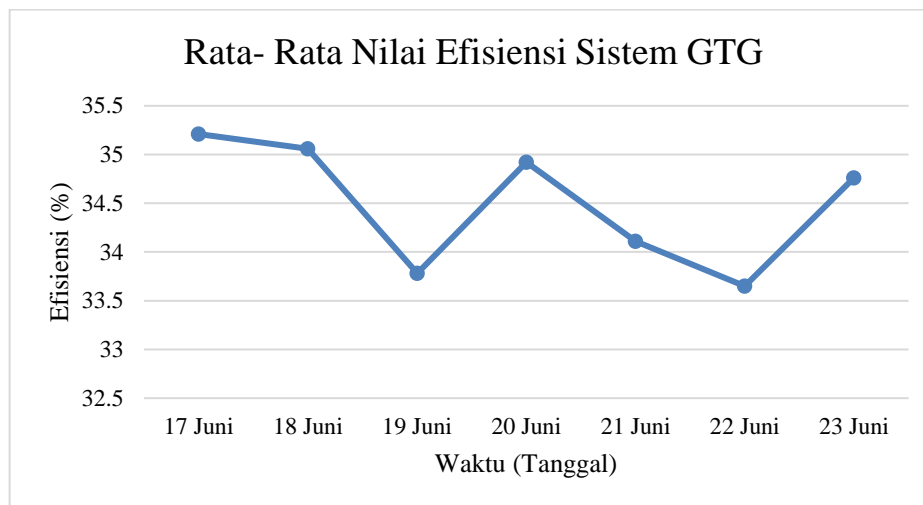


Gambar 4. 18 Grafik Nilai Rata-Rata Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin

Berdasarkan hasil perhitungan yang terdapat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.17 dapat diketahui efisiensi tertinggi pada turbin sebesar 92.03% pada pukul 06.00 tanggal 22 Juni 2019 dan efisiensi terendahnya pada pukul 23.00 tanggal 22 Juni 2019 yaitu sebesar 90.57%. Berdasarkan Gambar 4.18 yaitu rata-rata efisiensi turbin perharinya diperoleh efisiensi tertinggi pada tanggal 22 Juni 2019 yaitu sebesar 90.80% dan efisiensi terendahnya pada tanggal 19 Juni 2019 yaitu 90.64%. Besarnya nilai efisiensi pada turbin dipengaruhi oleh besarnya nilai pada  $T_3$ ,  $T_4$ , dan  $P_3$ .



Gambar 4. 19 Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem Pada GTG 2.2



Gambar 4. 20 Grafik Nilai Rata-Rata Hasil Perhitungan Efisiensi Pada Sistem GTG 2.2

Dari hasil perhitungan yang telah tertera pada Tabel 4.2 dapat diketahui hasil efisiensi tertinggi dari efisiensi sistem GTG 2.2 yaitu sebesar 35.91% pada pukul 03.00 tanggal 23 Juni 2019 dan efisiensi terendahnya terdapat pada pukul 23.00 tanggal 22 Juni 2019 yaitu sebesar 29.82%. Berdasarkan Gambar 4.20 yaitu rata-rata efisiensi perharinya diperoleh efisiensi tertinggi pada tanggal 17 Juni 2019 yaitu sebesar 34.30% dan efisiensi terendahnya pada tanggal 22 Juni 2019 yaitu sebesar 33.65%.

Nilai efisiensi pada sistem GTG dipengaruhi oleh *temperature* gas buang yaitu pada  $T_4$  yang terdapat pada kondisi 4. Nilai efisiensi akan maksimal apabila *temperature* dan *pressure* pada kondisi 4 bernilai tinggi, tetapi nilai tersebut memiliki batasan maksimal yang telah ditentukan pada spesifikasi peralatannya yaitu dengan *temperature* sebesar 550.8 °C dan *pressure* sebesar 1.045 bar. Berdasarkan buku “*Gas Turbine Engineering Handbook 2<sup>nd</sup>*” karangan Meherwan P. Boyce menjelaskan nilai ideal efisiensi pada GTG yang memiliki kapasitas antara 3 MW hingga 480 MW yaitu berkisar antara 30%-46%. Dari hasil perhitungan yang didapat, dapat diketahui bahwa nilai efisiensi pada GTG 2.2 dapat dikategorikan normal karena tidak melewati batasan minimum rentangan nilai ideal nilai efisiensi.

