

STUDI ANALISIS EFISIENSI STEAM TURBINE GENERATOR PADA BAGIAN ASAM SULFAT DAN UTILITAS DEPARTEMEN PRODUKSI IIIB PT PETROKIMIA GRESIK

Dinda Annisa Yumna¹, Hardjono¹, Galih Yudhaprawira²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²Departemen Produksi IIIB, PT Petrokimia Gresik, Jl. Jenderal Ahmad Yani, Ngipik, Karangpoh, Kec.

Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61119, Indonesia

ydindaanisa@gmail.com ; [hardjono@polinema.ac.id] ; [galih.yudhaprawira@petrokimia-gresik.com]

ABSTRAK

Sejumlah energi penggerak peralatan proses sangat diperlukan dalam proses produksi di seluruh pabrik yang ada pada PT Petrokimia Gresik. Departemen Produksi IIIB memiliki unit utilitas asam sulfat, yang salah satunya adalah unit power generator (*turbine generator*). Dimana salah satu unit power generator yaitu *steam turbine* (TP-6101) dengan kapasitas 17,5 MW. Kondisi saat ini pada pembangkit listrik pada Unit Utilitas Asam Sulfat PT Petrokimia Gresik yang telah beroperasi selama bertahun-tahun dan telah mengalami banyak permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi pada *Turbine Generator*. Dari latar belakang tersebut akan dilakukan studi analisis efisiensi *steam turbine generator*. Studi literatur ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi *steam turbine generator* pada bagian Asam Sulfat dan Utilitas Departemen Produksi IIIB PT Petrokimia Gresik. Analisis efisiensi *steam turbine* ini dilakukan dengan cara observasi lapangan pada *Steam Turbine Generator* Unit Utilitas Asam Sulfat Departemen Produksi III B untuk pengumpulan data, data yang diperoleh berupa data tekanan, temperatur dan laju alir massa pada *steam turbin generator*. Nilai efisiensi *steam turbine generator* ditentukan dengan menghitung kerja *reversible* dan daya yang dihasilkan, kemudian menghitung efisiensi *turbine generator*. Dari hasil perhitungan efisiensi turbin yang telah dilakukan selama 14 hari dapat disimpulkan bahwa Pada Unit Utilitas Asam Sulfat *Steam Turbin Generator* (17,5 MW) nilai efisiensi masih cukup baik. Efisiensi generator tidak mengalami perubahan yang signifikan yaitu mengalami penurunan efisiensi sebesar ± 1 % dari nilai efisiensi desain sebesar 78,40% menjadi 77,40% Jadi hasil perhitungan dan analisis tersebut bahwa efisiensi generator masih berada batas normal sesuai data yang didapatkan dan dapat dikatakan masih beroperasi dengan cukup baik.

Kata kunci: *efisiensi, kerja reversible, steam turbine generator, studi analisis, utilitas asam sulfat*

ABSTRACT

A number of process equipment driving energy is needed in the production process in all factories in PT Petrokimia Gresik. Production Department IIIB has a sulfuric acid utility unit, one of which is a power generator unit (*turbine generator*). Where one of the power generator units is the *steam turbine* (TP-6101) with a capacity of 17.5 MW. The current condition of the power plant at PT Petrokimia Gresik's Sulfuric Acid Utility Unit which has been in operation for many years and has experienced many problems which can reduce the efficiency of the *Turbine Generator*. From this background, a *steam turbine generator efficiency analysis study* will be carried out. This analytical study aims to determine the efficiency of the *steam turbine generator* in the Sulfuric Acid and Utilities Section of Production Department IIIB PT Petrokimia Gresik. Analysis of the efficiency of the *steam turbine* was carried out by means of field observations at the *Steam Turbine Generator Unit Sulfuric Acid Production Department III B* for data collection, the data obtained was in the form of pressure, temperature and mass flow rate data on the *steam turbine generator*. The efficiency value of the *Steam Turbine Generator* is

