

Analisis Performansi Steam Turbine Generator 1 pada Power Plant 2 Utilities PT Pertamina RU V Balikpapan

Gunawan⁽¹⁾, Akhmad Nurdin⁽²⁾ dan Ahmad Ria Saifuddin⁽³⁾

⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Balikpapan

e-mail : gunawanfrhn@gmail.com

Abstrak

Energi listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan oleh semua orang pada saat ini. Terutama di kilang RU V Balikpapan, energi listrik digunakan sebagai penunjang operasional kilang. Energi listrik dihasilkan dari Generator yang digerakkan oleh Steam Turbine. Agar tidak mengganggu operasional kilang yang sedang berlangsung, maka diperlukan penelitian tentang performansi Steam Turbine Generator. Penelitian mengenai performansi Steam Turbine Generator dilakukan di PT. Pertamina RU V Balikpapan, jl. Yos Sudarso No. 1 Balikpapan mulai September 2021 sampai Januari 2022. Nilai variabel bebas penelitian ini adalah pressure steam inlet dan temperature steam inlet. Sedangkan variabel terikat penelitian ini adalah nilai enthalpy dari steam inlet dan nilai efisiensi yang didapatkan. Dan untuk variabel kontrol penelitian ini adalah bukaan governor valve inlet steam. Berdasarkan 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.

Kata Kunci : Steam Turbine Generator, Most Economic Rating, Efisiensi

A. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan sumber energi yang sangat dibutuhkan oleh semua orang pada saat ini. Energi listrik digunakan untuk kebutuhan rumah tangga, industri dan prasarana lainnya. Untuk menghasilkan energi listrik dibutuhkan suatu sistem yang disebut pembangkit listrik. Salah satu pembangkit listrik yang banyak digunakan adalah pembangkit listrik tenaga uap terutama di Balikpapan. Energi diperoleh dari mesin yang disebut turbin. Secara umum turbin memiliki banyak jenis, salah satunya adalah turbin uap.

Turbin uap bekerja dengan memanfaatkan panas dari uap kemudian diubah menjadi energi mekanis yang dihubungkan oleh *shaft* atau poros turbin

pada generator untuk menghasilkan energi listrik. Di Pertamina RU V Balikpapan banyak memanfaatkan turbin uap sebagai penggerak seperti pompa, kompressor dan yang paling penting adalah generator sebagai penunjang operasional kilang. Ada 7 unit instalasi turbin uap generator yang beroperasi.

Dalam pengoperasian unit turbin generator beberapa kendala yang sering dijumpai oleh operator, diantaranya turunnya performansi turbin. Oleh karena itu, perlu dilakukan kembali analisa kinerja secara menyeluruh dari masing-masing STG agar dapat dioperasikan secara optimal dan dapat dianalisis penyebab dari turunnya performansi. Maka penulis melakukan penelitian yang berjudul

“Analisis Performansi Steam Turbine Generator 1 pada Power Plant 2 Utilities PT Pertamina RU V Balikpapan”

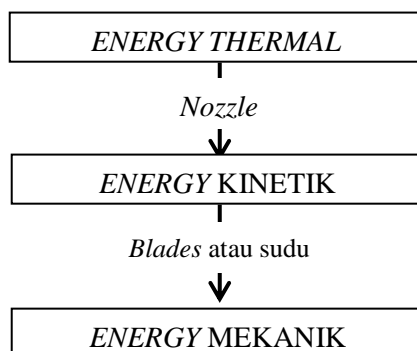
B. LANDASAN TEORI

Turbin uap adalah mesin yang mengubah energi dalam uap menjadi energi mekanik. Energi mekanik dihubungkan ke mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanismenya, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk pembangkit listrik maupun untuk penggerak transportasi.

a. Tahapan kerja turbin uap/prinsip kerja

Tahapan kerja turbin uap sebagai berikut:

- Tekanan uap *inlet nozzle* lebih besar dibandingkan dengan tekanan *outlet nozzle* namun kecepatannya lebih tinggi. Uap yang keluar dari *nozzle* dengan kecepatan tinggi menumbuk sudu turbin sehingga memberikan energi kepada sudu untuk memutar poros.
- Turbin didesain dengan beberapa tingkatan sudu. Sudu-sudu tersebut terdiri dari sudu gerak dan sudu tetap. Desain ini bertujuan agar energi kinetik sisa dari sudu pertama dapat digunakan kembali dengan memanfaatkan sudu tetap sebagai *nozzle* untuk menggerakkan sudu gerak selanjutnya. Semakin kecil tekanan uap yang meninggalkan sudu terakhir semakin tinggi nilai efisiensi yang didapatkan.



