



UNJUK KERJA DAN EFISIENSI TURBIN UAP DAN GENERATOR (TG-65) PADA PEMBANGKIT LISTRIK UNIT SISTEM UTILITAS DEPARTEMEN PRODUKSI IIIA PT PETROKIMIA GRESIK

Pingky Fantika Wulandari^{a*}, Delfian Lutfiananda^b, Ketut Sumada^a

^aProgram Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, Jawa Timur, 60293, Indonesia

^bPT Petrokimia Gresik, Jl. Jenderal Ahmad Yani, Ngipik, Karangpoh, Gresik, Jawa Timur, 61119, Indonesia

E-mail: pingkyfantika37@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 20 Desember 2022

Direvisi pada 25 Januari 2023

Disetujui pada 11 Februari 2023

Tersedia daring pada 25 Februari 2023

Kata kunci:

Pembangkit listrik, generator, turbin uap, petrokimia

Keywords:

Power generation, steam generator, turbine, petrokimia

ABSTRAK

Pembangkit listrik merupakan salah satu unit penting dalam system utilitas suatu pabrik. Pembangkit listrik pada pabrik IIIA PT Petrokimia dijalankan menggunakan tenaga uap (*steam*). Salah satu komponen yang terdapat pada unit pembangkit tenaga listrik yaitu turbin & generator. Evaluasi dilakukan pada pembangkit listrik pada pabrik IIIA PT Petrokimia yaitu **kinerja terhadap peralatan yang dipakai sehari-hari yaitu turbin dan generator. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja turbin dan generator untuk menentukan apakah bagian pembangkit listrik ini masih sesuai standar dan memiliki efisiensi tinggi.** Hasil efisiensi turbin-generator yaitu 88,34% dan 84,62%.

ABSTRACT

The power plant is one of the important units in the utility system of a factory. The power plant at PT Petrokimia's IIIA East Java, Indonesia plant is run using steam (steam). One of the components contained in the power generation unit is the turbine & generator. As time goes by, it is necessary to evaluate the performance of the equipment used daily, namely turbines and generators. Therefore this study aims to evaluate the performance of the turbine and generator to determine whether this part of the power plant is still up to standard and has high efficiency. The turbine-generator efficiency results are 88.34% and 84.62%.

1. PENGANTAR

PT Petrokimia Gresik terdiri dari tiga unit departemen produksi, yaitu unit produksi I, unit produksi II, dan unit produksi III. Dalam pengembangan bisnisnya, departemen produksi III sendiri terbagi menjadi departemen produksi IIIA dan IIIB. Masing-masing departemen produksi pada PT Petrokimia Gresik memiliki unit utilitas untuk menyediakan bahan-bahan penunjang operasional pabrik seperti cooling water, steam, listrik, dan sebagainya. Unit utilitas pada pabrik IIIA menggunakan power generation sebagai penyuplai kebutuhan listrik di wilayah produksi IIIA. Secara umum, daya yang mampu dihasilkan oleh power generation ini adalah sekitar 20 MW. Daya tersebut diperoleh dari dua jenis turbin yang digunakan yaitu *back pressure turbine* (TG-65) dan *condensing turbine* (TG-66). Saat ini, *condensing turbine* pada unit utilitas tidak beroperasi karena terdapat kerusakan pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) yang biasa digunakan untuk menstabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan generator. Sehingga untuk menghindari terjadinya *brownout* pada wilayah produksi IIIA maka pada unit power generation ini hanya mengoperasikan *back pressure turbine* (TG-65). Selain turbin, komponen utama yang terdapat pada unit power generation adalah generator. Generator sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik (Kurniasari, 2017). Gangguan efisiensi generator dapat berakibat fatal pada generator sehingga dapat menyebabkan generator tidak bekerja secara optimal dan sistem kelistrikan dapat mengalami *brownout*. Efisiensi pada generator sangat mempengaruhi kinerja unit power generation. Semakin besar efisiensi generatornya maka keandalan sistem juga semakin baik (Muharrir, 2019). Oleh karena itu dilakukan analisis efisiensi steam turbine generator untuk mengetahui unjuk kerja turbin generator pada unit pembangkit listrik.

