

PERBANDINGAN EFISIENSI AKTUAL DAN SPESIFIKASI GENERATOR BTG II POWER PLANT PT. SEMEN TONASA 2×35 MW PADA BERBAGAI BEBAN AKTUAL

Usman^{*}, Ahmad Multazam, Ahmad Gaffar

Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia
e-mail: usman.ose@poliupg.ac.id, ahmadmultazam15@gmail.com, gaffargaffar1561@gmail.com

Diterima: 12 November 2021 – Direvisi: 8 Januari 2022 – Disetujui: 10 Januari 2022

ABSTRACT

The efficiency of generators in a power plant decreases as running duration increases. This can also happen to the generator of the PT. Steam Power Plant. The Semen Tonasa Power Plant is also known as the Boiler Turbine Generator (BTG) Power Plant. BTG II has been operating for approximately 8 years and based on generator operation data, there has been a decrease in the power generated by the generator, when viewed from the power input to the current turbine, compared to the initial operation of this plant. The aims of this study are to assess the value of the real generator efficiency and compare it to the efficiency generator based on its specifications. Data loading is required to ascertain the true value of generator efficiency, as the output power created by the generator and the input power is the power generated by the turbine, which is computed using the enthalpy reduction method. According to the research, the average generator efficiency values for generator units C and D are 91.36 percent and 90.34 percent, respectively, with real average loads of 25,56 MW and 25,08 MW. In comparison to the data standards, generator unit C saw a 6.76 percent drop in efficiency, whereas generator unit D experienced a 7.76 percent decrease efficiency. Comparison with the data specifications for generator units C experienced a decrease in efficiency of 6,76% while generator unit D experienced a decrease in efficiency of 7,76%. The efficiency of the generator in unit C decreased 0.85% per year, and unit D was 0.97%.

Keywords: Actual Load, BTG Power Plant, Generator Efficiency, Steam Turbine.

ABSTRAK

Generator pada suatu pembangkit listrik akan mengalami penurunan efisiensi seiring dengan bertambah waktu operasinya. Hal ini juga dapat terjadi pada generator Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Semen Tonasa dikenal dengan istilah Boiler Turbine Generator (BTG) Power Plant. BTG II telah beroperasi selama kurang lebih 8 tahun dan berdasarkan data operasi pembangkit, telah terjadi penurunan daya yang dibangkitkan oleh generator, jika ditinjau dari daya masukan pada turbin saat ini, dibandingkan dengan awal mulai beroperasinya pembangkit ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai efisiensi aktual generator dan perbandingan nilai efisiensi aktual generator dengan efisiensi generator berdasarkan spesifikasinya. Untuk menentukan nilai efisiensi generator secara aktual, dibutuhkan data pembebanan sebagai daya keluaran yang dibangkitkan oleh generator dan daya masukannya merupakan daya yang dihasilkan turbin yang dihitung dengan metode penurunan entalpi. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh rata-rata nilai efisiensi generator masing-masing 91,36% dan 90,34% dengan beban aktual rata-rata 25,56 MW dan 25,08 MW untuk generator unit C dan D. Perbandingan dengan data spesifikasi generator unit C mengalami penurunan efisiensi sebesar 6,76% sedangkan generator unit D mengalami penurunan efisiensi sebesar 7,76%. Efisiensi generator pada unit C mengalami penurunan efisiensi sebesar 0.85% per tahunnya, sedangkan pada unit D adalah sebesar 0.97%.

Kata Kunci: Beban Aktual, BTG Power Plant, Efisiensi Generator, Turbin Uap.

I. PENDAHULUAN

PT Semen Tonasa merupakan penghasil semen terbesar di Kawasan Timur Indonesia. Luas konsesinya seluas 715 hektar yang berada di Kabupaten Pangkep, tepatnya di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, sekitar 68 kilometer dari kota Makassar. Pabrik ini memiliki kapasitas

terpasang 5.980.000 ton semen per tahun dan telah mempunyai empat unit pabrik, yaitu Pabrik Tonasa II, III, IV dan V. Kapasitas pabrik dari keempat unit tersebut adalah masing-masing 590.000 ton semen per tahun untuk Unit II dan III, 2.300.000 ton semen per tahun untuk unit IV serta 2.500.000 ton untuk Unit V [1].

