

PENGARUH TEMPERATUR DAN TEKANAN UAP TURBIN TERHADAP EFISIENSI GENERATOR DI PLTU SINTANG (3 X 7 MW)

Rivaldo Pasaribu¹, Yandri², Kho Hie Khwee³

rivaldopasaribu7@gmail.com¹, yandri.hasan@ee.untan.ac.id², khohiekhwee@untan.ac.id³

Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Saat ini, kebutuhan listrik Indonesia terus meningkat setiap tahun, seperti yang ditunjukkan oleh peningkatan jumlah sektor pembangunan, baik di sektor komersial maupun tempat tinggal masyarakat. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan energi kinetik uap air untuk menggerakkan turbin uap. Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi efisiensi generator, salah satu diantaranya yaitu temperatur uap dan tekanan uap yang dihasilkan oleh turbin. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh nilai temperatur uap dan tekanan uap turbin terhadap efisiensi generator. Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif, dimana metode ini menggunakan perhitungan data-data yang ada pada PLTU Sintang 3 x 7 MW kemudian diolah menggunakan rumus-rumus berdasarkan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan efisiensi generator. Data yang digunakan untuk penelitian ini didapatkan dari beberapa pihak terkait yaitu CCR (Central Control Room), Engineering Team PLTU Sintang dan data yang diperoleh dari software steam property. Berdasarkan perolehan nilai rata-rata efisiensi generator unit 3 PLTU Sintang 3 x 7 MW sebesar 92,92%, dengan beban rata-rata 4,028 MW dan daya aktual turbin 4,524 MW. Dapat dilihat bahwa efisiensi terendah terjadi pada hari ke 4 dengan efisiensi sebesar 92,48%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada hari ke 5 dengan efisiensi sebesar 93,54%. Temperatur dan tekanan berperan penting dalam menentukan efisiensi generator, karena kedua variabel ini memengaruhi perhitungan entalpi. Nilai entalpi kemudian digunakan untuk menghitung daya turbin, yang selanjutnya dijadikan dasar dalam menentukan efisiensi generator.

Kata Kunci: Efisiensi Generator, Temperatur Uap, Tekanan Uap Dan Steam Property.

ABSTRACT

The demand for electricity in Indonesia is increasing annually, driven by growth in both the commercial and residential sectors. Steam Power Plants (PLTU) are a critical component of the national energy infrastructure, utilizing the kinetic energy of steam to drive turbines and generate electricity. The efficiency of a generator is influenced by several factors, including the temperature and pressure of the steam driving the turbine. This study aims to investigate the impact of steam temperature and pressure on generator efficiency. The research employs a quantitative approach, with data sourced from the 3 x 7 MW PLTU Sintang. The data is processed using established formulas from relevant technical literature on generator efficiency. Data for the study was obtained from the Central Control Room (CCR) and the Engineering Team at PLTU Sintang and data obtained from steam property software. Results show that the average efficiency of generator unit 3 at PLTU Sintang was 92.92%, with an average turbine power output of 4.028 MW and an actual turbine power of 4.524 MW. The lowest efficiency, recorded on day 4, was 92.48%, while the highest efficiency, recorded on day 5, reached 93.54%. Steam temperature and pressure significantly affect generator efficiency as they influence the enthalpy calculations. The calculated enthalpy is used to determine turbine power output, which forms the basis for calculating generator efficiency.

Keywords: Generator Efficiency, Steam Temperature, Steam Pressure and Steam Property.

PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) merupakan salah satu Perusahaan Industri dibidang listrik yang bergerak sebagai penyedia pasokan listrik di dalam negeri. Dalam hal ini, mereka akan terus berusaha mewujudkan kemajuan perkembangan untuk bisa menyalurkan atau

mendistribusikan energi listrik hingga ke seluruh pelosok negeri ini dengan kualitas yang baik.

PT. PLN (Persero) melalui subholding PLN Indonesia Power (PLN IP) berhasil memanfaatkan 100 persen biomassa untuk bahan bakar pengganti batu bara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sintang (3x7 MW), Provinsi Kalimantan Barat.

Saat ini, kebutuhan listrik Indonesia terus meningkat setiap tahun, seperti yang ditunjukkan oleh peningkatan jumlah sektor pembangunan, baik di sektor komersial maupun tempat tinggal masyarakat. Sebagian besar industri sangat bergantung pada tenaga listrik untuk menjalankan proses produksi dan pengoperasian mereka. Untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan energi kinetik uap air untuk menggerakkan turbin uap [1].

Komponen utama penggerak listrik ini adalah turbin uap dan generator listrik. Turbin uap berfungsi untuk mengubah tenaga uap menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanis melalui putaran poros generator dan exciter. Di sisi lain, generator mekanis menjadi tenaga listrik.