Komponen konversi energi utama dari pembangkit listrik tenaga uap adalah turbin uap. Fungsi turbin uap adalah untuk mengubah energi termal uap menjadi energi listrik melalui generator yang dikopel. Sistem turbin terdiri dari dua komponen terpisah, yaitu turbin uap yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik serta generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik (Setiawan, 2022). *Steam turbine* adalah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi termal menjadi energi poros. Terdapat dua jenis turbin uap penggerak generator, yaitu *Back Pressure Turbine* dan *Condensing Turbine*. *Back Pressure Turbine* terdiri atas 9 *stage* yang digerakkan oleh *steam* bertekanan tinggi sekitar $62,5 \text{ kg/cm}^2$. Energi dari *steam* ini berupa energi panas dan tekanan yang diubah menjadi energi gerak melalui beberapa proses. *Condensing Turbine* terdiri atas 17 *stage* yang digerakkan oleh *steam* bertekanan tinggi. Proses terjadinya listrik sama dengan proses yang terjadi pada *Back Pressure Turbine*, hanya saja turbin jenis ini dapat beroperasi secara kondensasi total, secara ekstraksi dan secara induksi (Anggraini, 2018). Sedangkan generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Apabila rotor generator diputar pada kecepatan konstan, fluks magnetik yang dihasilkan arus eksitasi pada belitan medan rotor menginduksi tegangan pada belitan jangkar stator. Tegangan induksi stator ini meningkat secara linier sesuai dengan peningkatan arus eksitasi hingga terjadi kejenuhan pada inti rotor. Apabila terminal rotor dihubungkan dengan beban, akan mengalir arus pada belitan jangkar stator, dan terjadilah transfer daya dari generator ke beban tersebut. Pada PLTU, generator dikopel langsung dengan turbin uap kemudian akan menghasilkan tegangan listrik manakala turbin tersebut berputar (Wildani dkk, 2021).

a. Komponen Pembangkit Listrik

Komponen pembangkit listrik pada departemen produksi IIIA PT Petrokimia Gresik adalah sebagai berikut :

1.1.1 Deaerator

Deaerator pada unit pembangkit listrik berfungsi untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan oksigen dalam air yang akan dipakai untuk boiler dan juga digunakan sebagai pemanas air. Pada alat ini, oksigen dan gas-gas terlarut lainnya akan dipisahkan sehingga sifat-sifat korosif dari gas terlarut dapat dikurangi.

1.1.2 Ketel uap

Ketel uap merupakan sebuah ketel uap yang tertutup serta panas pembakaran diteruskan ke air sampai menjadi air yang beruap panas atau *steam*. Setelah itu uap panas tersebut dalam tekanan yang akan dimanfaatkan untuk memutar sudu-sudu pada steam turbin. Ketel uap secara umum didesain dengan menggunakan material baja untuk melakukan atau memindahkan (transmit/transfer) energi kalor yang berasal dari pembakaran bahan bakar (batu bara atau minyak) menuju bejana atau pipa-pipa fluida yang terdapat di dalam *ketel uap*.

1.1.3 Turbin uap

Turbin uap merupakan mesin penggerak yang menggunakan uap air dengan tekanan dan temperatur tinggi sebagai fluida geraknya. Uap yang dihasilkan boiler dikumpulkan dalam lemari uap dan dialirkan melalui *nozzle*. Setelah itu, steam akan menumbuk sudu-sudu turbin sehingga menyebabkan berputarnya poros turbin (Mohamad, 2020). Pada unit pembangkit listrik terdiri dari dua jenis turbin, yaitu *back pressure turbine* dan *condensing turbine*. *Back pressure turbine* oleh steam bertekanan tinggi sekitar 35 kg/cm^2 . Energi dari steam ini berupa energi panas dan tekanan yang diubah menjadi energi gerak melalui beberapa proses). *Condensing turbine* digerakkan oleh steam dengan tekanan sekitar 10 kg/cm^2 . Proses terjadinya listrik sama dengan proses yang terjadi pada *back pressure turbine*, hal yang membedakan adalah turbin jenis ini dapat beroperasi secara kondensasi total, secara ekstraksi dan secara induksi (Anggraini, 2018).

1.1.4 Generator

Generator adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik.

