



EFISIENSI TURBIN GAS TERHADAP VARIASI BEBAN OPERASI DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS

Semilir Tara Difpa^{a*}, Nabilah Mahfuzah^a, Sihar Siahaan^b

^aProgram Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

^bProgram Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No. 1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

*Corresponding authors at: semilirtaradifpa@students.polmed.ac.id (S.T. Difpa) Tel.: +6218-590-34110

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 26 September 2023

Direvisi pada 09 November 2023

Disetujui pada 28 November 2023

Tersedia daring pada 02 Maret 2024

Kata kunci:

Energi listrik, turbin gas, kompresor, efisiensi, standar

Keywords:

Electrical energy, gas turbines, compressor, efficiency, standard

ABSTRAK

Melihat kebutuhan pemakaian energi listrik di Indonesia yang semakin meningkat, maka dibutuhkan sistem pembangkitan tenaga listrik dengan efisiensi operasional yang maksimal, maksudnya adalah suatu pembangkit listrik yang hasil dari pengoperasiannya menghasilkan energi listrik yang efisien dan didasarkan pada aturan dan standar yang ada. Besarnya kapasitas energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik dapat dipengaruhi oleh besarnya nilai efisiensi yang berasal dari komponen peralatan yang ada pada pembangkit tersebut seperti kompresor, turbin dan sistem pada unit PT PLN Nusantara Power Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG). Efisiensi pada PLTG Glugur mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti usia yang sudah lama beroperasi, terjadinya gangguan, derating (penurunan nilai beban), kesalahan manuver pengoperasian peralatan, proses pemeliharaan yang kurang maksimal, serta faktor-faktor lain. Berdasarkan Boyce tahun 2001 disebutkan idealnya nilai efisiensi sistem pada unit PLTG berkisar antara 30%-46% dengan kapasitas beban yang dihasilkan unit PLTG tersebut sebesar 5 MW sampai dengan 10 MW. Setelah dilakukan perhitungan, dapat disimpulkan hasil nilai efisiensi tertinggi, terendah, dan rata-rata pada kompresor, turbin, dan sistem pada unit PLTG Glugur di PT PLN (Nusantara Power) Unit Pembangkit Listrik Tenaga Gas. Nilai efisiensi tertinggi pada kompresor, turbin, dan sistem pada unit PLTG secara berturut-turut sebesar 80%, 95%, dan 43%. Nilai efisiensi terendah secara berturut-turut sebesar 67%, 84%, dan 19%. Sedangkan nilai efisiensi rata-rata secara berturut-turut sebesar 75,61%, 92%, dan 33,2%.

ABSTRACT

As a result of the growing demand for electricity in Indonesia, it is necessary to have a power production system that has the highest possible operational efficiency. This denotes a power plant that, as a consequence of its operation, generates electrical energy in an efficient manner and is based on the rules and standards that are now in place. The size of the efficiency value that is derived from the equipment components in the power plant, such as the compressor, turbine, and system in the PLTG PT PLN (Nusantara Power), can have an effect on the amount of electrical energy capacity that is generated by the power plant. A number of reasons, including long-running age, interruption, derating (decreased load value), manoeuvring operation of equipment operations, less maximum maintenance procedure, and other factors, contributed to a decrease in the efficiency of the PLTGU unit GTG 2.3. As a result, it is essential to conduct an evaluation of the effectiveness of the operational system in PLTG in order to determine whether the unit is still running within its boundaries or whether it is at an unviable condition. In accordance with Boyce's findings from 2001, it is indicated that the ideal range for system efficiency in PLTG units is between 30 and 46 %, and the load capacity that is created by the PLTG unit can range anywhere from 5 to 10 magnitudes. Based on the results of the calculation, it is possible to draw conclusions regarding the maximum, lowest, and average efficiency of the compressor, turbine, and system in the PLTG Glugur unit at the PT PLN (Nusantara Power). In PLTG units, the maximum efficiency values for compressors, turbines, and systems were respectively 80%, 95%, and 43%. Following in quick succession, the lowest efficiency value is 67%, followed by 84%, and then 19%. On the other hand, the average efficiency value in succession was 75.61%, 92%, and 33.2% respectively.

1. PENGANTAR

Pada masa kini di mana teknologi serta kebutuhan akan energi semakin meningkat. Energi listrik merupakan salah satu faktor yang sangat penting sebagai pendorong terjadinya suatu peningkatan kemajuan seperti di bidang ekonomi, industri dan property perumahan (Rahmat Kurniawan & Mulfi Hazwi, 2014). Teknologi yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energi utamanya peningkatan laju konsumsi harus diiringi dengan berkembangnya sistem pembangkit agar tercukupi permintaan akan energi listrik sehingga memungkinkan bagi pusat pembagian untuk lebih efisien dalam mengelola sistem pembangkit (Gusnita & Said, 2017). Maka dibutuhkan pembangkit listrik yang handal dengan efisiensi operasional yang maksimal, maksudnya adalah suatu pembangkit listrik yang hasil dari pengoperasiannya menghasilkan energi listrik yang efisien dan didasarkan pada aturan dan standard yang ada. Pembangkit listrik tenaga gas atau PLTG adalah salah satu pembangkit listrik yang ada di Indonesia sebagai upaya dan pemanfaatan energi agar lebih efisien serta dapat mencakup permintaan akan energi listrik yang semakin meningkat. Pada PLTG terdapat berbagai macam komponen utama yaitu kompresor, turbin, combustor dan generator. Jika komponen-komponen tersebut digunakan secara terus menerus, maka akan mempengaruhi keandalan (performa) dan umur pakainya (*lifetime*). Hal ini akan berpengaruh langsung terhadap efisiensi pembangkit. Jika efisiensi pembangkit rendah maka perbandingan biaya operasional tidak sebanding dengan jumlah produksinya Moch Muchlis & Adhi Darma Permana 2013).