Pembangkit listrik tenaga uap memiliki beberapa komponen utama salah satunya yaitu turbin uap. Turbin uap memiliki peranan penting sebahai penggerakgenerator yang mengalirkan Listrik untuk menggerakkan peralatan produksi dan memanfaatkan hasil uap sisa putaran turbin uap atau uap ekstraksi untuk meringankan kertas produksi. Mengingat pentingnya peranan dari turbin bagi proses produksi listrik, maka perlu dilakukan analisa terhadap efisiensi turbin. Efisiensi dari turbin memengaruhi kinerja sistem PLTU. Semakin besar efisiensi turbinnya maka keandalan sistem juga semakin baik [2]

Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya keluaran (*Pout*) atau daya yang dibangkitkan oleh generator dengan dengan daya masukan (*Pin*) generator. Daya masukan generator sama dengan daya yang dihasilkan oleh turbin karena turbin deangan generator dikopel dan bekerja bersama.

Terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi efisiensi generator, salah satu diantaranya yaitu temperatur uap dan tekanan uap yang dihasilkan oleh generator turbin. Hal inilah yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Temperatur dan Tekanan Uap Turbin Terhadap Efisiensi Generator di PLTU Sintang (3 X 7 MW).”

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif, dimana metode ini menggunakan perhitungan data-data yang ada pada PLTU Sintang 3 x 7 MW kemudian diolah menggunakan rumus-rumus berdasarkan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan efisiensi generator. Data yang digunakan untuk penelitian ini didapatkan dari beberapa pihak terkait yaitu CCR (Central Control Room) dan Engineering Team PLTU Sintang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan

1. Nilai data penelitian dan hasil perhitungan

Untuk melihat perubahan yang terjadi pada efisiensi generator data yang diambil adalah data yang terjadi pada tanggal 1 Januari 2024 sampai tanggal 7 Januari 2024. Ditampilkan data penelitian dan data hasil perhitungan tersebut pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Data penelitian dan data hasil perhitungan

Tanggal	Pukul	Main Steam Temp before MOV (°C)	Main Steam Press. Before MOV (Mpa)	Inlet		Outlet		Beban (MW)	WT (aktu) (MW)	ηgen (%)
				T (°C)	P (MPa)	T (°C)	P (MPa)			
1/1/2024	00:00	522	5,9	192	0,11	85	0,004	4,043	4,281	94,36
	02:00	513	5,2	190	0,02	86	0,003	4,131	4,353	94,87
	04:00	489	4,2	127	0,39	88	0,003	3,956	4,165	94,81
	06:00	522	4,7	197	0,11	86	0,001	4,131	4,992	82,74
	08:00	513	5,2	190	0,02	86	0,003	4,023	4,354	92,39
	10:00	534	5,4	203	0,11	85	0,0079	3,956	4,365	90,61
	12:00	534	5,4	203	0,11	85	0,0079	4,131	4,365	94,62
	14:00	507	4,4	203	0,11	88	0,0048	4,248	4,964	85,62
	16:00	523	6,3	205	0,02	86	0,00228	3,996	4,064	98,3
	18:00	513	5,2	190	0,02	86	0,003	3,874	4,004	88,97
20:00	532	5,8	168	0,03	82	0,011	3,184	3,473	93,88	
22:00	532	5,8	168	0,03	82	0,011	3,297	3,473	97,21	
2/1/2024	00:00	513	5,2	190	0,02	86	0,003	4,262	4,353	97,88
	02:00	496	5,6	183	0,03	89	0,002	3,781	3,975	95,1
	04:00	522	6,1	178	0,31	91	0,0022	3,883	4,359	89,03
	06:00	522	5,4	199	0,09	108	0,041	4,35	4,555	95,47

Tanggal	Pukul	Main Steam Temp before MOV (°C)	Main Steam Press. Before MOV (Mpa)	Inlet		Outlet		Beban (MW)	WT (aktu) (MW)	ηgen (%)	
				T (°C)	P (MPa)	T (°C)	P (MPa)				
	08:00	514	6,1	199	0,1	85	0,002	4,096	4,863	84,21	
	10:00	514	6,1	199	0,1	85	0,002	4,458	4,863	91,66	
	12:00	522	5,4	199	0,09	108	0,041	3,912	4,555	85,86	
	14:00	542	6,7	200	0,11	84	0,0066	3,824	3,91	97,71	
	16:00	523	6,3	105	0,02	86	0,00228	4,335	5,405	80,18	
	18:00	513	5,2	190	0,02	86	0,003	3,708	4,353	85,16	
	20:00	532	5,8	168	0,03	82	0,011	4,364	4,751	91,83	
	22:00	532	5,8	168	0,03	82	0,011	3,824	4,751	80,47	
	3/1/2024	00:00	534	6,4	200	0,1	86	0,002	4,043	4,281	93,31
		02:00	513	5,2	190	0,02	86	0,003	4,081	4,353	93,72
04:00		534	5,4	203	0,11	85	0,0079	4,189	5,716	72,71	
06:00		534	5,4	203	0,11	85	0,0079	4,189	5,716	72,71	
08:00		513	5,9	122	0,37	86	0,002	3,547	3,796	93,41	
10:00		522	6,2	122	0,39	87	0,0002	3,986	4,086	97,54	
12:00		507	5,7	127	0,39	88	0,003	3,817	3,94	96,87	
14:00		486	4,7	130	0,38	88	0,00001	3,421	3,872	88,33	
16:00		520	6,1	202	0,11	88	0,001	3,464	4,26	81,25	
18:00		504	5	203	0,11	87	0,0009	4	4,221	94,75	
20:00	526	6,5	118	0,37	86	0,006	3,202	3,862	82,88		
22:00	511	4,8	196	0,11	85	0,003	4,16	5,289	78,63		
4/1/2024	00:00	531	5,3	202	0,09	86	0,00356	4,058	4,475	90,65	
	02:00	531	5,3	202	0,09	86	0,00356	4,189	4,475	93,58	
	04:00	511	4,8	196	0,11	85	0,003	4,16	5,29	78,63	
	06:00	531	5,3	202	0,09	86	0,00356	4,058	4,475	90,65	
	08:00	523	6	181	0,02	82	0,012	3,547	3,881	91,36	
	10:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	12:00	534	5,4	203	0,11	85	0,0079	4,131	5,716	71,7	
	14:00	507	4,4	203	0,11	88	0,0048	4,248	4,969	85,42	
	16:00	505	5,4	193	0,03	88	0,003	4,248	4,483	94,72	
	18:00	522	6,2	194	0,03	88	0,002	4,321	4,376	98,73	
20:00	495	5,1	190	0,03	88	0,003	4,277	4,868	87,83		