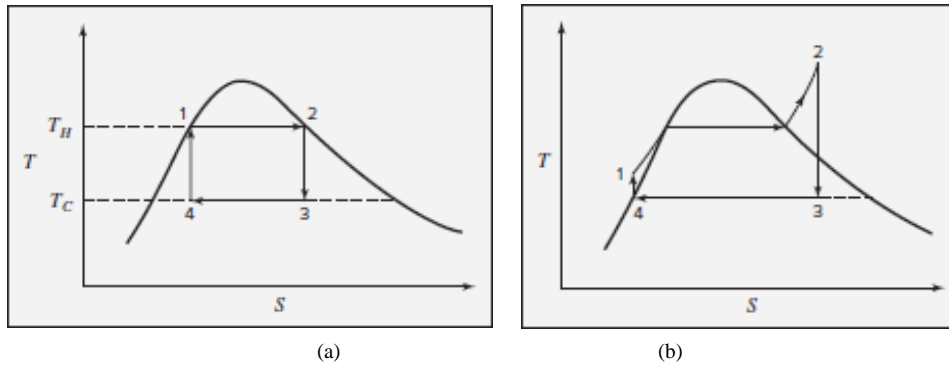
1.1.5 Steam Condenser

Steam condenser adalah alat penukar kalor yang digunakan untuk mendinginkan uap yang sudah mengalami penurunan kualitas baik dari segi temperatur maupun tekanan akibat ekspansi pada turbin sehingga menjadi air melalui proses kondensasi dengan memanfaatkan air laut sebagai pendingin atau air sungai dengan siklus tertutup menggunakan *cooling tower* (Mohamad, 2020).

b. Model Siklus Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik tenaga uap memiliki dua jenis siklus yaitu siklus Rankine dan siklus Carnot terdapat pada gambar 1. Pada Siklus Carnot terdapat 4 (empat) proses yaitu dua proses isothermal dan dua proses adiabatik. Pada kondisi 1-2, cairan dipanaskan secara reversibel isothermal dalam boiler. Kondisi 2-3 diperluas secara adiabatik dalam turbin. Kemudian pada kondisi 3-4 fluida kerja

dikondensasi secara reversibel dan isothermal dalam kondensor. Selanjutnya pada kondisi 4 fluida dikompresi secara isentropis oleh kompresor lalu kembali ke kondisi 1 (Vanness, 2009). Efisiensi dari Siklus Carnot meningkat seiring dengan bertambahnya suhu yang menyebabkan panas masuk ke sistem atau dengan penurunan suhu yang menyebabkan panas dibuang dari sistem. Oleh karena itu, untuk mendapatkan efisiensi semaksimal mungkin, maka dibutuhkan nilai TC seminimal mungkin atau TH yang sangat tinggi hingga nilai TC dapat diabaikan. Namun hal ini secara praktiknya tidak mungkin terjadi karena siklus Carnot merupakan siklus ideal. Siklus Rankine menurut Cengel (2002) berawal dari kekurangan siklus Carnot sehingga prinsip memanaskan uap di ketel uap dan mengembunkannya di kondensor dimunculkan untuk mengatasinya. Adapun siklus tersebut disebut siklus Rankine. Tahapan siklus Rankine bermula dari kondisi 1-2 dimana fluida berfasa cair akan mengalami kompresi isentropik dalam pompa. Selanjutnya, pada kondisi 2-3 terjadi penyerapan panas pada tekanan tetap di boiler dan terjadi perubahan fasa fluida dari air menjadi uap superpanas atau *superheated steam*. Pada kondisi 3-4, fluida yang berfasa uap akan mengalami ekspansi secara isentropik di dalam turbin untuk menghasilkan kerja serta terjadi proses pembuangan panas secara isobarik di kondensor. Pada kondisi 4, fluida keluaran kondensor berubah fasa menjadi cair yang kemudian di ekspansi dengan tekanan tetap dan akan digunakan Kembali pada tahap 1.



Gambar 1: Model Siklus Pembangkit Listrik (a) Siklus Carnot, dan (b) Siklus Rankine

c. Prinsip Kerja Steam Turbine Generator

Berdasarkan prinsip kerja aksi (*impuls*) dimana proses ekspansi penurunan tekanan fluida kerja hanya terjadi di dalam baris sudu tetapnya saja. Bila pada sebuah turbin uap, uap dari ketel diekspansikan dalam nosel dari tekanan ketel (P_0) ketekanan tertentu (P_1), maka akibat penurunan tekanan ini akan terjadi kenaikan kecepatan uap, dari kecepatan uap memasuki nosel (C_0) ke kecepatan uap memasuki sudu gerak (C_1). Oleh karena energi potensial uap yang disebut juga entalpi uap tergantung pada tekanan dan suhu uap, maka pada penurunan tekanan akan terjadi juga penurunan suhu akibat penurunan tekanan. Dalam sudu-sudu gerak terjadi penurunan kecepatan uap dari kecepatan mutlak C_1 menjadi C_2 , maka tekanan uap memasuki turbin P_1 sama dengan uap keluar P_2 . Sehingga prinsip kerja dari turbin aksi ini, di dalam nosel terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik sedangkan yang terjadi dalam sudu-sudu gerak terjadi perubahan energi mekanik (Wisnaningsih, 2019).