Kebutuhan listrik dapat berubah-ubah tiap waktunya sehingga juga mempengaruhi permintaan jumlah listrik oleh konsumen. Oleh karena itu, PLTGU sering mengalami perubahan beban produksi untuk menyesuaikan jumlah produksi dengan permintaan konsumen. Dalam merespon perubahan beban, maka secara otomatis suplai bahan bakar, suplai udara pembakaran, serta gas buangnya akan berubah. Perubahan beban kerja pembangkit pun juga akan mempengaruhi efisiensi dari pembangkit.

Beban yang optimal dapat diketahui efisiensi paling tinggi terhadap beban pada pada unit PLTG. Maka dapat diketahui bahwa semakin besar proses pembebanan maka semakin besar efisiensinya. Hal ini akan berguna nantinya sebagai rekomendasi beban operasi yang paling bagus. Oleh karena itu dilakukan penelitian ini dengan judul Analisis Efisiensi Turbin Gas Terhadap Beban Operasi di PLTG Glugur. Pada penelitian ini menggunakan metode siklus brayton karena cara kerja turbin gas menggunakan metode siklus *brayton* sehingga sangat tepat bila menggunakan metode tersebut untuk menentukan beban paling optimal pada PLTG.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat Penelitian

PT PLN Nusantara Power Unit Layanan Pengendalian dan Pembangkitan Belawan Unit Layanan Pembangkitan Listrik Tenaga Gas (ULPTG) Glugur medan adalah sebuah unit pengganti atau sering disebut (*standby unit*). Khususnya untuk daerah kota Medan, dengan kata lain unit ini berperan sebagai pembantu apabila unit yang berada dipusat sedang mengalami *overhaul*. Gambar 1 ULPTG Glugur.



Gambar 1: ULPTG Glugur

2.2 Alat dan Bahan

a. Alat pengujian

Alat yang digunakan untuk melakukan penelitian mengenai analisis efisiensi.

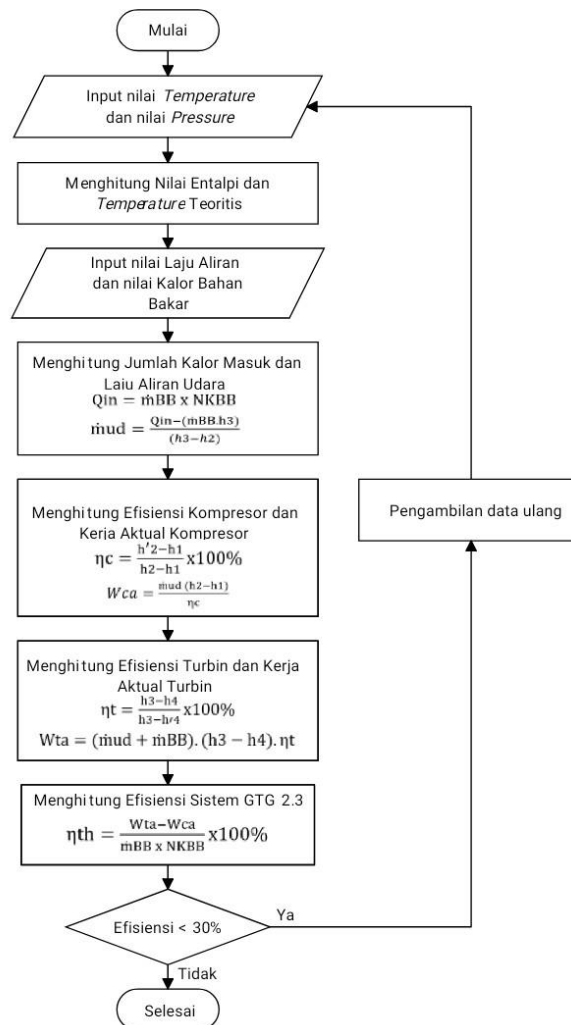
- 1) Laptop ACER
- 2) Kalkulator *Scientific*

b. Bahan Pengujian

Bahan yang digunakan selama proses penelitian ini yaitu data P1 (tekanan udara lingkungan), P2 (tekanan keluar kompresor/absolute), P4 (tekanan diluar turbin), T1 (temperatur udara lingkungan), T2 (temperatur keluar kompresor), T4 (temperatur keluar turbin), dan daya output generator yang diperoleh dari trending data operator serta data massa jenis bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar yang diperoleh dari divisi EPMO (Energi Primer dan Material Operasi) PT Nusantara Power Pembangkit Listrik Tenaga Gas PLTG Glugur Medan.