	22:00	513	5,5	188	0,02	87	0,0003	4,248	4,358	97,46
5/1/2024	00:00	541	6,2	199	0,03	86	0,0025	4,277	4,452	96,04
	02:00	529	6,1	197	0,03	87	0,00159	4,145	4,289	96,61
	04:00	541	6,2	199	0,03	86	0,0025	4,131	4,453	92,76
	06:00	505	5,4	193	0,03	88	0,003	4,248	4,483	94,72
	08:00	511	5,4	194	0,03	88	0,002	4,394	4,541	95,96
	10:00	532	5,8	168	0,03	82	0,011	4,277	4,751	90
	12:00	496	5,2	197	0,03	89	0,006	4,408	4,43	99,49
	14:00	514	5,3	196	0,03	88	0,002	4,306	4,611	93,38
	16:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18:00	534	5,4	203	0,11	85	0,0079	3,941	4,375	90,27

Tanggal	Pukul	Main Steam Temp before MOV (°C)	Main Steam Press. Before MOV (Mpa)	Inlet		Outlet		Beban (MW)	WT (aktu (MW))	ηgen (%)
				T (°C)	P (MPa)	T (°C)	P (MPa)			
	20:00	534	5,4	203	0,11	85	0,0079	4,014	4,375	91,94
	22:00	507	4,4	203	0,11	88	0,0048	4,16	4,944	83,78
	00:00	520	6,4	137	0,35	85	0,0068	4,35	4,725	92,03
6/1/2024	02:00	501	5,4	195	0,09	85	0,004	3,915	3,93	99,59
	04:00	524	5,2	145	0,44	113	0,028	3,635	5,502	66,06
	06:00	533	5,6	146	0,42	92	0,002	4,835	5,292	91,79
	08:00	511	5,4	194	0,03	88	0,002	4,394	4,493	95,96
	10:00	532	5,8	168	0,03	82	0,011	4,277	4,751	90
	12:00	496	5,2	197	0,03	89	0,006	4,408	4,429	99,49
	14:00	514	5,3	196	0,03	88	0,002	4,306	4,611	93,38
	16:00	523	6,3	105	0,02	86	0,00228	4,335	5,405	80,18
	18:00	513	5,2	190	0,02	86	0,003	3,708	4,353	85,16
	20:00	532	5,8	168	0,03	82	0,011	4,364	4,751	91,83
	22:00	532	5,8	168	0,03	82	0,011	3,824	4,751	80,47
	7/1/2024	00:00	-	-	-	-	-	-	-	-
02:00		524	5,2	145	0,44	113	0,028	3,912	5,502	71,09
04:00		504	6,3	170	0,12	84	0,007	3,712	3,921	94,63
06:00		-	-	-	-	-	-	-	-	-
08:00		541	6,2	199	0,03	86	0,0025	4,145	4,452	93,07
10:00		529	6,1	197	0,03	87	0,00159	4,204	4,289	97,99
12:00		541	6,2	199	0,03	86	0,0025	3,635	4,452	81,62
14:00		505	5,4	193	0,03	88	0,003	3,97	4,003	88,52
16:00		-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:00		534	4,7	96	0,02	83	0,01	3,489	4,353	83,33
20:00		542	5,9	180	0,02	83	0,00552	3,372	4,751	73,91
22:00		542	5,9	180	0,02	83	0,00552	3,372	4,751	73,91