Gambar 1. Prinsip Kerja Turbin

b. Proses konversi energi

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.

c. Jenis-jenis turbin

- Turbin Impuls

Cara kerja turbin impuls adalah uap yang keluar dari *nozzle* diarahkan ke sudu-sudu turbin sehingga *rotor* berputar. Turbin impuls adalah turbin yang mempunyai roda jalan atau *rotor* dimana terdapat sudu-sudu impuls. Selain sudu gerak, turbin impuls juga mempunyai sudu tetap yang berfungsi sebagai *nozzle* untuk sudu gerak berikutnya. Proses perubahan energi terjadi pada *nozzle*, yaitu ekspansi uap pada *nozzle*. Pada proses ekspansi energi dan tekanan uap mengalami penurunan pada saat yang sama kecepatan uap mengalami kenaikan. Dengan kecepatan tinggi uap menumbuk sudu gerak turbin dan memberikan sebagian energinya untuk menggerakkan *rotor*. Hal ini bisa disebut juga sebagai azas reaksi. Prinsip reaksi adalah gerakan melawan aksi, jadi dapat dipahami pergerakan rotor turbin diakibatkan oleh kecepatan dan energi uap yang diberikan kepada sudu *rotor* turbin.

- Turbin Reaksi

Turbin yang terdiri dari 100% sudu-sudu reaksi, maka sudu yang

bergerak juga berfungsi sebagai *nozzle*. Pergerakan dari turbin diakibatkan dari peningkatan kecepatan uap yang keluar dari *nozzle* mengakibatkan reaksi yang arahnya berlawanan dengan arah kecepatan uap.

d. Turbine Heat Rate

Turbine Heat Rate (THR) adalah perbandingan energi total yang digunakan untuk menghasilkan 1 kWh. Persamaan yang digunakan sebagai berikut

$$THR = \frac{Q_1 - Q_2}{P} \quad (1)$$

Dimana:

- THR : *Turbine Heat Rate* (kJ/kWh)
- Q_1 : Energi panas yang masuk ke Turbin (kJ/hr)
- Q_2 : Energi panas yang keluar dari Turbin (kJ/hr)
- P : Daya yang dihasilkan oleh *generator* (kW)

Q_1 merupakan energi total yang digunakan atau masuk ke turbin. Q_1 pada turbin adalah energi panas pada *inlet steam*

$$Q_1 = Ms \times Hs \quad (2)$$

Dimana:

- Ms : Jumlah aliran *main steam* (kg/hr)
- Hs : *Enthalpy* pada *main steam* (kJ/kg)

Q_2 merupakan energi dari *exhaust steam turbine*.

$$Q_2 = Me \times He \quad (3)$$

Dimana:

- Me : Jumlah aliran *exhaust steam* (kg/hr)
- He : *Enthalpy* pada *exhaust steam* (kJ/kg)

e. Generator

Generator adalah peralatan yang digunakan untuk mengkonversi energi mekanis menjadi energi listrik dengan

proses induksi elektromagnetik. Azas kerja *generator* menggunakan hukum Lens. Momen elektromagnetik yang ditimbulkan oleh *stator* yang diberikan arus listrik, momen tersebut bersifat melawan putaran *rotor* sehingga menimbulkan Gaya Gerak Listrik (GGL)/*Electromotive Force* (EMF), tegangan GGL dapat menimbulkan arus jangkar. Turbin uap sebagai penggerak utama untuk memutar *rotor generator*, selanjutnya *rotor generator* diberikan eksitasi untuk menimbulkan medan magnet yang berpotongan dengan momen elektromagnet pada *stator*. Potongan berbeda kutub tersebut yang menghasilkan listrik pada *stator*. Proses ini berlangsung secara *continue*.

f. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin uap adalah persentase keberhasilan sistem turbin uap mendekati proses ideal, hal ini membandingkan energi kalor dalam 1 kWh dengan *turbine heat rate* kemudian dikali 100%.

$$\eta_{turbine} = \frac{Q \text{ dalam kWh}}{THR} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana:

- $\eta_{turbine}$: *Eficiency Turbine* (%)
- 1 kWh : Energi Kalor dalam 1 kWh adalah (3600 kJ/s)

C. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di PT Pertamina RU V Balikpapan, Jl. Yos Sudarso No. 1 Balikpapan terhitung mulai bulan September 2021 sampai bulan Januari 2022. PT Pertamina RU V Balikpapan merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan minyak dan gas bumi.

Metode pengumpulan data yang dilakukan selama penelitian adalah sebagai berikut:

- Metode Literatur

Metode literatur adalah metode pengumpulan data mengenai teori yang berisi tentang jenis, spesifikasi, cara kerja serta fungsi dari turbin uap yang didapat dari sumber tertentu, misalnya : *Manual book Steam Turbine Generator*.

- Metode Observasi

Observasi merupakan metode pengumpulan data dengan cara pengamatan atau tinjauan langsung di lapangan. Dalam hal ini adalah pengumpulan data dengan cara mengamati parameter-parameter yang ada di *Steam Turbine Generator*.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pressure transmitter
- Temperature transmitter
- Flow transmitter
- DCS (*Distributed Control System*)

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi *Steam Turbine Generator*

| | | |
|------------------------|------------------------------|------------|
| Type Turbine | Back Pressure Steam Turbine | - |
| Year Built | 1975 | - |
| Maximum power output | 8400 | kW |
| Most Economic Rating | 7000 | kW |
| Normal operation speed | 7000 | rpm |
| Jumlah Sudu | 13 | - |
| Jumlah Trip Valve | 1 | - |
| Inlet Steam | Normal operation pressure | 58,9 bar |
| | Normal operation temperature | 465 °C |
| | Maximum flow | 33,33 kg/s |
| Exhaust Steam | Orientation | Downward - |
| | Maximum Pressure | 19 bar |
| | Normal operation pressure | 17 bar |
| | Normal operation temperature | 316 °C |
| | Maximum flow | 33,33 kg/s |

Tabel 1. Data Spesifikasi *Steam Turbine Generator 1*

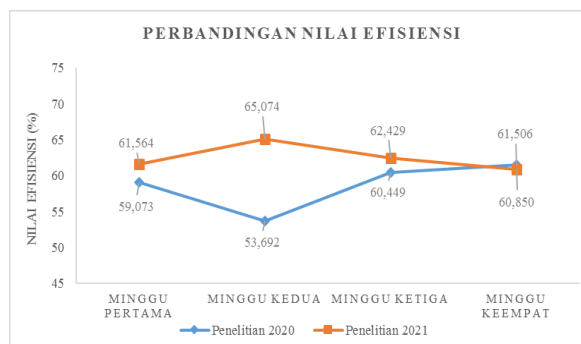
Data Pengamatan

| No | Minggu Ke- | Electrical Power (kW) | Steam Flow (kg/H) | Pressure Inlet Steam (kg/Cm ²) | Temp. Inlet Steam (°C) | Pressure Exhaust Steam (kg/Cm ²) | Temp. Exhaust Steam (°C) |
|----|------------|-----------------------|-------------------|--|------------------------|--|--------------------------|
| 1 | Pertama | 5129,35 | 81371,5 | 57,0914 | 484,115 | 16,9512 | 283,132 |
| 2 | Kedua | 3618,56 | 67144,4 | 57,1831 | 481,973 | 16,9656 | 291,042 |
| 3 | Ketiga | 5204,81 | 82326,3 | 57,0694 | 478,787 | 16,9394 | 280,787 |
| 4 | Keempat | 5401,08 | 84489,3 | 57,1407 | 475,824 | 16,9371 | 278,632 |