2.3 Flowchart

Diagram flowchart yang digunakan selama proses penelitian ini yaitu data P1 (tekanan udara lingkungan), P2 (tekanan keluar kompresor/absolute), P4 (tekanan diluar turbin), T1 (temperatur udara lingkungan), T2 (temperatur keluar kompresor), T4 (temperatur keluar turbin), dan daya output generator terdapat pada gambar 2.



Gambar 2: Diagram alir (flowchart) proses pengolahan data

2.4 Spesifikasi Unit PLTG (Jhon Brown Engineering)

Spesifikasi Unit yang digunakan selama proses penelitian ini yaitu data P1 (tekanan udara lingkungan), P2 (tekanan keluar kompresor/absolute), P4 (tekanan diluar turbin), T1 (temperatur udara lingkungan), T2 (temperatur keluar kompresor), T4 (temperatur keluar turbin), dan daya output generator terdapat pada gambar 3 dan Tabel 1-2..



Gambar 3: Unit PLTG Glugur

Tabel 1: Spesifikasi Performansi Unit PLTG Glugur

Data Performa Unit JBE	Base Load	Load 75%	Load 50%
Generator Output (kW)	109710	82290	54840
Air Flow (kg/s)	383	315	316
Fuel Flow (kg/s)	8,14	6,1	4,6
Heat Rate (kJ/kWh)	11107	-	-
Exhaust Gas Flow (kg/s)	391	321,5	320,8
Exhaust Gas Temperature (°C)	550,8	552,7	447,3
Exhaust Pressure (mbar gauge)	1,045	1,045	1,045

Tabel 2: Spesifikasi Gas Turbin Unit PLTG Glugur

Peralatan	Spesifikasi	
Turbin Gas	Buatan	SCOTLAND
	Type	PG 5341 N
	Daya Terpasang	
	Base:	19.980 KW
Kompresor	Peak:	21.600 KW
	Tingkatan	2
	Putaran	5100 RPM
	Jenis	Axial Flow
Ruang Bakar	Tingkatan	17
	Putaran	5100 RPM
	Jumlah Ruang Bakar	10
	Type	Tubular Multican
Generator	Jumlah Nozzle	10
	Penyalaaan Mulai	Spark Plug
	Jumlah Busi	2
	Merk	Brush
Generator	Type	-
	Putaran	3000 RPM
	Daya	109.2 KW
	Tegangan	260 V DC
	Phase/frekuensi	3/50 HZ
	Arus	420 A

2.5 Data Operasi Unit PLTG Glugur

Data operasi berupa T1, T2, P2, T4, BB, dan NKBB unit PLTG Glugur 2.3 pada tanggal 21 September 2022 dapat dilihat pada tabel 3 Data Operasi Unit PLTG Glugur.

Tabel 3: Data Operasi Unit PLTG Tanggal 21 September 2022

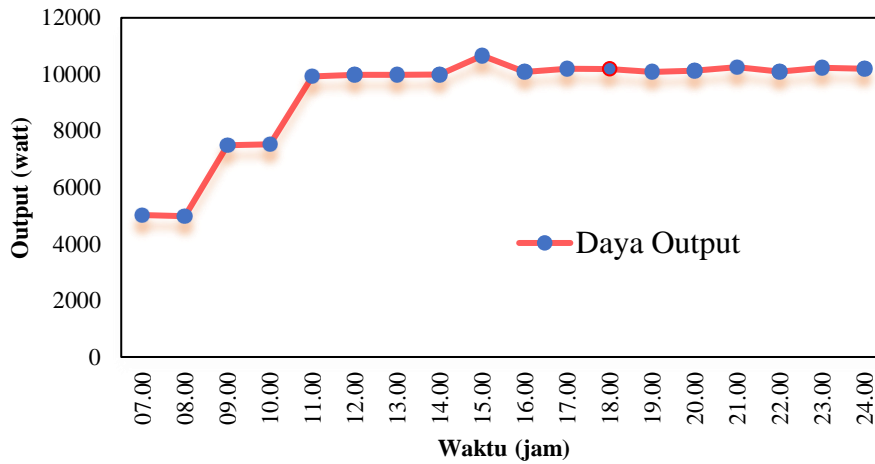
Waktu (Per 1 jam)	Load (MW)	T1 (°C)	T2 (C)	T4 (°C)	P2 (bar)	mBB (kg/s)	NKBB (kJ/kg)
07:00	5021,0	28,06	293,74	6,17	307,54	12,95	2580,7
08:00	4982,1	29,55	294,94	6,27	316,92	12,8	2580,7
09:00	7492,3	29,31	295,83	6,17	322,95	16,11	2580,7
10:00	7524,9	30,11	298,38	6,17	322,15	17,39	2580,7
11:00	9925,1	30,37	298,46	6,27	325,06	21,44	2580,7
12:00	9981,0	31,73	298,32	6,27	330,84	32,44	2580,7
13:00	9979,2	31,39	289,67	6,08	333,3	32,60	2580,7
14:00	9991,0	30,63	298,72	6,27	335,84	37,11	2580,7
15:00	10662	30,07	299,71	6,17	336,13	43,50	2580,7
16:00	10086,4	30,07	299,65	6,27	338,57	45,60	2580,7
17:00	10201	29,62	299,14	6,27	339,33	46,94	2580,7
18:00	10191	28,89	300,76	6,27	340,15	51,60	2580,7
19:00	10084,7	27,47	300,03	6,27	342,7	53,82	2580,7
20:00	10132,0	27,09	301,06	6,17	345,74	54,32	2580,7
21:00	10254,5	27,33	301,24	6,17	345,46	56,21	2580,7
22:00	10097,0	27,29	302,75	6,27	345,02	57,40	2580,7
23:00	10230,8	27,61	302,01	6,27	346,36	59,80	2580,7
24:00	10194,2	26,95	303,34	6,17	347,53	63,70	2580,7