- a. Main Steam Temperatur (Suhu uap utama sebelum MOV)
 - Rentang suhu: 486 °C hingga 542 °C.
 - Suhu uap yang dihasilkan oleh boiler berkisar dalam rentang yang relatif stabil dengan fluktuasi kecil. Suhu tinggi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi termal turbin uap, karena suhu yang lebih tinggi memungkinkan lebih banyak energi yang dapat diubah menjadi tenaga mekanis untuk memutar turbin.
 - Penurunan suhu dapat dilihat pada beberapa jam, misalnya pada pukul 04:00 tanggal 3 Januari (486 °C), yang mungkin disebabkan oleh perubahan kondisi operasi atau penurunan beban.
- b. Main Steam Pressure (Tekanan uap utama sebelum MOV)
 - Rentang tekanan: 4,2 hingga 6,7 MPa
 - Tekanan uap tinggi di turbin sangat penting karena semakin tinggi tekanan, semakin

- besar energi yang tersedia untuk menghasilkan tenaga mekanis. Tekanan uap yang dihasilkan sebagian besar berkisar antara 5 hingga 6 MPa, yang mendukung operasi efisien turbin.
- Fluktuasi tekanan yang terlihat (misalnya, penurunan tekanan pada 04:00 tanggal 3 Januari dengan 4,2 MPa) menunjukkan adanya variasi dalam operasi boiler, yang mungkin disebabkan oleh fluktuasi beban atau kontrol yang disesuaikan.
- c. Kondisi Uap di Inlet dan Outlet
- Inlet: Suhu inlet uap berkisar antara 122°C hingga 205°C, dengan tekanan antara 0,02 hingga 0,44 MPa.
 - Outlet: Suhu dan tekanan di sisi outlet bervariasi tergantung pada beban dan kondisi operasi. Suhu outlet uap berkisar antara 82°C hingga 113°C, dengan tekanan antara 0,00001 hingga 0,041 MPa.
 - Perbedaan suhu dan tekanan antara inlet dan outlet memberikan gambaran seberapa banyak energi yang telah diekstrak oleh turbin. Misalnya, perbedaan yang signifikan antara inlet dan outlet pada pukul 12:00 tanggal 2 Januari, di mana suhu inlet mencapai 199°C dan suhu outlet turun menjadi 86°C, menunjukkan proses ekspansi uap yang menghasilkan energi listrik.
- d. Beban
- Rentang beban: 3,184 MW hingga 4,835 MW
 - Beban listrik yang diproduksi oleh pembangkit sangat bervariasi sesuai dengan kebutuhan listrik pada saat tertentu. Beban lebih tinggi terlihat selama pagi dan siang hari, sementara beban lebih rendah terjadi pada dini hari dan malam hari, yang mencerminkan pola konsumsi listrik harian yang biasa.
 - Pada beberapa waktu, seperti pukul 06:00 tanggal 6 Januari, beban naik signifikan hingga 4,835 MW, yang mungkin disebabkan oleh peningkatan permintaan listrik di pagi hari. Sebaliknya, beban turun hingga 3,184 MW pada beberapa titik seperti pada pukul 20:00 tanggal 1 Januari, saat konsumsi listrik lebih rendah.
- e. Daya Aktual
- Rentang daya aktual: Daya yang dihasilkan oleh turbin berkisar antara 3,392 MW hingga 5,761 MW.
 - Data ini menunjukkan keluaran daya aktual yang dihasilkan oleh pembangkit. Ada hubungan langsung antara daya aktual dan beban. Ketika beban meningkat, daya aktual yang dihasilkan juga naik, dan ketika beban turun, daya aktual menurun. Namun, beberapa variasi kecil mungkin terjadi karena faktor operasi lainnya.
 - Misalnya, pada pukul 04:00 tanggal 3 Januari, daya aktual turun hingga 3,421 MW meskipun suhu uap tetap relatif tinggi. Ini menunjukkan adanya penurunan efisiensi pada titik tersebut.
- f. Efisiensi Generator
- Rentang Efisiensi: 66,06% hingga 99,59%.
 - Efisiensi generator merupakan faktor kunci dalam menilai performa pembangkit listrik. Sebagian besar nilai efisiensi berada di atas 90%, yang menunjukkan operasi pembangkit yang efisien. Efisiensi tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar energi yang dihasilkan oleh turbin berhasil diubah menjadi listrik.
 - Penurunan efisiensi signifikan terlihat pada beberapa waktu, seperti pukul 04:00 tanggal 3 Januari (73,28%) dan pukul 04:00 tanggal 6 Januari (66,06%). Penurunan ini mungkin disebabkan oleh kondisi operasional yang tidak optimal, seperti penurunan tekanan atau suhu uap, atau adanya kendala teknis dalam sistem.