Corresponding author: Hardjono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: hardjono@polinema.ac.id



determined by calculating the reversible work and the generated power, then calculating the efficiency of the turbine generator. From the results of turbine efficiency calculations that have been carried out for 14 days it can be concluded that in the 17.5 MW Sulfuric Acid Steam Turbine Generator Utility Unit) the efficiency value is still quite good. The efficiency of the generator has not changed significantly, that is, it has decreased in efficiency by $\pm 1\%$ from the design efficiency value of 78.40% to 77.40%. So the results of the calculations and analysis show that the efficiency of the generator is still within normal limits according to the data obtained and it can be said that it is still operate quite well.

Keywords: efficiency, reversible work, steam turbine generator, analysis studies, sulfuric acid utilities

1. PENDAHULUAN

Industri di Indonesia mengalami pertumbuhan dan perkembangan yang pesat, diantaranya PT Petrokimia Gresik yang bergerak di bidang pembuatan pupuk, bahan kimia dan produk jasa lainnya. PT Petrokimia Gresik memproduksi asam sulfat (H_2SO_4) yang komponen utamanya berupa sulfur padat. Asam sulfat yang diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik dibuat dengan menggunakan prosedur *Double Contact Double Absorption* (DCDA). Sebanyak energi penggerak peralatan proses diperlukan dalam proses produksi di seluruh pabrik PT Petrokimia Gresik. Departemen Produksi IIB memiliki pabrik asam sulfat yang didalamnya terdapat unit pembangkit listrik (turbin generator). Dimana salah satu unit power generator yaitu *steam turbine* (TP-6101) dengan kapasitas 17,5 MW. Pembangkit listrik pada Unit Utilitas Asam Sulfat PT Petrokimia Gresik mengalami banyak masalah yang dapat mempengaruhi efisiensi generator turbin karena telah beroperasi selama bertahun-tahun. Arus listrik mengalir ketika generator dihubungkan dengan beban. Besarnya arus listrik yang mengalir tergantung besarnya hambatan pada beban. Saat menggunakan generator, diperlukan stabilitas agar berfungsi optimal. Perubahan beban menyebabkan ketidakstabilan generator, yang dapat mempengaruhi efisiensi generator [1]. Turbin uap adalah pesawat dengan aliran tetap (*steady-flow*) *machine*, dimana uap melalui nosel diekspansikan kesudu-sudu turbin dengan penurunan tekanan yang drastis sehingga terjadi perubahan energi kinetik pada uap energi kinetik uap keluar nosel diberikan pada sudu-sudu turbin [2]. *Steam* yang masuk berfungsi untuk menggerakkan *shaft* yang menjadi penghubung antara turbin dan generator. Dimana generator merupakan sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik [3]. Fungsi utama dari *steam turbine generator* ini yaitu untuk memenuhi kebutuhan listrik di sekitar plant [4].

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Dharma dan Bachtiar (2013), yaitu studi eksperimen dengan membandingkan pengaruh variasi tekanan *inlet* turbin dan variasi pembebanan. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa perubahan tekanan masuk pada turbin dan perubahan beban pada generator dapat mempengaruhi kerja turbin, pembebanan 1000 Watt dan pada tekanan 8 bar menghasilkan daya actual terbesar yaitu 5,43 KW. Semakin tinggi tekanan mengakibatkan suhu dan enthalphy semakin meningkat semakin tinggi tekanan masuk turbin dengan beban tetap maka efisiensi sudu turbin akan semakin baik. Efisiensi sudu terbaik adalah 42,9% pada beban 1000 Watt dan tekanan masuk turbin 8 bar. Hal ini dikarenakan rasio kecepatan sudu dan kecepatan keluar nosel aktual semakin kecil. Efisiensi turbin terbaik didapat pada beban 1000 Watt dengan tekanan masuk Turbin 8 bernilai efisiensinya adalah 88,8%. Semakin tinggi tekanan masuk turbin dengan beban tetap maka efisiensi turbin akan semakin baik [5]. Penelitian sebelumnya yang