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai Rata-Rata Data Operasi Unit PLTG Glugur

3.1.1 Daya Output

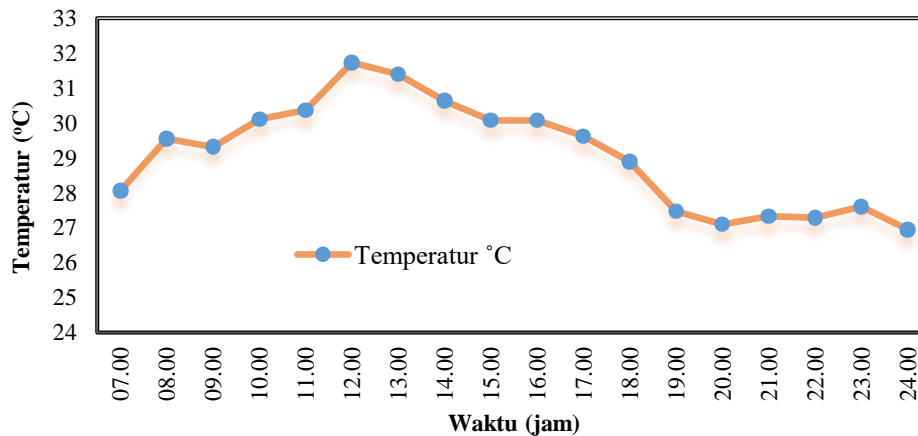
Fluktasi nilai daya yang dihasilkan pada unit PLTG Glugur dipengaruhi oleh kebutuhan beban yang digunakan konsumen yang nilainya diatur oleh pembagi beban (PLN). Penggunaan beban tertinggi berkisar mulai dari pukul 15.00 hingga pukul 24.00. Daya yang dihasilkan mempengaruhi nilai efisiensi pada sistem. Semakin besar daya yang dihasilkan maka nilai efisiensinya semakin baik, tetapi hal tersebut juga dipengaruhi oleh energi bahan bakar gas yang digunakan. Daya tertinggi yang dihasilkan unit PLTG Glugur yaitu sebesar 10662,0 MW pada pukul 15.00, sedangkan daya terendah sebesar 4982,1 MW pada pukul 08.00 pada gambar 4.



Gambar 4: Daya output unit PLTG Glugur

3.1.2 Temperatur Masuk Kompresor

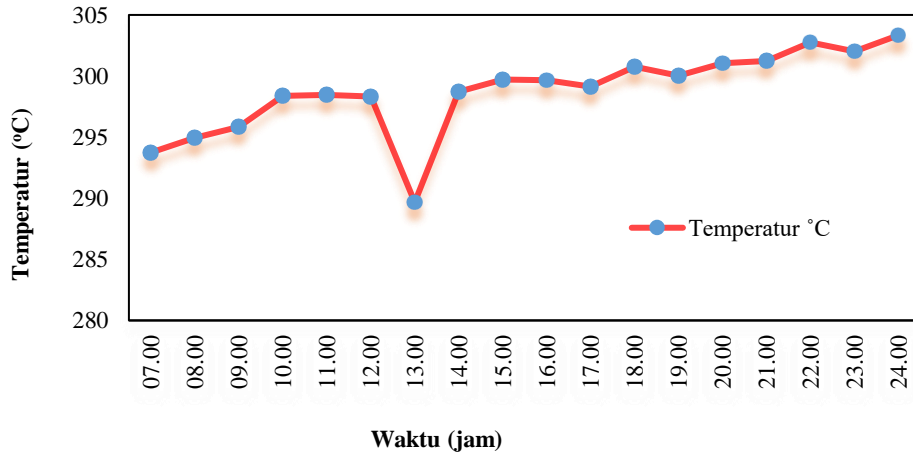
Temperatur pada T1 memiliki nilai tertinggi sebesar 31,73 °C pada pukul 12.00, hal tersebut dikarenakan tingginya temperatur pada siang hari, sedangkan nilai terendah T1 sebesar 26,95 °C pada pukul 24.00, hal tersebut dapat disebabkan oleh cuaca mendung atau memasuki malam atau pagi hari yang menyebabkan temperaturnya rendah. Nilai rata-rata temperatur masuk kompresor yang ada pada unit PLTG Glugur yaitu sebesar 29,08556°C pada gambar 5.