2. Rata-rata hasil dari data perhitungan penelitian

Setelah melakukan perhitungan, maka untuk mempermudah menganalisis data, hasil dari perhitungan dibuatkan rata-rata seperti yang tersaji pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Rata-rata hasil dari perhitungan penelitian

Hari	Main		Inlet		Outlet		Beban (MW)	W_T (aktual) (MW)	η_{gen} (%)
	T (°C)	P (MPa)	T (°C)	P (MPa)	T (°C)	P (MPa)			
1	520	5,29	186	0,090	85	0,0052	3,914	4,237	92,66%
2	520	5,81	182	0,079	89	0,0106	4,066	4,557	92,95%
3	517	5,61	168	0,214	86	0,0031	3,841	4,449	92,97%
4	517	5,36	195	0,066	86	0,0041	4,142	4,668	92,48%
5	521	5,55	194	0,066	86	0,0047	4,129	4,439	93,54%
6	519	5,62	167	0,127	88	0,0074	4,195	4,749	92,86%
7	526	5,72	171	0,095	87	0,0073	3,912	4,566	92,95%
Rata-rata	520	5,56	180	0,105	87	0,0060	4,028	4,524	92,92%

Berdasarkan hasil dari tabel 2. berikut adalah analisis harian mengenai performa PLTU yang mengaitkan temperatur uap, tekanan uap dan efisiensi generator. Analisis dilakukan untuk masing-masing hari dari tanggal 1 Januari 2024 hingga 7 Januari 2024.

Pada hari pertama, suhu dan tekanan utama relatif stabil di 520 °C dan 5,29MPa. Suhu dan tekanan pada sisi inlet juga berada pada angka yang cukup tinggi yaitu 186 °C dan tekanan 0,09 MPa. Tekanan outlet (0,0052 MPa) menunjukkan kondisi vakum yang baik. Beban pada hari ini 3,914 MW dan efisiensi mencapai 92,66%, yang merupakan efisiensi baik untuk PLTU. Suhu dan tekanan masih dalam kisaran operasional optimal, meskipun belum mencapai angka tertinggi di antara hari-hari lainnya.

Hari kedua menunjukkan peningkatan tekanan utama hingga 5,81 MPa, yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan hari-hari lainnya. Suhu inlet menurun sedikit dibandingkan hari pertama, yaitu 182 °C dan tekanan 0,079 MPa, tetapi tekanan outlet (0,0106 MPa) menunjukkan kondisi vakum yang lebih baik. Beban yang dihasilkan lebih tinggi (4,066 MW), dan efisiensi meningkat ke 92,95%. Peningkatan tekanan utama berkorelasi langsung dengan peningkatan efisiensi, menunjukkan sistem yang bekerja lebih optimal.

Hari ketiga menunjukkan penurunan suhu utama menjadi 517°C, tetapi tekanan utama tetap relatif tinggi pada 5,61 MPa. Suhu inlet juga menurun menjadi 168°C, namun tekanan inlet cukup tinggi di 0,214 MPa, yang kemungkinan menyebabkan kenaikan efisiensi menjadi 92,97%. Beban sedikit menurun 3,841 MW, tetapi daya aktif generator masih cukup tinggi 4,449. Tekanan outlet (0,0031 MPa), yang menandakan kondisi vakum yang tidak optimal. Namun, secara keseluruhan, efisiensi tetap tinggi berkat tekanan utama yang kuat.

Pada hari keempat, suhu utama menurun lebih lanjut menjadi 517°C, dan tekanan utama juga turun ke 5,36 MPa. Suhu inlet naik signifikan menjadi 195°C, tetapi tekanan inlet turun ke 0,066 MPa. Kondisi ini menghasilkan efisiensi terendah dalam seminggu, yaitu 92,48%. Meskipun beban lebih tinggi pada 4,142 MW dan daya aktif 4,668 MW, penurunan tekanan utama dan suhu utama tampaknya berkontribusi pada efisiensi yang lebih rendah.

Hari kelima merupakan hari dengan efisiensi tertinggi (93,54%). Ini kemungkinan karena kombinasi suhu utama yang tinggi (521°C) dan tekanan utama yang cukup optimal (5,55 MPa). Meskipun suhu inlet mirip dengan hari keempat, efisiensi meningkat signifikan 0,066 MPa dan 194°C, mungkin karena kondisi vakum yang lebih baik (tekanan outlet 0,0047 MPa). Beban 4,129 MW dan daya aktif 4,439 MW juga berada pada level yang

tinggi, menunjukkan bahwa sistem bekerja sangat optimal pada hari ini.

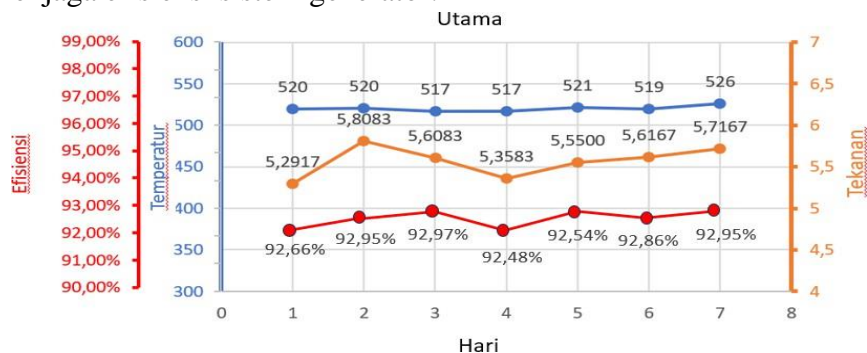
Pada hari keenam, suhu utama kembali naik menjadi 519°C, dan tekanan utama juga cukup tinggi di 5,62 MPa. Meskipun begitu, efisiensi turun menjadi 92,86%, meskipun tekanan inlet 0,127 Mpa dan suhu inlet 167°C menunjukkan nilai yang cukup baik. Beban yang dihasilkan juga tertinggi sepanjang minggu (4,195 MW) serta daya aktifnya bernilai 4,749 MW. Penurunan efisiensi ini mungkin disebabkan oleh ketidakseimbangan antara suhu dan tekanan di inlet dan outlet, serta sedikit penurunan kualitas vakum di outlet (0,0074 MPa).