2. METODE

Penelitian dilakukan pada *power generation unit* sistem utilitas Departemen Produksi PT Petrokimia Gresik. Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan dari penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan pengerjaan, yaitu identifikasi permasalahan, tinjauan pustaka, pengolahan data, analisa dan pembahasan.

a. Spesifikasi Turbin Uap

Adapun spesifikasi teknis generator turbin uap pada unit pembangkit listrik Pabrik III A disajikan pada tabel 1.

Tabel 1: Spesifikasi Turbin TG-65 Pabrik IIIA PT. Petrokimia Gresik

Tipe	Deskripsi
<i>Project name</i>	<i>Hitachi Zosen Corporation</i>
<i>Installation location</i>	Gresik (Indonesia)
<i>Steam turbine number</i>	T-8015
<i>Rated output</i>	8500 KW
<i>Inlet pressure</i>	34,5 kg/cm ² g
<i>Outlet pressure</i>	10 kg/cm ² g
<i>Nominal speed</i>	3000 rpm

b. Model Matematis

Efisiensi didefinisikan sebagai rasio antara keluaran (*output*) terhadap masukan (*input*) dalam suatu proses yang direpresentasikan sebagai persentase (%). Efisiensi merupakan salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi atau proses transfer yang terjadi (kJ). Perhitungan efisiensi turbin sebagai berikut:

i. W ideal

Untuk mengetahui besarnya daya turbin ideal diperlukan data entalpi isentropis yang dapat diperoleh dari h-s diagram sehingga daya turbin ideal dapat dihitung menggunakan persamaan 1 yaitu :

$$W_{ideal} = m \times (h_{in} - h_s) \quad (1)$$

ii. W aktual

Daya turbin actual dapat dihitung berdasarkan data entalpi dari kondisi actual exhaust steam. Untuk menghitung daya turbin actual dapat menggunakan persamaan 2 yaitu:

$$W_{aktual} = m \times (h_{in} - h_{out}) \quad (2)$$

iii. Efisiensi Turbin Generator

Efisiensi merupakan kinerja konversi energi yang dilakukan peralatan, sehingga efisiensi dapat dihitung dengan persamaan 3 dan persamaan 4 yaitu:

$$\eta_{turbin} = \frac{W_{aktual}}{W_{ideal}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{generator}}{W_T} \times 100\% \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Data Pembangkit Listrik

Data yang diambil berupa nilai rata-rata daya yang dibangkitkan generator TG-65 dalam 24 jam serta laju aliran massa steam selama 10 hari mulai dari tanggal 5 November 2022 sampai dengan tanggal 14 November 2022. Data tersebut disajikan pada tabel 2.

Tabel 2: Data Beban Generator dan Massa Jenis Uap

Tanggal	Beban Generator (MW)	Massa Jenis Uap (ton/jam)
05-Nov-22	5.00	71.3
06-Nov-22	4.90	81.2
07-Nov-22	5.00	83.1
08-Nov-22	5.10	81.9
09-Nov-22	5.10	82.6
10-Nov-22	5.80	92.2
11-Nov-22	6.30	97.2
12-Nov-22	5.80	94.3
13-Nov-22	6.90	106.1
14-Nov-22	6.40	100

Untuk memudahkan perhitungan daya turbin, dilakukan pengumpulan data tekanan dan temperatur turbin yang ditunjukkan pada tabel 3.