Gambar 5: Grafik temperatur masuk kompresor unit PLTG Glugur

3.1.3 Temperatur Keluar Kompresor

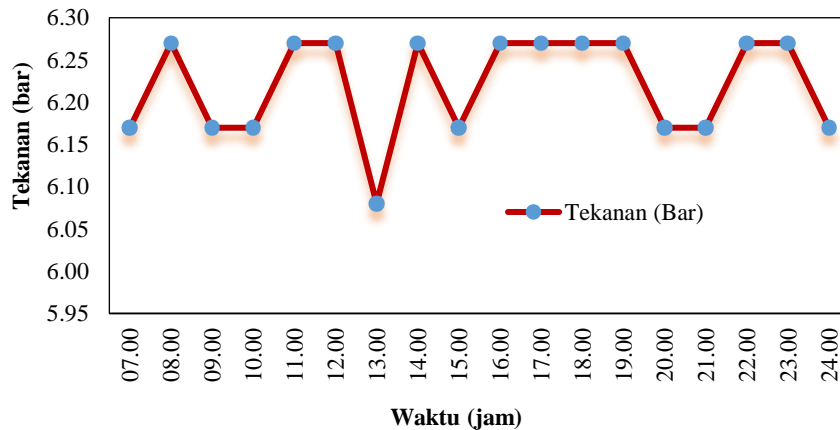
Berdasarkan grafik pada Gambar 6, temperatur pada T2 memiliki nilai tertinggi sebesar 303,34 °C pada pukul 24.00, hal tersebut dapat disebabkan oleh rendahnya temperatur udara yang masuk pada kompresor, sedangkan nilai T2 terendah sebesar 289,67 °C pada pukul 13.00, hal itu dikarenakan tingginya temperatur udara yang masuk pada kompresor. Besarnya nilai T2 dipengaruhi oleh rambatan temperatur pada material turbin karena kompresor dirangkai menyatu dengan turbin. Temperatur udara yang masuk, tekanan udara, serta kebersihan dari sudu-sudu pada kompresor juga dapat mempengaruhi nilai pada T2. Nilai rata-rata T2 (temperatur keluar kompresor) yang ada pada unit PLTG Glugur yaitu sebesar 29876,39 °C.



Gambar 6: Grafik temperatur keluar kompresor unit PLTG Glugur

3.1.4 Tekanan Keluar Kompresor

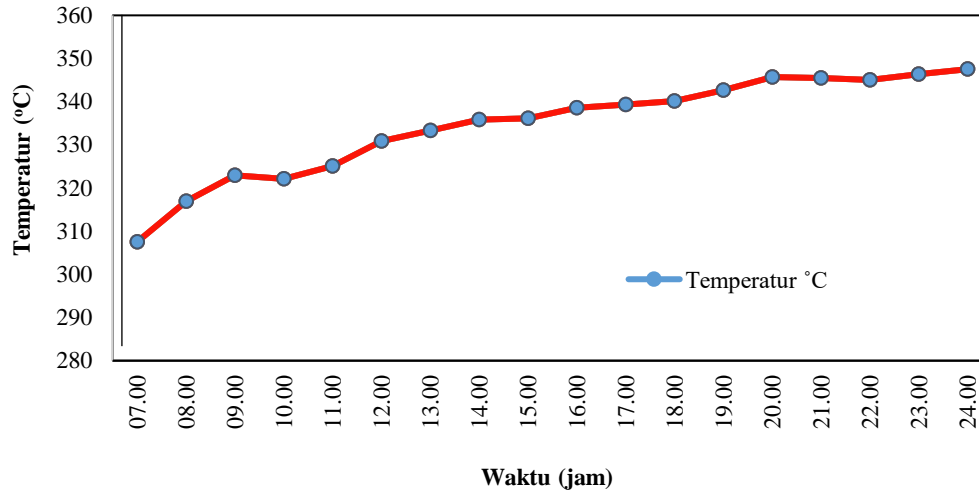
Nilai P2 merupakan tekanan yang keluar dari kompresor. Berdasarkan grafik pada siklus Bryton, nilai P2 sama dengan nilai P3. Tekanan yang dihasilkan ini dipengaruhi oleh kebersihan sudu-sudu kompresor dan pressure pada udara yang masuk pada kompresor. Berdasarkan data operasi yang telah diperoleh, nilai maksimal pada P2 sebesar 6,27 bar. Bar yang terdapat pada pukul 11.00 s/d 13.00 dan 15.00 s/d 24.00 hal tersebut disebabkan oleh bersihnya kondisi udara yang masuk pada kompresor, sedangkan nilai P2 minimum sebesar 6,08 bar pada pukul 08.00 s/d 10.00, hal ini disebabkan kurang bersihnya udara yang masuk pada kompresor. Nilai rata-rata tekanan keluar kompresor yang ada pada unit PLTG Glugur yaitu sebesar 6,2205 bar pada gambar 7.