Hari ketujuh menunjukkan suhu utama tertinggi sepanjang minggu (526°C), dan tekanan utama juga mencapai puncaknya pada 5,72 MPa. Suhu dan tekanan inlet cukup stabil yaitu 167°C dan 0,095 MPa, dan tekanan outlet (0,0073 MPa) menunjukkan kondisi vakum yang baik. Beban sedikit lebih rendah 3,192 MW dibandingkan hari-hari sebelumnya, tetapi daya aktif generator tetap tinggi yaitu 4,566 MW. Efisiensi mencapai 92,95%, menunjukkan kinerja yang sangat baik.

3. Hubungan antar parameter (temperatur dan tekanan utama, inlet dan outlet terhadap efisiensi generator)

a. Temperatur dan tekanan utama terhadap efisiensi generator

- 1) Temperatur yang stabil tidak memberikan banyak fluktuasi signifikan terhadap efisiensi, meskipun ada sedikit peningkatan saat temperatur mencapai 520°C atau lebih. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa fluktuasi suhu dalam rentang ini tidak memiliki dampak yang signifikan pada efisiensi.
- 2) Tekanan memiliki hubungan yang lebih langsung dengan efisiensi, di mana tekanan yang lebih tinggi berkontribusi pada peningkatan efisiensi, dan penurunan tekanan menyebabkan penurunan efisiensi. Karena tekanan memiliki fluktuasi yang lebih signifikan, ia tampaknya menjadi faktor kunci dalam menjaga efisiensi sistem generator.



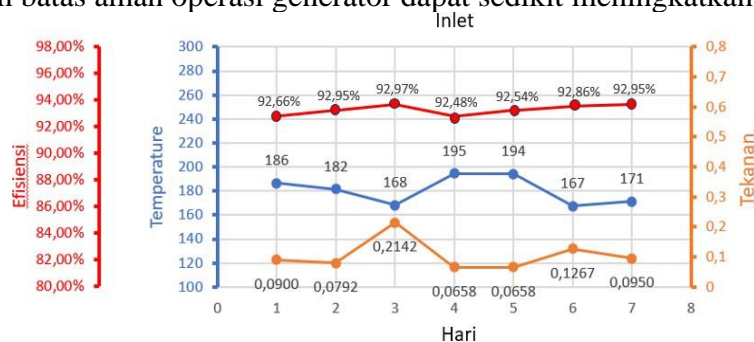
Gambar 1. Temperatur dan tekanan utama terhadap efisiensi generator Hubungan antara Temperatur dan Efisiensi

- Temperatur (garis biru) menunjukkan fluktuasi yang sangat kecil, dengan rentang 517°C hingga 526°C selama 7 hari. Nilai ini menunjukkan kestabilan yang cukup baik dalam operasi generator.
- Efisiensi (garis merah) cenderung mengalami sedikit perubahan meskipun temperatur relatif stabil. Dari pengamatan, peningkatan suhu di atas 520°C tampaknya bertepatan dengan sedikit peningkatan efisiensi, terutama setelah hari ke-4, di mana efisiensi mulai naik dari 92,48% menjadi 93,54%.

Hubungan antara Tekanan dan Efisiensi

- Tekanan (garis oranye) menunjukkan fluktuasi yang lebih signifikan dibandingkan dengan temperatur, dengan rentang dari 5,29 hingga 5,81 selama 7 hari. Tekanan tertinggi terjadi pada hari pertama (5,81) dan terendah pada hari ke-4 (5,35).

- Efisiensi memiliki hubungan yang terlihat dengan perubahan tekanan. Pada hari ke-4, ketika tekanan mencapai titik terendah (5,35), efisiensi juga mengalami penurunan (92,48%). Setelah tekanan mulai meningkat kembali dari hari ke-5 hingga ke-7, efisiensi juga meningkat.
- b. Temperatur dan tekanan INLET terhadap efisiensi generator
- 1) Temperatur dan tekanan tampaknya memiliki pengaruh yang minimal terhadap efisiensi dalam grafik ini. Meskipun keduanya menunjukkan beberapa fluktuasi, efisiensi tetap relatif konstan pada rentang 92,48% hingga 93,54%.
 - 2) Penurunan tekanan yang terlihat pada hari ke-6 mungkin sedikit berkontribusi pada penurunan efisiensi, tetapi pengaruhnya tidak terlalu signifikan.
 - 3) Temperatur yang lebih tinggi pada hari ke-5 berkorelasi dengan peningkatan efisiensi (93,54%), yang mungkin menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi dalam batas aman operasi generator dapat sedikit meningkatkan efisiensi.