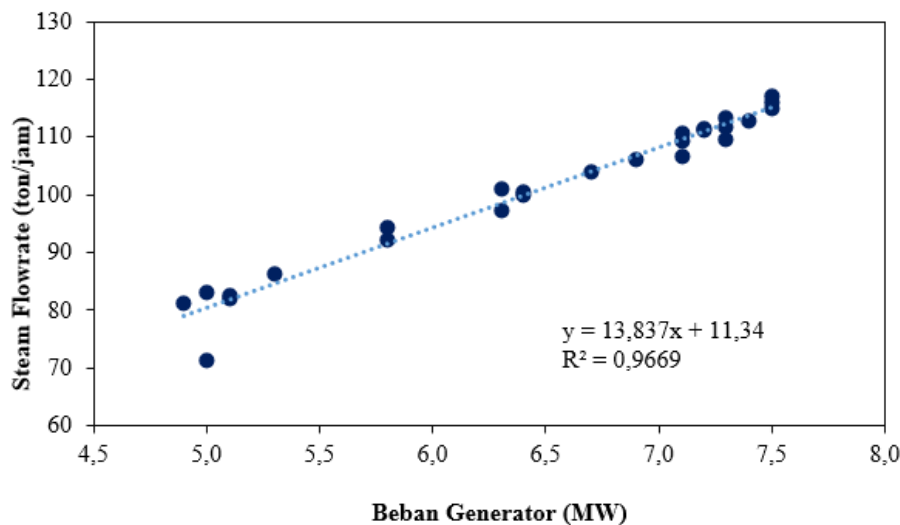
Tabel 3: Data Tekanan dan Temperatur Turbin (TTG-65)

Tanggal	P _{in} (kpa)	P _{out} (kpa)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)
05-Nov-22	3485	1082	400	274
06-Nov-22	3485	1082	397	276
07-Nov-22	3485	1082	395	274
08-Nov-22	3485	1082	396	275
09-Nov-22	3485	1082	396	274
10-Nov-22	3485	1082	395	270
11-Nov-22	3485	1082	386	260
12-Nov-22	3485	1082	401	275

Dari data pada tabel 3 dapat dilakukan perhitungan entalpi dan entropi menggunakan sifat-sifat tabel uap dan pH diagram dan data entalpi dan entropi dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4: Data Entalpi dan Entropi

Tanggal	h_{in} (kJ/kg)	h_{out} (kJ/kg)	s_{in} (kJ/kg $^{\circ}K$)	h_s (kJ/kg)
05-Nov-22	32.244.550	29.933.016	68.466	2920
06-Nov-22	32.174.866	29.977.144	68.360	2918
07-Nov-22	32.128.410	29.933.016	68.290	2911
08-Nov-22	32.151.638	29.955.080	68.325	2913
09-Nov-22	32.151.638	29.933.016	68.325	2913
10-Nov-22	32.128.410	29.844.760	68.290	2911
11-Nov-22	31.919.358	29.624.120	67.973	2895
12-Nov-22	32.266.778	29.955.080	69.333	2965
13-Nov-22	31.849.674	29.533.608	67.868	2890
14-Nov-22	31.872.902	29.601.492	67.903	2891



Gambar 1: Hubungan antara beban generator dengan kebutuhan massa steam

Berdasarkan gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin tinggi beban generator yang dihasilkan maka kebutuhan massa steam yang memasuki turbin akan semakin meningkat. Dari gambar 2 juga terlihat bahwa hubungan antara beban generator dengan flowrate steam adalah berbanding lurus dengan kenaikan secara linier. Dari hasil regresi linier hubungan antara flowrate steam dengan beban kerja generator diperoleh persamaan $y = 13,837x + 11,34$, dimana y merupakan laju kebutuhan steam (kg/h) dan x merupakan beban yang dihasilkan generator (MW). Persamaan ini dapat digunakan untuk memudahkan perhitungan dalam penentuan kebutuhan steam untuk membangkitkan generator dan hasil menunjukkan semakin tinggi beban pembangkit, massa steam yang dibutuhkan juga semakin tinggi (Soelaiman, Sofyan, 2009)

b. Analisis Efisiensi Turbin Generator (TG-65).

i. Analisis Efisiensi Turbin

Efisiensi isentropik turbin merupakan salah satu indikator *performance* dari turbin. Efisiensi isentropik dihitung dengan mengasumsikan turbin pada kondisi isentropis. Analisis efisiensi turbin diawali dengan melakukan perhitungan daya turbin ideal dan daya turbin aktual. Perhitungan dilakukan untuk data pada tanggal 5 November 2022. Kerja turbin merupakan selisih antara entalpi steam yang masuk dengan entalpi steam yang keluar. Kondisi steam yang masuk dan keluar turbin merupakan *superheated steam*, sehingga data *enthalpy steam* (Smith dkk, 2017). Analisis efisiensi turbin diawali dengan melakukan perhitungan daya turbin ideal dan daya turbin aktual. Perhitungan dilakukan untuk data pada tanggal 5 November 2022 menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$W_{ideal} = m \times (h_{in} - h_s)$$