PT. Semen Tonasa memiliki 4 (empat) unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) untuk memenuhi kebutuhan energi listrik guna pengoperasian pabrik dan penunjangnya. Sistem PLTU pada PT. Semen Tonasa disebut dengan Boiler Turbin Generator (BTG) Power Plant dengan kapasitas 2×25 MW dan 2×35 MW. PLTU merupakan suatu jenis pembangkit tenaga listrik yang menggunakan uap sebagai energi awalnya yang diperoleh dari potensi tenaga kimia. Uap inilah yang menjadi penggerak prime mover yang berupa turbin uap untuk memutar generator. Bahan bakar yang digunakan sebagai energi awalnya dapat berupa minyak atau gas atau batu bara [2], [3].

PLTU PT. Semen Tonasa merupakan PLTU yang menggunakan bahan bakar batu bara yang digunakan untuk memanaskan air demin menjadi uap panas lanjut yang digunakan sebagai fluida kerja untuk memutar sudu-sudu turbin uap, kemudian energi kinetik yang dihasilkan akan dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Selama kurang lebih 8 tahun beroperasi, diperkirakan efisiensi generator mengalami penurunan akibat sering terjadinya derating (penurunan beban) atau trip (unit shutdown) dari kedua pembangkit tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan melakukan analisis efisiensi generator BTG II Power Plant PT. Semen Tonasa 2×35 MW pada berbagai kondisi beban aktualnya.. Sehingga pada akhirnya dapat diketahui efisiensi aktual dari kedua generator tersebut.

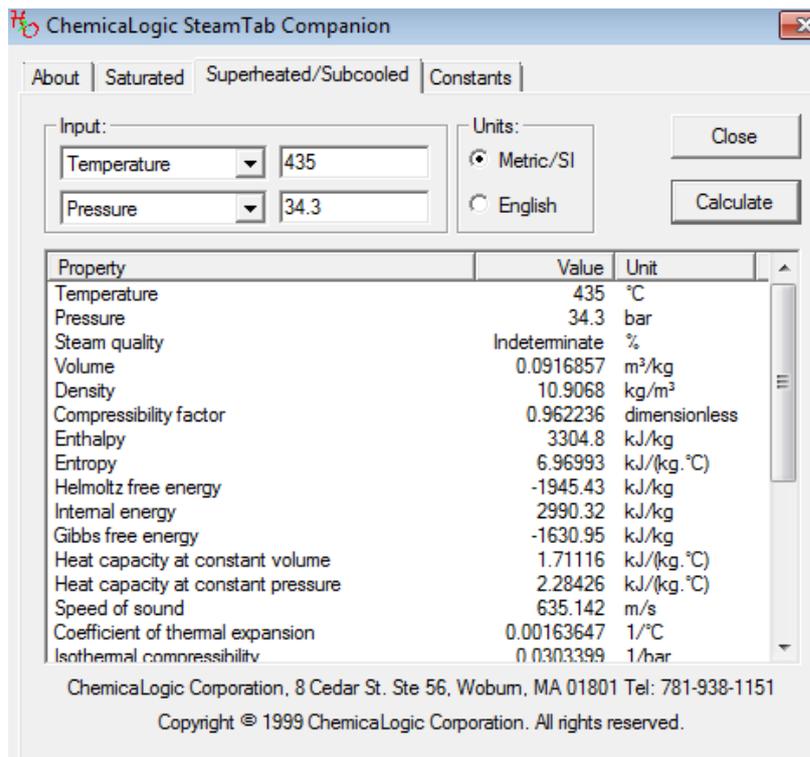
Pada penelitian sebelumnya [4] diperoleh hasil perhitungan efisiensi generator mengalami penurunan dari $\pm 98\%$ menjadi $93,15\%$ pada unit 10 ($\pm 5\%$) sedangkan pada unit 20 sebesar $92,39\%$. Kemudian dalam penelitian [5] menghitung efisiensi berdasarkan persentase pembebanan 50% , 80% dan 100% . Hasil yang diperoleh pada pembebanan 50% efisiensi generator mengalami penurunan sebesar $0,73\%$ dan untuk pembebanan 80% dan 100% , masing-masing mengalami penurunan sebesar $0,46\%$ dan $0,65\%$. Selanjutnya dalam penelitian [6] uap yang digunakan sebagai penggerak turbin adalah berasal dari panas bumi. Efisiensi generator telah mengalami penurunan sebesar $5,51\%$ dibandingkan dengan spesifikasi efisiensinya yang sebelumnya sebesar $98,4\%$ menjadi $92,89\%$. Ketiga penelitian tersebut, efisiensi aktual generator hanya mengacu pada efisiensi yang tertera pada spesifikasi generator sesuai dengan daya yang dibangkitkan. Pada umumnya efisiensi spesifikasi generator ditentukan pada persentase kapasitas maksimalnya, tidak disediakan secara keseluruhan dari kapasitas generator yang dapat dibangkitkan. Sementara daya yang dibangkitkan oleh generator dari waktu ke waktu selalu tidak sama dengan kapasitas yang tertera pada spesifikasi yang terdapat efisiensinya. Pada penelitian ini, untuk mendapatkan perbandingan efisiensi aktual generator dengan efisiensi spesifikasi, apabila pada daya yang dibangkitkan oleh generator tidak sama dengan yang tertera pada spesifikasi generator, maka akan dilakukan interpolasi baik daya maupun efisiensi, sehingga hasilnya dapat menggambarkan efisiensi yang lebih baik. Dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, untuk membandingkan efisiensi aktual generator, hanya dengan melihat efisiensi pada daya yang mendekati daya aktual generator terhadap daya spesifikasi.