Tabel 2. Data Pengamatan Desember 2020

| No | Minggu Ke- | Electrical Power (kW) | Steam Flow (kg/H) | Pressure Inlet Steam (kg/Cm ²) | Temp. Inlet Steam (°C) | Pressure Exhaust Steam (kg/Cm ²) | Temp. Exhaust Steam (°C) |
|----|------------|-----------------------|-------------------|--|------------------------|--|--------------------------|
| 1 | Pertama | 6860,04 | 100463 | 56,8583 | 487,181 | 17,0839 | 279,661 |
| 2 | Kedua | 7056,57 | 102680 | 56,7087 | 477,637 | 17,0897 | 277,894 |
| 3 | Ketiga | 6822,57 | 101001 | 56,8119 | 483,833 | 17,0649 | 280,416 |
| 4 | Keempat | 5831,89 | 89009,5 | 56,8525 | 488,541 | 17,0516 | 286,366 |

Tabel 3. Data Pengamatan Desember 2021



Gambar 2. Grafik hubungan interval waktu dengan Perbandingan Efisiensi *Steam Turbine Generator 1 Pasca Overhaul* dan setelah 1 tahun beroperasi.

Penelitian dilakukan sebanyak dua kali yaitu pada bulan Desember 2020 ketika pertama kali beroperasi setelah *overhaul*. Data pada bulan Desember 2020 bersumber dari *logsheet* arsip perusahaan tahun 2020. Dari data tersebut pada minggu pertama, *Steam Turbine Generator 1* menghasilkan daya listrik sebesar 5129,346 kW dengan konsumsi *steam* sebanyak 81371,512 kg/hr dan didapatkan nilai efisiensi sebesar 59,073 %. Kemudian pada minggu kedua membutuhkan 67144,426 kg/hr untuk menghasilkan daya listrik sebesar 3618,556 kW dan nilai efisiensi didapatkan sebesar 53,692 %. Pada minggu ketiga nilai efisiensi yang didapatkan sebesar 60,449 % dengan konsumsi *steam* sebanyak

82326,285 kg/hr untuk menghasilkan daya listrik sebesar 5204,808 kW. Untuk minggu terakhir penelitian pertama, *Steam Turbine Generator 1* menghasilkan daya listrik sebesar 5401,084 kW dengan efisiensi sebesar 61,506 % dan konsumsi *steam* yang digunakan sebesar 84489,334 kg/hr.

Pada penelitian tahap kedua yaitu bulan Desember 2021 sebagai perbandingan setelah setahun beroperasi *pasca overhaul*. Dari data yang didapatkan pada minggu pertama penelitian, *Steam Turbine Generator 1* mengkonsumsi *steam* sebanyak 100462,537 kg/hr untuk menghasilkan daya listrik sebesar 6860,038 kW dan didapatkan nilai efisiensi sebesar 61,564 %. Kemudian pada minggu kedua *Steam Turbine Generator 1* menghasilkan daya listrik 7056,572 kW dengan konsumsi *steam* sebanyak 102679,950 kg/hr dan didapatkan nilai efisiensi sebesar 65,074 %. Pada minggu ketiga nilai efisiensi yang didapatkan adalah 62,429 % pada saat daya listrik yang dihasilkan sebesar 6822,569 kW dengan konsumsi *steam* sebanyak 101000,664 kg/hr. Dan pada minggu terakhir penelitian *Steam Turbine Generator 1* menghasilkan daya sebesar 5831,887 kW dengan konsumsi *steam* sebanyak 89009,461 kg/hr dan didapatkan nilai efisiensi sebesar 60,850 %.

Bervariasinya nilai efisiensi diakibatkan bervariasinya total daya yang dibangkitkan, berdasarkan penelitian semakin mendekati nilai *Most Economic Rating* semakin besar pula nilai efisiensi yang didapatkan. Hal tersebut sesuai dengan kebutuhan operasional kilang RU V Balikpapan.

Untuk membandingkan nilai efisiensi yang dihasilkan penulis mencari daya yang nilainya saling mendekati untuk penelitian pertama dan penelitian kedua. Datanya sebagai berikut:

| No | Penelitian 2020 | | Penelitian 2021 | |
|----|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | Electrical Power (kW) | Nilai Efisiensi (%) | Electrical Power (kW) | Nilai Efisiensi (%) |
| 1 | 5841,605 | 61,867 | 5842,833 | 58,923 |
| 2 | 5975,524 | 63,387 | 6011,084 | 63,022 |