dilakukan oleh Wulandari, dkk (2023) dengan melakukan unjuk kerja dan efisiensi turbin uap dan generator pada pembangkit listrik Unit Sistem Utilitas Produksi IIIA PT Petrokimia Gresik. Penelitian tersebut dilakukan dengan menganalisis menggunakan perhitungan yang diperoleh dari literatur dan data yang diperoleh dari lapangan. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil perhitungan analisis efisiensi turbin generator tertinggi yaitu pada tanggal 24 November 2022 dengan efisiensi berturut-turut sebesar 91,5% dan 90,1%. Hal ini disebabkan massa uap yang masuk ke turbin laju massa desain. Ketika tekanan *inlet* turbin, suhu *inlet* turbin, dan suhu *outlet* turbin lebih tinggi dari data desain, efisiensinya lebih besar dari nilai efisiensi desain [6]. *Steam turbine* bekerja dengan memanfaatkan panas dari *steam* (uap) kemudian diubah menjadi energi mekanis yang dihubungkan oleh shaft atau poros turbin pada generator untuk menghasilkan energi listrik [7]. Semakin tinggi efisiensi generator, semakin tinggi keandalan sistem. Diperkirakan efisiensi generator mengalami penurunan dari tahun ke tahun karena beberapa faktor [8]. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Saifudin dan Gunawan (2022) dengan menganalisis performansi *steam turbine generator* yang dilakukan di PT Pertamina. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil penelitian pertama bulan Desember 2020 diperoleh nilai efisiensi *Steam Turbine Generator 1* pada minggu pertama 59,073 %, minggu kedua 53,692 %, minggu ketiga 60,449 %, minggu keempat 61,509 %. Untuk penelitian kedua pada bulan Desember 2021 nilai efisiensi yang diperoleh pada minggu pertama 61,564 %, minggu kedua 65,074%, minggu ketiga 62,429 %, minggu keempat 60,850 %. Bervariasinya nilai efisiensi diakibatkan perubahan daya listrik yang dihasilkan. Daya yang dihasilkan semakin mendekati nilai *Most Economic Rating* maka semakin besar nilai efisiensi yang didapatkan [7]. Turbin uap adalah mesin yang mengubah energi dalam uap menjadi energi mekanik [9]. dimana salah satu prinsip kerja turbin yaitu semakin kecil tekanan uap yang meninggalkan sudu terakhir semakin tinggi nilai efisiensi yang didapatkan [10]. Proses konversi energi yaitu Mula-mula energi panas dalam uap diubah menjadi energi kinetik (kecepatan) dengan cara melewatkan uap melalui nozzle-nozzle. Uap berkecepatan tinggi kemudian diarahkan ke sudu-sudu sehingga menghasilkan putaran poros turbin dimana energi mekanik ini selanjutnya dapat digunakan untuk menggerakkan generator, pompa, kompressor dan sebagainya. Perubahan energi panas turbin menjadi energi kinetik terjadi didalam nozzle (sudu diam) turbin, sedangkan perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran rotor terjadi pada sudu gerak turbin

Dari latar belakang dan penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa analisis efisiensi *steam turbine generator* diperlukan karena efisiensi sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem pembangkit listrik. Efisiensi generator turbin uap berdampak besar pada kinerja unit pembangkit listrik. Semakin tinggi efisiensi generator, semakin tinggi keandalan sistem [12]. Dimana Generator merupakan alat yang memproduksi energi listrik yang bersumber dari energi mekanik, yang biasanya menggunakan induksi elektromagnetik [3]. *Steam* yang telah dipakai akan menjadi kondensat, kemudian menjadi *steam* penggerak turbin yang akan menghasilkan listrik [7].