Struktur makalah ini terdiri dari pendahuluan yang memuat masalah, dan tujuan penelitian dan penelitian-penelitian terdahulu. Metode yang memuat cara menentukan entalpi dan entropi, menghitung nilai daya keluaran turbin, efisiensi generator, pengumpulan dan analisis data, dan spesifikasi teknis generator. Hasil dan pembahasan yang memuat analisis hasil yang diperoleh. Kesimpulan memuat hasil yang diuraikan secara singkat.

II. METODE PENELITIAN

A. Entalpi dan Entropi

Nilai entalpi dan entropi uap dapat diperoleh dengan menggunakan tabel uap untuk menentukan nilai antara dua nilai yang diketahui digunakan metode interpolasi. Interpolasi ini didasarkan pada teori perbandingan. Teknik interpolasi linier digunakan untuk mencari nilai dalam tabel suhu A.2 dan tabel tekanan A.3 berupa suhu (T), Tekanan (P) entalpi uap jenuh (h_f), entalpi penguapan (h_{fg}), entalpi uap jenuh (h_g), entropi cairan jenuh (s_f), entropi uap jenuh (s_g). Selain itu interpolasi linier mencari nilai entalpi uap kondisi aktual (h_2) karena entalpi uap $h_g = h_2$ [7].



Gambar 1. Tampilan aplikasi *SteamTab*.

Aplikasi *SteamTab* digunakan untuk mempermudah perhitungan secara akurat untuk mencari nilai entalpi dan entropi uap pada kondisi *saturated* maupun kondisi *superheated*. Gambar 1 menampilkan hasil perhitungan menggunakan aplikasi *SteamTab* dengan diperoleh nilai entalpi dan entropi uap masuk berdasarkan tekanan dan temperatur dari uap masukan turbin [6]. Nilai entalpi (h) dan entropi (s) uap masukan dan keluaran pada turbin diperoleh dengan menggunakan data tekanan uap masuk (P_1), temperatur uap masuk (T_1) dan tekanan uap keluar (P_2).

B. Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang berfungsi mengubah energi potensial dalam uap menjadi energi kinetik selanjutnya diubah menjadi mekanik dalam bentuk putaran pada poros turbin. Dengan kata lain mengubah energi entalpi fluida menjadi energi mekanik [8]. Untuk menghitung nilai daya keluaran turbin (*output*) berdasarkan energi input yang berupa uap dari boiler, terlebih dahulu menghitung nilai kualitas uap (x), nilai entalpi keluar turbin dalam kondisi isentropik (h_{2s}), nilai daya isentropik turbin. Data spesifik turbin uap BTG II *Power Plant* PT. Semen Tonasa disajikan pada Tabel 1 [9].