$$W_{ideal} = 71300 \text{ kg/jam} \times (3224,455 - 2920)$$

$$W_{ideal} = 21.707.641,5 \text{ kJ/jam} = 6,0299 \text{ MW}$$

Daya turbin aktual dengan persamaan berikut:

$$W_{aktual} = m \times (h_{in} - h_{out})$$

$$W_{aktual} = 71300 \text{ kg/jam} \times (3224,455 - 2993,3016)$$

$$W_{aktual} = 16.481.237,42 \text{ kJ/jam} = 4,5781 \text{ MW}$$

Efisiensi turbin diperoleh dari perbandingan W_{aktual} dengan W_{ideal} seperti pada persamaan 3 sebagai berikut :

$$\eta_{turbin} = \frac{4,5781 \text{ MW}}{6,0299 \text{ MW}} \times 100\%$$

$$\eta_{turbin} = 75,92\%$$

3.2.2. Analisis Efisiensi Generator

Perhitungan efisiensi generator didapatkan dari perbandingan antara beban generator dengan daya ideal turbin.

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{5 \text{ MW}}{6,0299 \text{ MW}} \times 100\%$$

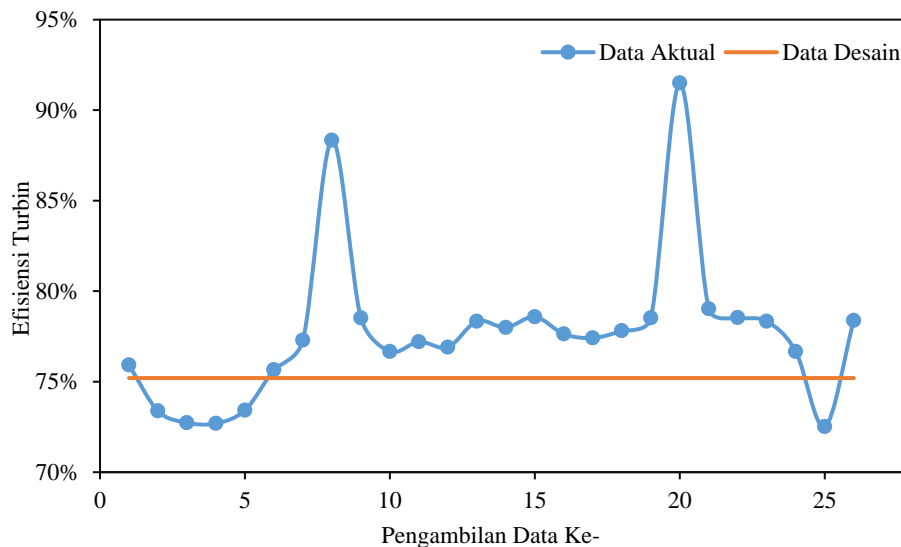
$$\eta_{\text{generator}} = 82,92\%$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada data yang lain, maka didapatkan efisiensi turbin dan efisiensi generator yang disajikan pada tabel 5.

Tabel 5: Efisiensi Turbin & Generator

Tanggal	Efisiensi Turbin	Efisiensi Generator
05-Nov-22	75.92%	82.92%
06-Nov-22	73.38%	72.54%
07-Nov-22	72.73%	71.76%
08-Nov-22	72.69%	74.19%
09-Nov-22	73.42%	73.56%
10-Nov-22	75.66%	75.03%
11-Nov-22	77.30%	78.58%
12-Nov-22	88.34%	84.62%
13-Nov-22	78.52%	79.37%
14-Nov-22	76.66%	77.76%

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada data yang lain, maka didapatkan efisiensi turbin dan efisiensi generator yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3: Grafik Efisiensi Turbin