Berdasarkan penjelasan di atas, Studi literatur ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi dari *steam* turbin generator pada Bagian Asam Sulfat dan Utilitas Departemen Produksi IIIB PT Petrokimia Gresik.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan pada pendahuluan yang telah dijelaskan di atas, metodologi penelitian yang digunakan dalam mengevaluasi efisiensi *steam turbine generator* dilakukan dengan studi literatur, teknik pengumpulan data dan perhitungan nilai efisiensi pada *steam turbine generator* Bagian Asam Sulfat dan Utilitas Departemen Produksi IIB PT Petrokimia Gresik, dapat dijelaskan sebagai berikut :

2.1 Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan menggunakan observasi lapangan pada *steam turbine generator* yang berlokasi di Unit Utilitas Asam Sulfat Departemen Produksi III B PT Petrokimia Gresik. Observasi lapangan dilakukan dengan pengamatan langsung terkait data tekanan, *temperature*, laju alir massa dan beban generator pada *steam turbine generator*.

2.2 Perhitungan Nilai Efisiensi pada *Steam Turbine Generator*

Efisiensi didefinisikan sebagai persentase rasio antara output terhadap input dalam suatu proses. Efisiensi suatu proses merupakan salah satu indikator yang penting untuk mengetahui seberapa baik konversi energi atau proses transfer yang terjadi [13]. Efisiensi turbin uap adalah persentase keberhasilan sistem turbin uap mendekati proses ideal [14]. Kerja turbin merupakan selisih antara entalpi *steam* yang masuk dengan enthalpi *steam* yang keluar. Kondisi *steam* yang masuk dan keluar turbin merupakan *superheated steam*, sehingga data enthalpy *steam* dilihat dari Tabel E.2 *Properties of Superheated Steam* Buku teks *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* [15].

Nilai efisiensi *steam turbine generator* ditentukan dengan menghitung :

- Kerja *reversible* dan daya yang dihasilkan turbin dengan rumus :

$$W = (H_{inlet} - H_{outlet}) \quad (1)$$

dimana :

W = Kerja *reversible* (kJ/kg)

H_{inlet} = *Enthalpy steam* yang masuk dari *Turbine Generator* (kJ/kg)

H_{outlet} = *Enthalpy steam* yang keluar dari *Turbine Generator* (kJ/kg)

Daya yang dihasilkan turbin

$$P_{Turbin} = m \times W \times 10^{-6} \quad (2)$$

dimana :

P_{Turbin} = Daya aktual turbin (MW)

m = *Mass flow* (kg/s)

W = Kerja *reversible* (kJ/kg)

- Efisiensi turbin generator dengan rumus

$$\eta_{generator} = (Beban\ Generator / P_{Turbin}) \times 100\% \quad (3)$$

dimana :

Beban generator = Daya generator (MW)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Dari observasi di lapangan diperoleh data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Suhu *Steam*, Laju Alir dan Beban Generator

Tanggal	T_{inlet} (°C)	T_{outlet} (°C)	Mass Flow (kg/s)	Beban Generator (MW)
1/6/2022	403.4	70	17.14	13,71
2/6/2022	405.6	67	17.25	17,70
3/6/2022	406.5	65	17.08	13,73
4/6/2022	411.4	65	12.94	10,51
5/6/2022	410	65	13.53	10,94
6/6/2022	408	65	13.50	11,00
7/6/2022	408	65	13.58	11,03
8/6/2022	405	65	13.56	11,05
9/6/2022	402.8	71	13.64	11,07
10/6/2022	408.9	62	13.53	11,03
11/6/2022	409.5	67	13.56	11,02
12/6/2022	406.5	65	12.42	10,02
13/6/2022	406.3	69	12.56	10,02
14/6/2022	399.9	69	9.36	7,01