1) Kualitas uap (x)

Kualitas uap dapat menggunakan Persamaan 1 [10].

$$x = (s_1 - s_f) / (s_g - s_f) \quad (1)$$

dengan s_1 adalah nilai entropi berdasarkan tekanan uap masuk turbin (kJ/kg°C), s_f entropi uap keluaran turbin dalam kondisi cair jenuh (kJ/kg°C) dan s_g adalah entropi uap keluaran turbin dalam kondisi uap jenuh (kJ/kg°C).

2) Entalpi keluar turbin dalam kondisi isentropik (h_{2s})

Entalpi keluaran turbin dalam kondisi isentropik dapat menggunakan Persamaan 2 [10], [11].

$$h_{2s} = h_f + x \cdot (h_g - h_f) \quad (2)$$

TABEL 1
DATA SPESIFIKASI TURBIN UAP BTG II POWER PLANT PT. SEMEN TONASA [9]

<i>Manufacturer</i>	<i>Siemens Industrial Turbomachinery S.R.O</i>
<i>Type</i>	SST – 300
<i>Turbine No.</i>	5780
<i>Output</i>	35.000 kW
<i>Speed</i>	7.078 rpm
<i>Initial steam pressure</i>	87 bar
<i>Initial steam temperature</i>	510 °C
<i>Exhaust steam pressure</i>	0.076 bar

TABEL 2
DATA SPESIFIKASI GENERATOR BTG II POWER PLANT PT. SEMEN TONASA [16].

<i>Manufacturer</i>	ABB AB
<i>Type</i>	AMS, 1250 LD
<i>Speed</i>	1500 r/min
<i>Output</i>	45940 kVA × 0,8
<i>Voltage</i>	11000 V (±5%)
<i>Current</i>	2411 A
<i>Power Factor (overexcited)</i>	0,80
<i>Power Factor (underexcited at rated load)</i>	0,95
<i>Frequency</i>	50 Hz (±3%)
<i>Efficiency</i>	Lihat Tabel 3

TABEL 3
EFISIENSI GENERATOR BERDASARKAN SPESIFIKASI [16].

Beban	Efisiensi
100%	98,3%
75%	98,2%
50%	97,83%
25%	96,37%

dengan h_f adalah entalpi uap keluaran turbin dalam kondisi cair jenuh (kJ/kg), x adalah nilai fraksi uap dan h_g adalah entalpi uap keluaran turbin dalam kondisi uap jenuh (kJ/kg).

3) Daya isentropik turbin (P_T isentropis)

Daya isentropik dapat menggunakan Persamaan 3 [12], [13].

$$P_{T \text{ isentropis}} = \dot{m}(h_1 - h_{2s}) \quad (3)$$

dengan \dot{m} adalah kecepatan aliran massa uap (kg/s), h_1 adalah entalpi uap masukan turbin (kJ/kg) dan h_{2s} adalah entalpi keluar turbin dalam kondisi isentropik (kJ/kg).

Sehingga untuk menghitung daya aktual turbin dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 4.