#### 4.4 Analisis Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi

Hasil penelitian pada GTG 2.2 dapat diketahui nilai tertinggi dari data operasi berupa daya yang dihasilkan yaitu sebesar 92.89 MW,  $T_1$  sebesar 34.14 °C,  $T_2$  sebesar 385.32 °C,  $P_2$  sebesar 10.23 bar,  $T_4$  sebesar 561.55 °C,  $\dot{m}_{BB}$  sebesar 6.43 kg/s,  $NK_{BB}$  sebesar 54265.37 kJ/kg. Sedangkan data operasi terendah diperoleh daya yang dihasilkan sebesar 69.09 MW  $T_1$  sebesar 22.47 °C,  $T_2$  sebesar 26.11 °C,  $P_2$  sebesar 8.33 bar,  $T_4$  sebesar 451.76 °C,  $\dot{m}_{BB}$  sebesar 5.20 kg/s,  $NK_{BB}$  sebesar 54252.25 kJ/kg.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.2 didapatkan hasil efisiensi tertinggi dari kompresor, turbin dan sistem secara berturut-turut sebesar 92.03%, 83.41%, dan 35.91%. sedangkan efisiensi terendahnya secara berturut-turut sebesar 90.58%, 76.62%, dan 29.82%.

Laju aliran bahan bakar dan nilai kalor mempengaruhi nilai efisiensi pada sistem karena saat proses pembakaran, bahan bakar yang digunakan dan udara yang masuk harus seimbang. Keseimbangan penggunaan antara bahan bakar dan udara yang masuk akan berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan.

Besarnya nilai efisiensi pada sistem dipengaruhi oleh nilai *temperature* pada gas buang yaitu pada kondisi 4. Semakin tinggi *temperature* dan *pressure*-nya maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin tinggi, tetapi tingginya nilai *temperature* dan *pressure* pada gas buang memiliki nilai maksimal yaitu sebesar 550.8 °C dan 1.045 bar. Batasan maksimal tersebut didapat berdasarkan spesifikasi peralatan. Selain itu, nilai efisiensi sistem dapat meningkat seiring bertambahnya daya yang dihasilkan serta besarnya energi pada bahan bakar yang digunakan.

Berdasarkan buku “*Gas Turbine Engineering Handbook 2<sup>nd</sup>*” karangan Meherwan P. Boyce idealnya nilai efisiensi sistem pada GTG berkisar antara 30%-46% dengan kapasitas beban yang dihasilkan sebesar 3 MW hingga 480 MW.

Gas buang pada turbin memiliki energi yang sangat tinggi yang dapat dimanfaatkan untuk proses pemanasan yang dapat dilakukan pada unit *Steam Turbine Generator* (STG). Untuk unit pembangkitan di PT Indonesia Power Semarang sudah memanfaatkan gas buang tersebut.

Untuk meningkatkan nilai efisiensi pada GTG 2.2 dapat dipasang *intercooler* pada kompresor agar udara masuk memiliki *temperature* lebih rendah sehingga dapat menghasilkan daya *output* yang lebih maksimal. Penambahan sudu serang pada *inlet guide vane* dapat membantu mengoptimalkan proses pembakaran yang berguna untuk mengatur laju aliran udara yang masuk. Selain itu, pemeliharaan rutin secara berkala pada komponen sangat diperlukan guna menjaga performansi setiap komponennya.