Tabel 4. Perbandingan nilai efisiensi berdasarkan nilai daya yang mendekati

Dari tabel diatas, data No. 1 pada penelitian pertama tahun 2020 *Steam Turbine Generator 1* menghasilkan daya sebesar 5841,605 kW dengan nilai efisiensi sebesar 61,867 %, dibandingkan dengan penelitian kedua tahun 2021 nilai efisiensinya sebesar 58,923 % dengan daya listrik yang dihasilkan sebesar 5842,833 kW. Kemudian data No. 2 pada penelitian pertama menunjukkan daya listrik yang dihasilkan 5975,524 kW dengan nilai efisiensi 63,387 % dibandingkan dengan penelitian kedua nilai efisiensinya sebesar 63,022 % dan daya listriknya sebesar 6011,084 kW. Penurunan nilai efisiensi dari data diatas diakibatkan *running hours Steam Turbine Generator 1* yang sudah berjalan selama 1 tahun.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai performansi *Steam Turbine Generator 1* di power plant 2 Utilities RU V Balikpapan pada bulan Desember 2020 yaitu : minggu pertama nilai efisiensinya sebesar 59,073 %, minggu kedua sebesar 53,692 %, minggu ketiga sebesar 60,449 % dan minggu keempat sebesar 61,509 %. Untuk penelitian kedua pada bulan Desember 2021 didapatkan nilai efisiensinya pada minggu pertama sebesar 61,564 %, minggu kedua sebesar 65,074 %, minggu ketiga sebesar 62,429 % dan minggu keempat sebesar 60,850 %. Bervariasinya nilai efisiensi diakibatkan perubahan daya listrik yang dihasilkan,

semakin mendekati *Most Economic Rating* daya listrik yang dihasilkan semakin besar nilai efisiensi yang didapatkan.

2. Nilai performansi dari penelitian bulan Desember 2021 dengan daya listrik 5842,833 kW mengalami penurunan nilai efisiensi sebesar 2,944 % dari penelitian bulan Desember 2020 dengan nilai daya listrik yang hampir sama yaitu sebesar 5841,605 kW.

b. Saran

Naik turunnya performansi *Steam Turbine Generator* selain diakibatkan umurnya mesin tersebut dapat diakibatkan juga oleh pola operasi, oleh karena itu perlu dimaksimalkannya pola operasi *Steam Turbine Generator 1* hingga mendekati *Most Economic Ratingnya* tanpa mengesampingkan kebutuhan daya yang digunakan di Kilang RU V Balikpapan dan tidak lupa untuk tepat melakukan maintenance secara berkala.

DAFTAR PUSTAKA

- R. Apriandi and A. Mursadin, "Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Ptu Pt. Indocement P-12 Tarjun," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 1, no. 1, pp. 37–46, 2016, doi: 10.20527/sjmekinematika.v1i1.26.
- M. Ramadhani, "Analisis Perbedaan Mode antara Extraction dan Full Condensing Terhadap Efisiensi Turbin Uap Kapasitas 22 MW" Bab I, pp. 1–16, 2021.
- L. Prof and D. Brett, "Basic Thermodynamics for Operators."
- H. Herrmann and H. Bucksch, "Boiler," *Dict. Geotech. Eng. Geotech.*, pp. 144–144, 2014, doi: 10.1007/978-3-642-41714-6_22387.
- K. Komarudin, A. Saputro, and E. Wahyuningsih, "Analisis Kenaikan Plant Heat Rate PLTU sebelum Perbaikan Berkala terhadap Kondisi Testing Komisioning" *Bina Tek.*, vol. 16, no. 1, p. 25, 2020, doi: 10.54378/bt.v16i1.1740.
- Prastya, "Analisis Kerusakan Connecting Rod pada Engine Diesel Generator," *Anal. Standar Pelayanan Minimal Pada Instal. Rawat Jalan di RSUD Kota Semarang*, vol. 3, pp. 103–111, 2018.
- M. Rizki, "Studi Eksperimental Interpretasi Heat Rate Turbin Uap Ditinjau dari Laju Alir Superheated Steam Metode Performance Test Siklus Tenaga Uap Berbahan Bakar Solar," pp. 4–26.
- T. Wesel, "Manuals for Operation and Maintenance Turbo Generator 1 Backpressure Turbine Volume 1." 1975.