Gambar 7: Grafik tekanan keluar kompresor unit PLTG Glugur

3.1.5 Temperatur Keluar Turbin

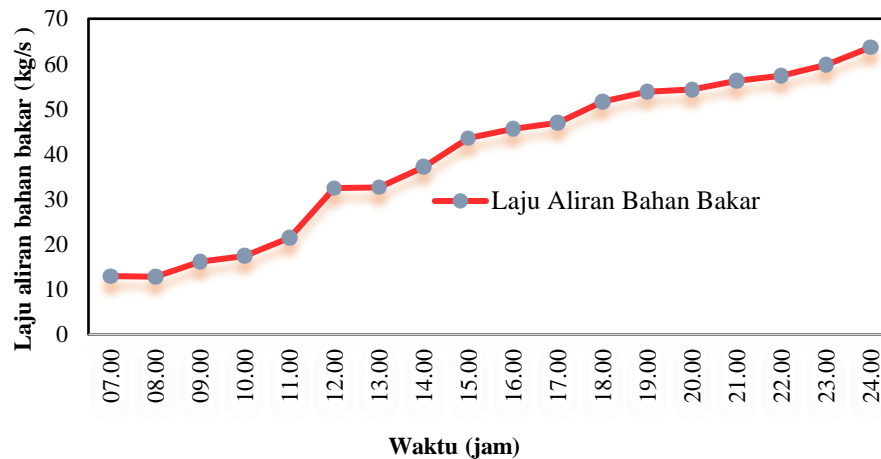
Semakin tinggi nilai T4, maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin baik, tetapi tingginya temperatur tersebut memiliki batasan maksimal yang sudah ditentukan pada spesifikasi turbin yaitu sebesar 550.8°C. Temperatur tertinggi pada T4 yaitu sebesar 347,53 °C pada pukul 24.00, nilai tersebut dipengaruhi oleh besarnya laju aliran udara yang masuk pada kompresor, sedangkan temperatur terendah pada T4 sebesar 307,54°C pada pukul 07.00. Nilai rata-rata temperatur yang keluar dari turbin pada unit PLTG Glugur yaitu sebesar 334,5328 °C pada gambar 8.



Gambar 8: Grafik temperatur keluar turbin unit PLTG Glugur

3.1.6 Laju Aliran Bahan Bakar

Nilai maksimal laju aliran pada bahan bakar berdasarkan data operasi yang diperoleh yaitu sebesar 95,3 kg/s yang terdapat pada pukul 14.00, sedangkan nilai minimum laju aliran pada bahan bakar sebesar 50,7 kg/s pada pukul 22.00. Nilai laju aliran udara dipengaruhi oleh besarnya nilai daya yang dihasilkan dan nilai energi yang digunakan pada proses pembakaran. 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 pada unit PLTG Glugur yaitu sebesar 5.39 kg/s pada gambar 10.



Gambar 9: Grafik laju aliran bahan bakar unit PLTG Glugur

3.2 Perhitungan Nilai Efisiensi

3.2.1 Perhitungan Kondisi 1 dan 2

Pada kondisi pertama, udara yang masuk ke kompresor diperoleh dari lingkungan (udara *atmosfir*) melalui air inlet. Pada kondisi ini udara akan dikompresikan menuju ruang bakar dengan diketahui data temperatur dan tekanan dari tabel data operasi, untuk mencari nilai entalpi udaranya digunakan cara yang sama seperti sebelumnya (kondisi 1). Kondisi yang didapat merupakan kondisi ideal, kondisi ini berlangsung proses kompresi *isentropic* yang mendapatkan nilai Pr1 sebagaimana yang ada pada tabel 4 di atas. Dari nilai Pr'2 yang didapat, selanjutnya digunakan untuk mencari h'2 (*entalpi* udara) menggunakan interpolasi dan tabel yang sama seperti sebelumnya.

Tabel 4: Hasil Perhitungan Kondisi 1 Dan 2

Waktu (Per 1 jam)	Kondisi 1 h1 (kJ/kg)	Kondisi 2			
		h2 (kJ/kg)	Pr1	Pr'2	h'2 (kJ/kg)
07:00	298,18	571,42	1,43	8,527	499,82
08:00	299,18	572,46	1,38	8,823	507,08
09:00	300,19	573,5	1,43	8,847	507,5
10:00	301,19	576,63	1,43	8,69	509,16
11:00	303,2	576,63	1,36	8,823	509,83
12:00	304,21	576,94	1,46	9,091	510,12
13:00	305,22	577,59	1,45	9,208	510,26
14:00	304,22	577,68	1,43	8,718	511,82
15:00	308,23	578,72	1,56	8,966	513,79
16:00	303,2	579,77	1,52	9,625	514,27
17:00	305,22	580,8	1,4	9,378	516,01
18:00	304,21	580,44	1,38	8,69	517,8
19:00	300,2	580,81	1,43	8,823	520,12
20:00	303,2	578,72	1,46	8,401	518,08
21:00	304,21	579,68	1,45	8,946	516,12
22:00	305,22	580,5	1,42	8,847	520,12
23:00	304,21	583,72	1,43	8,986	522,46
24:00	308,23	583,95	1,47	9,091	522,67