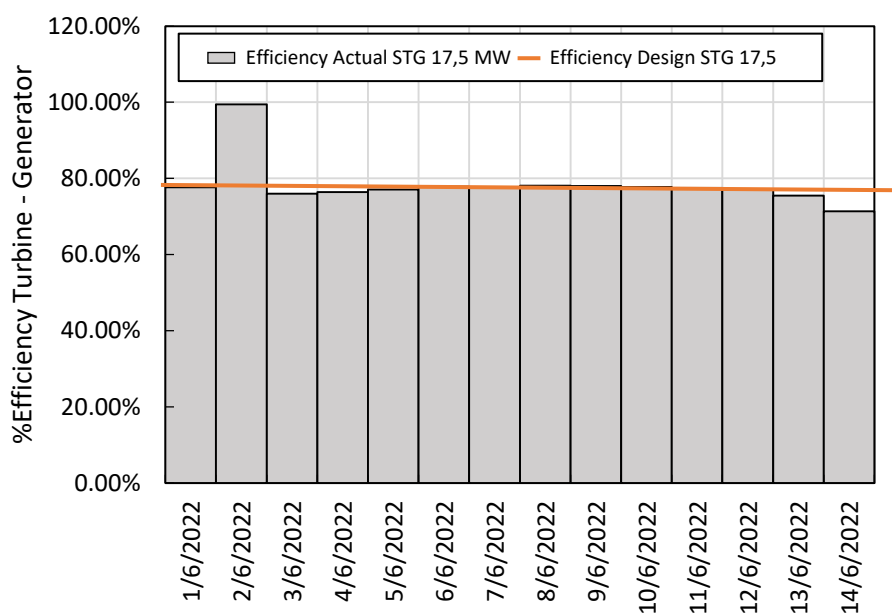
Dari data pengamatan pada Tabel 1 dilakukan perhitungan efisiensi turbin generator yang hasilnya seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Data *Enthalpy Steam*, Kerja *Reversible*, Laju Alir, Power Turbin, Beban Generator dan Efisiensi *Steam Turbin Generator*

Tanggal	H_{inlet} Aktual (kJ/kg)	H_{outlet} Reversible (kJ/kg)	W (kJ/kg)	Mass Flow (kg/s)	Power Turbin (MW)	Beban Generator (MW)	Efisiensi Aktual (%)
1/6/2022	3231,02	2180,45	1050.57	17.14	17.65	13,71	77.68
2/6/2022	3236,11	2182,86	1053.25	17.25	17.81	17,70	99.41
3/6/2022	3238,19	2159,50	1078.69	17.08	18.06	13,73	76.00
4/6/2022	3249,66	2165,21	1084.45	12.94	13.76	10,51	76.43
5/6/2022	3246,11	2175,53	1070.58	13.53	14.19	10,94	77.06
6/6/2022	3241,49	2173,37	1068.12	13.50	14.13	11,00	77.86
7/6/2022	3241,49	2173,37	1068.12	13.58	14.22	11,03	77.58
8/6/2022	3234,56	2170,12	1064.44	13.56	14.14	11,05	78.14
9/6/2022	3229,46	2167,72	1061.74	13.64	14.19	11,07	78.02
10/6/2022	3243,57	2174,34	1069.23	13.53	14.18	11,03	77.78
11/6/2022	3244,96	2174,99	1069.97	13.56	14.21	11,02	77.54
12/6/2022	3238,03	2171,75	1066.28	12.42	12.97	10,02	77.21
13/6/2022	3237,56	2158,81	1078.75	12.56	13.27	10,02	75.50
14/6/2022	3222,74	2151,87	1070.87	9.36	9.82	7,01	71.38

3.2 Pembahasan

Perhitungan ini menggunakan data yang diambil pada bulan Juni 2022 terhitung sejak tanggal 1- 14 Juni 2022. Berikut merupakan diagram hasil perhitungan efisiensi *steam turbine generator* (TP-6101 17,5 MW) mulai tanggal 1-14 Juni 2022.