3.2.1. Analisis Efisiensi Generator

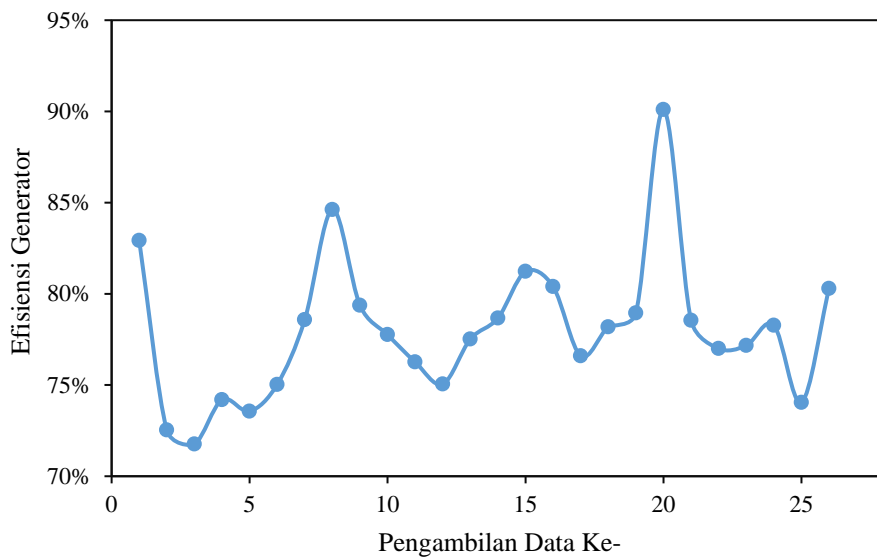
Efisiensi generator digunakan untuk mengetahui performa dari generator. Efisiensi generator didapatkan dari perbandingan antara beban generator dengan daya ideal turbin dengan persamaan sebagai berikut. Sebagai contoh perhitungannya akan menggunakan sampel data pada tanggal 5 November 2022.

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{P_{\text{generator}}}{P_{\text{turbin}}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{5 \text{ MW}}{6,0299 \text{ MW}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{generator}} = 82,92\%$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada data yang lain, maka didapatkan efisiensi efisiensi generator pada bulan November ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4: Grafik Efisiensi Generator

c. Pembahasan

Dari gambar 3 terlihat bahwa nilai efisiensi turbin mengalami fluktuasi pada bulan November 2022, dimana efisiensi turbin tertinggi sebesar 91,5% pada tanggal 24 November 2022. Sedangkan efisiensi terendah turbin berturut-turut sebesar 72,52% yang didapatkan pada tanggal 7 November 2022. Hasil perhitungan efisiensi turbin menunjukkan nilai efisiensi diatas nilai efisiensi desain. Hal ini disebabkan massa yang *steam* yang masuk ke turbin diatas laju massa desain. Apabila tekanan masuk turbin, suhu masuk turbin, dan suhu keluar turbin lebih tinggi dari data desain, maka nilai efisiensinya akan lebih besar dari nilai efisiensi desain (Danial, 2019). Gambar 4 dapat dilihat bahwa efisiensi generator mengalami perubahan yang flutuatif pada setiap harinya. Efisiensi generator tertinggi diperoleh sebesar 90,1% pada tanggal 24 November 2022, sedangkan efisiensi terendah generator sebesar 71,76% yang didapatkan pada tanggal 7 November 2022. Efisiensi generator sendiri dapat dipengaruhi oleh beban listrik, dimana semakin tinggi beban yang dibangkitkan maka dapat menyebabkan penurunan efisiensi kinerja generator. Selain itu, efisiensi pada generator tidak bisa mencapai 100%, hal ini disebabkan oleh *losses* yang ada pada generator tersebut. *Losses* yang terjadi pada generator bisa berupa rugi panas pada kumparan (*winding*) dan inti generator (*core*) yang disebabkan oleh turbulensi udara akibat rotasi jangkar atau bisa juga dipengaruhi oleh sistem pendinginnya (*generator cooling system*), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar. Hal ini mengakibatkan efisiensi pada generator dapat mengalami perubahan yang fluktuatif saat beroperasi (Priambodo, 2019). Gambar 3 dan gambar 4 dapat dilihat bahwa ada keterkaitan antara efisiensi turbin dengan efisiensi generator. Dimana pada saat efisiensi turbin maksimal juga diperoleh efisiensi generator yang paling besar. Pada penelitian sebelumnya tentang analisa efisiensi generator pada PLTU pabrik Gula Madukismo diperoleh efisiensi generator sebesar 88,9%. Dimana hasil analisa menunjukkan bahwa semakin besar nilai daya masukan generator/ daya yang dihasilkan turbin maka efisiensi generator juga semakin besar (Kurniasari, 2017). Efisiensi generator sendiri dapat dipengaruhi oleh beban listrik, dimana semakin tinggi beban yang dibangkitkan maka dapat menyebabkan penurunan efisiensi kinerja generator. Selain itu, efisiensi pada generator tidak bisa mencapai 100%, hal ini disebabkan oleh *losses* yang ada pada generator tersebut. *Losses* yang terjadi pada generator bisa berupa rugi panas pada kumparan (*winding*) dan inti generator (*core*) yang disebabkan oleh turbulensi udara akibat rotasi jangkar atau bisa juga dipengaruhi oleh sistem pendinginnya (*generator cooling system*), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar. Hal ini mengakibatkan efisiensi pada generator dapat mengalami perubahan yang fluktuatif saat beroperasi.