3.2.2 Perhitungan Kondisi 3 dan 4

Pada kondisi ini terjadi proses pembakaran pada ruang bakar (*combustion chamber*), bahan bakar berupa gas akan dicampurkan dengan udara yang sebelumnya dikompresi pada kompresor dan pemantik api menggunakan *spark plug* yang digunakan agar proses pembakaran dapat berlangsung. *Fluida* dari hasil pembakaran tersebut akan keluar menuju turbin untuk menggerakkan sudu-sudu pada turbin yang akan mengubah *energi fluida* hasil pembakaran menjadi energi gerak. Dari nilai Pr3 yang didapat, selanjutnya digunakan untuk mencari h3 (entalpi pada kondisi 3) menggunakan *interpolasi* dan tabel yang sama seperti sebelumnya. Nilai T3 tidak dapat diketahui oleh sistem karena nilai temperaturnya terlalu tinggi, maka dapat dihitung menggunakan interpolasi dan tabel gas ideal menggunakan hasil h3 yang telah didapat sebelumnya. Pada kondisi ini terjadi proses ekspansi gas buang dari hasil pembakaran pada turbin. *Temperatur* gas buang ini menjadi lebih tinggi dari gas ideal, hal tersebut dikarenakan adanya proses gesekan antara gas hasil pembakaran dengan sudu-sudu pada turbin pada tabel 5.

Tabel 5: Hasil Perhitungan Kondisi 3 Dan 4

Waktu	Kondisi 3				Kondisi 4		
	Pr4	Pr3	h3 (kJ/kg)	T3 (K)	h4 (kJ/kg)	T'4 (K)	h'4 (kJ/kg)
07.00	14,38	122,28	939,7	938,44	522,59	499,45	502,45
08.00	15,36	124,87	938,44	987,95	560,84	517,32	520,8
09.00	15,21	134,79	1032,31	906,03	598,61	542,88	547,34
10.00	15,9	138,27	1966,16	1017,61	595,47	585,8	566,04
11.00	16,58	138,94	1079,16	1028,94	604,92	560,96	566,17
12.00	16,89	139,75	1069,62	1040,67	607,12	560,84	572,68
13.00	17,19	141,46	1095,08	1042,8	610,17	561,76	573,18
14.00	17,51	142,35	1032,31	1047,88	613,32	567,21	578,74
15.00	17,61	145,1	110,92	1050,63	615,42	567,77	579,42
16.00	17,83	147,61	1104,09	1055,39	616,47	573,02	585,71
17.00	17,4	143,1	1102,63	1058,09	619,63	577,32	588,15
18.00	18,14	145,84	1112,67	1051,43	618,58	575,94	587,52
19.00	18,36	151,1	1117,3	1062,11	620,69	581,42	588,39
20.00	18,65	147,47	1122,42	1063,43	622,8	583,43	589,04
21.00	17,83	137,48	1105,75	1064,73	625,96	587,41	593,52
22.00	18,14	147,61	1113,34	1065,43	627,01	624,62	628,26

Waktu	Kondisi 3				Kondisi 4		
	Pr4	Pr3	h3 (kJ/kg)	T3 (K)	h4 (kJ/kg)	T'4 (K)	h'4 (kJ/kg)
23.00	17,98	148,68	1129,53	1066,56	628,07	620,18	632,94
24.00	18,36	149,75	1145,84	1072,73	632,3	622,42	662,08

3.2.3 Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi Kompresor, Turbin, dan Sistem

Nilai efisiensi kompresor, turbin dan sistem dipengaruhi oleh besarnya nilai beban dan temperatur maka nilai efisiensi kompresor semakin baik dan makin naik beban efisinsinya akan juga makin baik dapat dilihat pada tabel 6

Tabel 6: Hasil Perhitungan Nilai Efisiensi Kompresor, Turbin, Dan Sistem

Waktu	Efisiensi Kompresor	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
07.00	67%	84%	19%
08.00	72%	85%	21%
09.00	73%	90%	29%
10.00	74%	92%	30%
11.00	74%	93%	32%
12.00	74%	93%	32%
13.00	74%	93%	33%
14.00	75%	94%	34%
15.00	75%	93%	33%
16.00	75%	92%	33%
19.00	78%	93%	36%
20.00	78%	92%	37%
21.00	79%	93%	36%
22.00	80%	93%	36%
23.00	80%	93%	42%
24.00	80%	95%	43%