Gambar 1. Diagram waktu terhadap efisiensi *steam turbine generator*

Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan kondisi lapangan yang ada, Gambar 1 menunjukkan bahwa *Steam turbine generator* berkapasitas 17,5 MW yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik Departemen Produksi IIB cenderung mengalami penurunan selama Juni 2022. Nilai efisiensi terendah didapatkan pada tanggal 14 Juni 2022 yaitu sebesar 71,38% sedangkan nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada tanggal 2 Juni 2022 yaitu sebesar 99,41%. Hasil menunjukkan bahwa semakin besar daya masukan generator atau daya yang dihasilkan oleh turbin maka semakin tinggi efisiensi yang dihasilkan oleh generator tersebut [3]. Hal ini juga dipengaruhi oleh peningkatan inlet tekanan *steam*, sehingga efisiensi turbin juga akan meningkat [5].

Efisiensi pada *steam turbine generator* tidak dapat mencapai 100%, hal ini disebabkan adanya rugi-rugi yang ada pada *steam turbine generator* tersebut. Rugi-rugi tersebut yaitu meliputi rugi-rugi panas pada kumparan (*winding*) dan rugi-rugi pada inti generator (*core*), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar. Rugi-rugi panas yang dihasilkan oleh kumparan dan inti generator dipengaruhi oleh sistem pada pendinginnya (*generator cooling system*). Hal ini dapat menyebabkan adanya perubahan efisiensi yang fluktuatif pada *steam turbine generator* saat beroperasi [16].

Berdasarkan perhitungan data selama 14 hari, nilai rata-rata efisiensi *Steam turbine generator* 17,5 MW secara aktual sebesar 78,40% dan mengalami penurunan sebesar 1% jika dibandingkan dengan nilai efisiensi secara desain yang memiliki nilai sebesar 77,40%. Hal tersebut menunjukkan bahwa *steam turbine generator* 17,5 MW masih beroperasi dengan cukup baik.

Penurunan efisiensi ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu berkurangnya operabilitas generator dan rugi-rugi generator, antara lain rugi-rugi mekanis, rugi-rugi gesekan akibat gesekan bantalan, dan gesekan udara (*windage*) yang disebabkan oleh

turbulensi udara, karena rotasi jangkar. Faktor pemeliharaan juga mempengaruhi besarnya gesekan. Pembersihan rutin pada pipa transmisi uap dan saporator dapat mempengaruhi kinerja turbin generator. Selain kerugian gesekan, faktor kebocoran uap pada pipa-pipa transmisi dan juga faktor kebutuhan uap pada sistem dari pembangkit listrik juga dapat menyebabkan penurunan efisiensi turbin generator [17].

Nilai efisiensi terendah didapatkan pada tanggal 14 Juni 2022 yaitu sebesar 71,38% sedangkan nilai efisiensi tertinggi yang didapatkan yaitu pada tanggal 2 Juni 2022 sebesar 99,41%. Nilai efisiensi tanggal 2 Juni 2022 jauh melebihi efisiensi desain, kemungkinan disebabkan karena pengambilan data yang kurang valid.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil evaluasi dengan menganalisis efisiensi *steam turbine generator* menggunakan perhitungan efisiensi turbin yang telah dilakukan selama 14 hari dapat disimpulkan bahwa Bagian Asam Sulfat dan Utilitas Departemen Produksi IIB PT Petrokimia Gresik. *Steam Turbin Generator* 17,5 MW) memiliki nilai efisiensi yang masih cukup baik. Efisiensi generator tidak mengalami perubahan yang signifikan yaitu mengalami penurunan efisiensi sebesar ± 1 % dari nilai efisiensi desain sebesar 78,40% menjadi 77,40% Jadi hasil perhitungan dan analisis tersebut bahwa efisiensi generator masih berada batas normal sesuai data yang didapatkan dan dapat dikatakan masih beroperasi dengan cukup baik.