4. KESIMPULAN

Pembangkit listrik memiliki tujuan untuk memenuhi kebutuhan listrik departemen produksi III A. Diperoleh persamaan linear $y = 14,093x + 9,6451$ yang dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan *steam* pada setiap beban generator yang diinginkan. Dari hasil perhitungan, diperoleh efisiensi turbin-generator yang bersifat fluktuatif yang disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya seperti fluktuasi beban yang dibangkitkan generator dan *losses* mekanik pada generator. Keterkaitan antara efisiensi turbin dan generator, dimana pada saat efisiensi turbin maksimal juga diperoleh efisiensi generator yang paling besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat Yang Maha Kuasa penulis dapat menyelesaikan artikel ini, serta terima kasih kepada PT Petrokimia Gresik yang sudah mendukung terselesaikannya artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad A., Fransiscus X., Heru B. (2017). Probabilistic approach: back pressure turbine for geothermal vapor-dominated system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 103.
- Anggraini T., Ari, S., & Ronggo, A. (2018). Perhitungan ASR & Efisiensi Internal Steam Turbine (Back Pressure). *Jurnal Chemurgy*, 2(2).
- Danial, Rolando S., Eddy K. (2019). Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa. *Jurnal Samosir*, 1(1).
- Kanoglu, M., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2007). Understanding energy and exergy efficiencies for improved energy management in power plants. *Energy Policy*, 35(7), 3967–3978.
- Kurniasari, B., Handajadi, I. W., & Hani, S. (2017). Analisa Efisiensi Turbin Generator Berdasarkan Kualitas Daya Pada Pltu Pabrik Gula Madukismo. *Jurnal Elektrikal*, 4(2), 20–27.
- Mohamad A. Rachmat S. (2020). Analisa Kinerja Boiler Pembangkit Listrik tenaga Uap Asam Asam Unit II – Kalimantan Selatan 2, 1.
- Muharrir, Ibnu H. (2019). Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPIP Kamojang. *Jurnal Kilat*, 8(2).
- Panji, P.R., Hernawan, N. (2021). Evaluasi Unjuk Kerja Turbin Uap di Unit Utilities Pt. X Menggunakan Efisiensi Isentropik. *SNTEM*, 1, 599-605
- Priambodo, T., M.A.Auliq. (2019). Analisa Perhitungan Efisiensi Daya Turbine Generator Siemens ST-300 7 MW di PTPN XI (Unit) PG.Semboro. *Jurnal UNMUH*.
- Ria Saifudin, A., Gunawan & Nurdin, A. (2022). Analysis of Steam Turbine Generator 1 Performance at Power Plant 2 Utilities of PT Pertamina RU V Balikpapan. *Jurnal Rekayasa Mesin dan Inovasi Teknologi*, 3(1), 172–178.
- Rout, I. S., Gaikwad, A., Kumar Verma, V., & Tariq, M. (2013). Thermal Analysis of Steam Turbine Power Plants. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 7(2), 28–36.
- Santoso, H. (2018). Optimalisasi untuk Menghasilkan Efisiensi Ideal Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Kapasitas 20 MW. *Jurnal String*, 3(2).
- Setiawan, F.G., Alvera A.M., & Slameto. (2022). Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 1 di Cirebon Power. *Jurnal Energi*, 11(2).
- Smith, J.M., H.C Van Ness, M.M. Abott, M.T. Swihart. (2009). Introduction To Chemical Engineering Thermodynamics. New York. Mc. Graw Hill Education.
- Vanness, Smith. (2009). Introduction To Chemical Engineering Thermodynamics. New York. Mc. Graw Hill Education.
- Wildani, F., Syarifuddin, & Sarma Thaha. (2021). Analisis Efisiensi Generator Pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2x25 MW PT Rekind Daya Mamuju. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*
- Wisnaningsih. (2019). PERENCANAAN TURBIN UAP PENGGERAK GENERATOR DENGAN DAYA 100 MW PADA 3000 RPM. *Jurnal Teknik Sains*, 4(1)
- Yohana, E., & Romadhon, R. (2017). Analisa Efisiensi Isentropik dan Exergy Destruction Pada Turbin Uap Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap. *Jurnal ROTASI*, 19(2), 134–138.