3.3 Analisis Hasil Nilai Efisiensi

Dari hasil penelitian yang sudah dibahas, dapat diketahui nilai parameter data operasi tertinggi dari unit PLTG Glugur diperoleh daya yang dihasilkan (P) yaitu sebesar 10662,0 MW, T1 sebesar 31.73 °C, T2 sebesar 303,34 °C, P2 sebesar 67,27 bar, T4 sebesar 347,53 °C, BB sebesar 93,3 kg/s. Data operasi terendah dari unit PLTG Glugur diperoleh daya yang dihasilkan (P) sebesar 4982,1, T1 sebesar 26.95 °C, T2 sebesar 289,67 °C, P2 sebesar 6,08 bar, T4 sebesar 307,54 °C, BB sebesar 50,7 kg/s. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 6 didapatkan hasil nilai efisiensi tertinggi pada kompresor, turbin, dan sistem pada unit PLTG secara berturut-turut sebesar 80%, 95%, dan 43%. Nilai efisiensi terendah secara berturut-turut sebesar 67%, 84%, dan 19%. Sedangkan nilai efisiensi rata-rata secara berturut-turut sebesar 75,61%, 92%, dan 33,2%. Laju aliran bahan bakar dan nilai kalor mempengaruhi nilai efisiensi pada sistem karena saat terjadi 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 temperatur gas buang pada kondisi 4. Semakin tinggi temperatur dan pressure-nya maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin tinggi, tetapi tingginya nilai temperatur dan pressure pada gas buang memiliki nilai maksimal yaitu sebesar 550.8 °C dan 1 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. Pengaruh nilai efisiensi berpengaruh pada daya yang dihasilkan pada generator tidak maksimal. Hal ini disebabkan karena terdapat rugi-rugi pada unit PLTG berupa temperatur pada komponen yang berlebih yang menyebabkan panas yang merambat dari komponen satu ke komponen yang lainnya, serta kebocoran gas yang terdapat pada ruang bakar. Berdasarkan buku "*Gas Turbine Engineering Handbook 2nd*" 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. Dari hasil perhitungan yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa nilai efisiensi pada unit PLTG dapat dikategorikan normal karena tidak melewati batasan minimum rentangan nilai ideal nilai efisiensi. Nilai efisiensi sistem PLTG yang dihasilkan berpengaruh pada daya yang dihasilkan pada generator, semakin besar daya yang dihasilkan pada generator maka nilai efisiensi unit PLTG akan cenderung meningkat. Gas buang yang dihasilkan dari turbin memiliki energi yang sangat tinggi. Hal ini dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin pada unit *Steam Turbine Generator* (STG) yang selanjutnya digunakan untuk produksi listrik. Nilai efisiensi pada unit PLTG Glugur dapat ditingkatkan dengan cara memasang intercooler pada kompresor agar udara masuk memiliki temperatur 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.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian tentang efisiensi sistem di unit PLTG Glugur, beberapa kesimpulan dapat dibuat. Dipengaruhi oleh variasi nilai beban, suhu, dan tekanan, efisiensi turbin unit ini berkisar antara 84 hingga 95%. Semakin tinggi efisiensi yang dihasilkan unit, semakin tinggi kinerja unit yang dibutuhkan, yang ditunjukkan dalam peningkatan suhu, tekanan, dan entalpi. Namun, pengaruh nilai efisiensi pada sistem juga berdampak pada daya yang dihasilkan pada generator, yang mungkin tidak maksimal. Adanya pemantauan dan peningkatan efisiensi sistem PLTG sangat penting untuk memaksimalkan kinerja dan output daya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima kasih Para penulis dengan penuh rasa syukur menyampaikan penghargaan dan mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial yang diberikan oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi melalui dana DIPA Politeknik Negeri Medan.

DAFTAR PUSTAKA

- Boles, M. (2006). *Thermodynamic an Engineering Approach*, 5ed. New York. MC. Graw-Hill.
- Boyce, P.M. (2001) *Gas Turbine Engineering Handbook*, 2ed. United Kingdom. MC. Graw-Hill.
- Cengel, A.Y. and Boles, M. (2006). *Thermodinamics An Engineering approach*. New York. MC. Graw-Hill.
- General Electric (2015) *Combined Cycle Power Plant*. Schenectady, New York, Amerika. GE Proprietary Information.
- Gusnita, N. and Said, K. S. (2017). Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 MW. *Jurnal Sains Teknologi dan Industri* 14(2), 209–218.
- Kurniawan, R. and MulfiHazwi (2014). Analisa Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Gas, *Jurnal e-Dinamis*, 10(2), 101–107.
- Miswandi and Martin, A. (2015) Analisis Eksergi Pada Ruang Bakar Pada PLTG Teluk Lembu 20 MW, *Jom FTEKNIK*, 2(2), p. 1.
- Muchlis, M. and Permana, A. D. (2013). Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN 2003 s.d. 2020'. Pengembangan Sistem Kelistrikan dan Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang. Available at: http://www.oocities.org/markal_bppt/publish/slistrk/slmuch.pdf.
- Prastiko, A. (2015) Analisis Keandalan Pada Turbin Gas Di P.T. Petrokimia Gresik-Jawa Timur. Available <https://repository.its.ac.id/51843/1/2412106003-Undergraduate%20Thesis.pdf>.
- Trisnanto, M. (2017). Analisa Kinerja Generator Turbin Gas Terhadap Perubahan Beban Pada PT Indonesia Power Unit Pembangkit Semarang. Available at <https://repository.usm.ac.id/files/skripsi/C41A/2018/C.441.18.0032/C.441.18.0032-15-File-Komplit-20200811024911.pdf>.