Dari studi analisis yang telah dilakukan, maka perlu dilakukan studi lebih lanjut dan pengembangan tentang potensi untuk meningkatkan efisiensi lebih lanjut dan keandalan generator *steam turbine*.

REFERENSI

- [1] D. W. Apni, "Analisis Pengaruh Beban Terhadap generator Sinkron Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu," *Medan Tugas Akhir. Politek. Negeri Medan*, hal. 5–10, 2015.
- [2] D. Nursuhud dan A. Pudjanarsa, "Mesin Konversi Energi," *Andi, Ed.*, vol. 3, 2008.
- [3] B. Kurniasari, W. Handajadi, dan S. Hani, "Analisa Efisiensi Turbin Generator Berdasarkan Kualitas Daya Pada Pltu Pabrik Gula Madukismo," *Inst. Sains Teknol. AKPRIND*, vol. 4, no. 2, hal. 20–27, 2017.
- [4] Anonim, "Proyek Revamping Pabrik Asam Sulfat. Gresik: Departement III-B PT.Petrokimia Gresik," 2021.
- [5] D. Dharma dan A. Bachtiar, "Studi Eksperimen Perbandingan Pengaruh Variasi Tekanan Inlet Turbin dan Variasi Pembebanan Terhadap Karakteristik," *Tek. Pomtis*, vol. 2, no. 3, hal. B-415-B418, 2013.
- [6] P. F. Wulandari, D. Lutfiananda, K. Sumada, dan L. Suprianti, "Unjuk Kerja Dan Efisiensi Turbin Uap Dan Generator (TG-65) Pada Pembangkit Listrik Unit Sistem Utilitas," *Sinergi Polmed J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 04, no. 01, hal. 67–74, 2023.
- [7] A. R. Saifudin dan G. Gunawan, "Analisis Performansi Steam Turbine Generator 1 Pada Power Plant 2 Utilities Pt Pertamina Ru V Balikpapan," *J. Rekayasa Mesin dan Inov. Teknol.*, vol. 03, no. 01, hal. 174–178, 2022.
- [8] Cahyadi dan D Hermawan, "Laporan Kerja Praktek Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 Dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang :

- Jurusan Teknik Elektro. Universitas Diponegoro,” 2015.
- [9] I. Staffell, D. Brett, N. Brandon, dan A. Hawkes, “A review of domestic heat pumps,” *Energy Environ. Sci.*, vol. 5, no. 11, hal. 9291–9306, 2012.
- [10] R. Apriandi dan A. Mursadin, “Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Pt. Indocement P-12 Tarjun,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 1, no. 1, hal. 37–46, 2016, doi: 10.20527/sjmekinematika.v1i1.26.
- [11] H. Herrmann dan H. Bucksch, “Boiler,” 2014.
- [12] M. Muharrir dan I. Hajar, “Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang,” *Kilat*, vol. 8, no. 2, hal. 93–102, 2019, doi: 10.33322/kilat.v8i2.643.
- [13] M. Kanoglu, I. Dincer, dan M. A. Rosen, “Understanding energy and exergy efficiencies for improved energy management in power plants,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 7, hal. 3967–3978, 2007.
- [14] M. Rizki, “Study Eksperimental Interpretasi Heat Rate Turbin Uap Ditinjau Dari Laju Alir Superheated Steam Metode Performance Tes Siklus Tenaga Uap Berbahan Bakar Solar,” 2017.
- [15] J. M. Smith, H. C. Van Ness, M. M. Abbott, dan M. T. Swihart, *Phase Equilibrium : Introduction*. 2018.
- [16] J. C. Stephan., “Electric Machinery Fundamentals. Mc Graw - Hill Book Company, 4rd Edition. Australia,” 2004.
- [17] T. Priambodo dan M. A. Auliq, “Analisa Perhitungan Efisiensi Daya Turbine Generator Siemens ST-300 7 MW Di PTPN XI (Unit) PG . SEMBORO,” 2019.