Gambar 2. Temperatur dan tekanan utama terhadap efisiensi generator Hubungan antara Temperatur dan Efisiensi

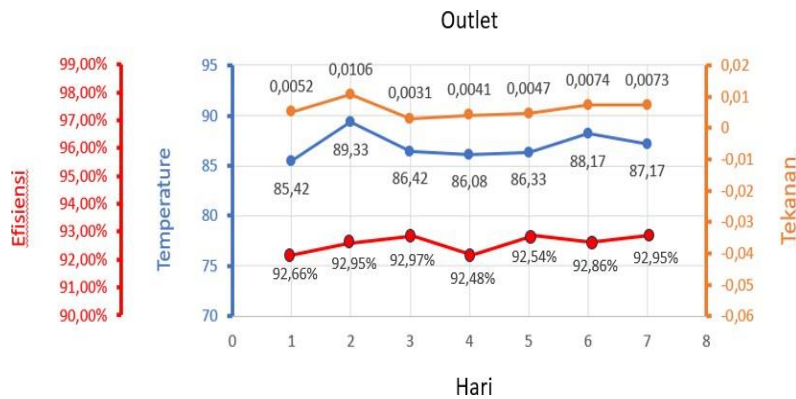
- Temperatur (garis biru) menunjukkan variasi yang lebih besar dibandingkan grafik sebelumnya, dengan rentang 167,4 hingga 194,5.
- Meskipun efisiensi (garis merah) tetap relatif stabil, berkisar antara 92,48% hingga 93,54%, ada sedikit peningkatan efisiensi pada hari ke-5 saat suhu mencapai nilai yang relatif lebih tinggi (194,33°C).

Hubungan antara Tekanan dan Efisiensi

- Tekanan (garis oranye) menunjukkan variasi yang lebih kecil dengan rentang 0,065 hingga 0,2142 Mpa. Tekanan tertinggi terjadi pada hari ke 3 (0,2142), dan terendah pada hari ke 6 dan ke 7 (0,065).
- Ada sedikit penurunan tekanan setelah hari ke-4, yang bersamaan dengan sedikit penurunan efisiensi pada hari ke-6 (92,86% dari sebelumnya 93,54% pada hari ke-5).

c. Temperatur dan tekanan OUTLET terhadap efisiensi generator

- 1) Temperatur yang lebih tinggi pada hari ke-5 diikuti oleh peningkatan efisiensi ke 93,54%. Ini menunjukkan bahwa temperatur dapat berperan dalam meningkatkan efisiensi, tetapi efeknya terbatas karena fluktuasi yang kecil.
- 2) Tekanan yang terus menurun dari hari ke-4 mungkin menyebabkan penurunan efisiensi yang kecil, terutama setelah hari ke-5, tetapi efeknya tidak terlalu drastis.
- 3) Secara keseluruhan, efisiensi tetap stabil di sekitar 92,54% hingga 93,54%, meskipun tekanan mengalami penurunan yang lebih signifikan dibandingkan dengan temperatur.



Gambar 3. Temperatur dan tekanan outline terhadap efisiensi generator Hubungan antara Temperatur dan Efisiensi

- Pada grafik, Temperatur ditunjukkan oleh garis biru (sumbu vertikal kiri), dan Efisiensi ditunjukkan oleh garis merah.
- Efisiensi (garis merah) cenderung stabil, berada di kisaran antara 92,48% hingga 93,54%. Pada hari ke-5, ketika temperatur berada pada kisaran 88,16, efisiensi mencapai puncak 93,54%.

Hubungan antara Tekanan dan Efisiensi

- Tekanan ditunjukkan oleh garis oranye (sumbu vertikal kanan). Tekanan berkisar antara 0,0031 hingga 0,0106, dan Efisiensi tetap berada dalam kisaran yang sama dengan variasi yang sangat kecil.
- Efisiensi tetap relatif stabil, meskipun ada penurunan tekanan, dengan sedikit penurunan efisiensi setelah hari ke-5 ketika tekanan mulai menurun lebih tajam.
- Sama seperti temperatur, variasi tekanan tampaknya juga tidak berdampak signifikan pada Efisiensi, karena Efisiensi tetap relatif stabil di sekitar 92%-93%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Temperatur dan tekanan berperan penting dalam menentukan efisiensi generator, karena kedua variabel ini memengaruhi perhitungan entalpi. Nilai entalpi kemudian digunakan untuk menghitung daya turbin, yang selanjutnya dijadikan dasar dalam menentukan efisiensi generator.
2. Berdasarkan perolehan nilai rata-rata efisiensi generator unit 3 sebesar 92,92%, dengan rata-rata beban sebesar 4,028 MW dan daya aktual turbin 4,524 MW. Dapat dilihat bahwa efisiensi terendah terjadi pada hari ke 4 dengan efisiensi sebesar 92,48%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada hari ke 5 dengan efisiensi sebesar 93,54%.
3. Efisiensi generator cenderung meningkat ketika tekanan dan suhu utama lebih tinggi, serta ketika tekanan outlet tetap dalam kondisi vakum yang baik. Variasi tekanan inlet juga memengaruhi efisiensi, tetapi peran tekanan outlet dalam menjaga kondisi vakum adalah faktor utama dalam menentukan efisiensi generator.

Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka disarankan:

1. Optimalisasi temperatur operasional, berdasarkan temuan bahwa temperatur memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi generator, disarankan untuk melakukan pengontrolan temperatur operasional, khususnya pada sisi utama dan inlet. Peningkatan efisiensi dapat dicapai dengan menjaga temperatur tetap berada pada rentang optimal,

- sesuai dengan batasan teknis peralatan, guna memaksimalkan kinerja generator dan meminimalkan kerugian energi.
2. Pengkajian lebih lanjut terhadap pengaruh tekanan, meskipun hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi, penting untuk melakukan pengkajian lebih mendalam dengan menggunakan rentang tekanan yang lebih luas. Hal ini bertujuan untuk memahami lebih jauh bagaimana tekanan, khususnya pada inlet dan outlet, dapat memengaruhi kinerja generator dalam kondisi operasi yang berbeda-beda.
 3. Pemeliharaan sistem termal, mengingat bahwa temperatur memiliki korelasi positif dengan efisiensi, disarankan agar pemeliharaan sistem termal dilakukan secara berkala. Hal ini mencakup perawatan sistem pendinginan dan isolasi termal untuk mencegah hilangnya panas yang tidak diinginkan dan untuk menjaga efisiensi operasi tetap tinggi.
 4. Penerapan system monitoring Real-Time, untuk meningkatkan efisiensi secara berkelanjutan, disarankan untuk menerapkan sistem monitoring temperatur dan tekanan secara real-time. Hal ini memungkinkan pengawasan lebih cermat terhadap parameter operasional dan dapat membantu operator mengambil tindakan cepat jika terjadi penyimpangan dari kondisi optimal yang dapat memengaruhi efisiensi.
 5. Evaluasi jangka panjang, disarankan untuk melakukan evaluasi efisiensi generator dalam jangka panjang dengan memperhitungkan berbagai kondisi operasional, termasuk fluktuasi beban dan lingkungan. Hasil evaluasi ini akan memberikan wawasan lebih komprehensif tentang strategi terbaik untuk meningkatkan efisiensi dalam berbagai situasi operasional dan cuaca.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Pangkung, H. Nawir, and A. N. A. Santoso, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Generator Terhadap Efisiensi Kinerja PLTU Bosowa Energi Jeneponto Unit 2," *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 18, no. 2, pp. 241–250, Mar. 2021, doi: 10.31963/sinergi.v18i2.2691.
- A. Tanjung, M. Putra Halilintar, D. Ikjen Panjaitan, U. Lancang Kuning, and P. Studi Teknik Elektro, "Analisis Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Pengolahan Kelapa Sawit di PT. Dian Anggara Persada," *January it is Rp*, vol. 2, no. 1, p. 0, 2022.
- A. Wahid, I. Junaidi, and H. M. I. Arsyad, "ANALISIS KAPASITAS DAN KEBUTUHAN DAYA LISTRIK UNTUK MENGHEMAT PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TANJUNGPURA."
- B. Kurniasari, I. W. Handajadi, M. Eng, and S. Hani, "ANALISA EFISIENSI TURBIN GENERATOR BERDASARKAN KUALITAS DAYA PADA PLTU PABRIK GULA MADUKISMO." "[9] ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP UNIT 1 DI PT. PJB UBJOM PLTU".
- D. Cahyadi, "ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG."
- D. Cahyadi, "ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG." "Pengukuran Daya Listrik Real Time Dengan Menggunakan Sensor... B G Melipurbowo."
- D. Sebagai, S. Satu, S. Untuk, and M. Gelar, "TUGAS AKHIR."
- H. Cipta Di Lindungi Undang-Undang -----, "PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MEDAN AREA MEDAN 2021." "ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP".
- P. S. Lumbantoruan, Y. Yandri, and K. Hie Khwee, "The Influence of Turbine Output Power on The Efficiency of The Generator PLTU Sintang (3 x 7 MW)," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 12, no. 1, p. 319, May 2024, doi: 10.26418/j3eit.v12i1.76262. "ANALISIS EFISIENSI GENERATOR PADA PLTU

PABRIK.”

- P. S. Lumbantoruan, Y. Yandri, and K. Hie Khwee, “The Influence of Turbine Output Power on The Efficiency of The Generator PLTU Sintang (3 x 7MW),” *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 12, no. 1, p. 319, May 2024, doi: 10.26418/j3eit.v12i1.76262.
- R. Manangka, G. C. Mangindaan, H. Tumaliang,) Jurusan, and T. Elektro, “Analisa Pengaruh Perubahan Beban terhadap Efisiensi Generator Sinkron 3 Fasa di PLTP Lahendong Unit 3.”
- T. M. Rizki, M. Ismail Yusuf, A. Hiendro, K. Hie Kwee, and J. Elektro, “ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) KETAPANG 2×10 MW.”