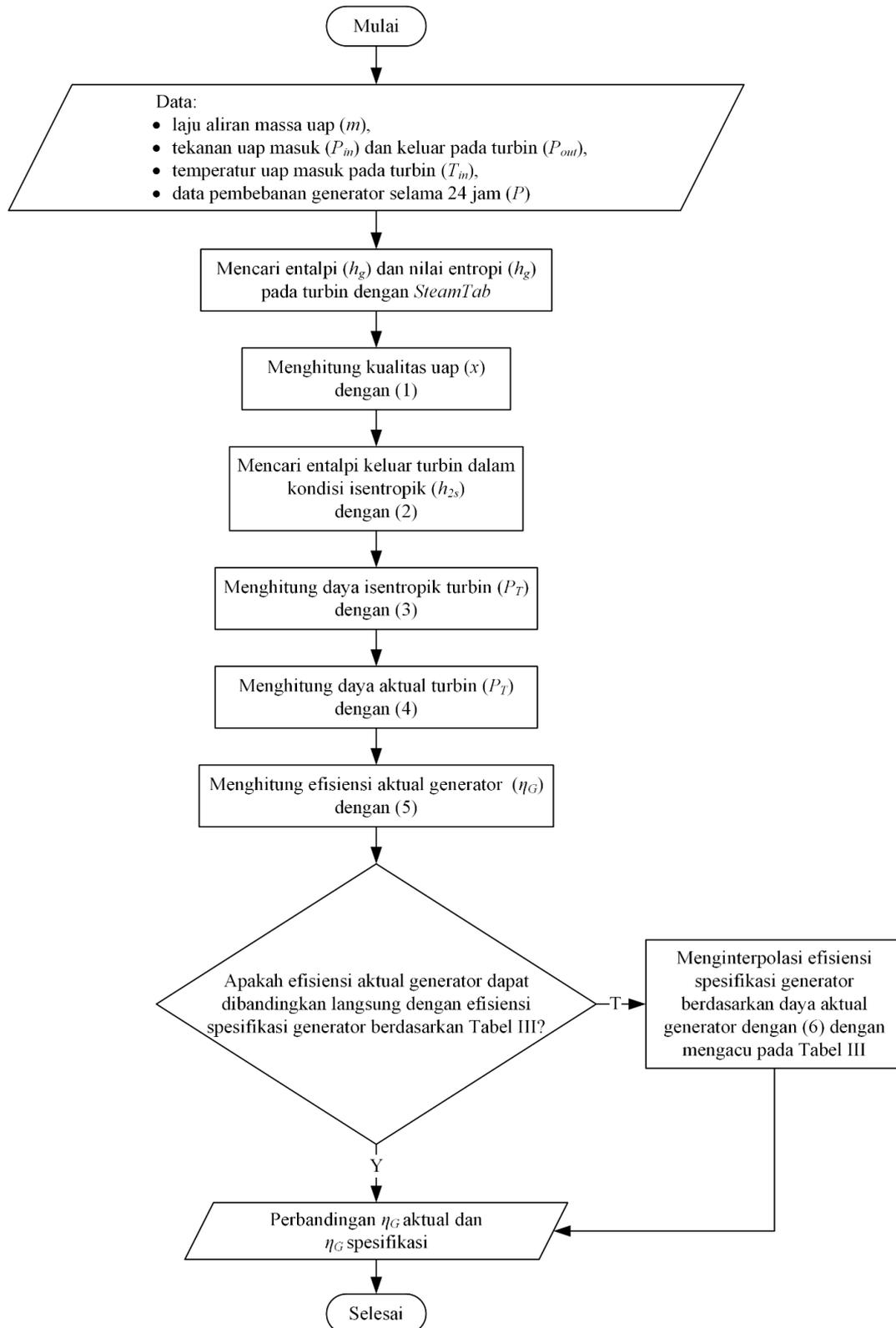
$$P_{T \text{ aktual}} = \eta_{\text{turbin}} \times P_{T \text{ isentropis}} \quad (4)$$

dengan η_{turbin} adalah efisiensi turbin (%) dan $P_{T \text{ isentropis}}$ adalah daya isentropik turbin (MW).

C. Generator

Jenis generator yang umumnya dipakai pada pusat pembangkit tenaga listrik adalah generator sinkron. Generator sinkron merupakan suatu mesin sinkron yang mengubah daya mekanis menjadi daya listrik dengan frekuensi sinkron dan mempunyai keluaran tiga fasa. Daya mekanis sebagai penggerak mula harus mempunyai putaran yang tetap (konstan), jika tidak maka tidak akan menghasilkan frekuensi yang diinginkan. Daya mekanis yang merupakan daya input untuk generator selalu akan lebih besar dari pada daya listrik yang dihasilkan, karena dalam proses konversinya terdapat rugi-rugi baik pada generatornya atau secara mekaniknya [5], [11], [14]. Perbandingan daya output generator terhadap daya inputnya inilah yang disebut dengan efisiensi. Daya input sama dengan daya mekanis yang dihasilkan oleh turbin, karena turbin terhubung pada satu poros yang sama. Sehingga efisiensi aktual generator dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$\eta_{\text{gen}} = (P_{\text{gen}}/P_{T \text{ aktual}}) \times 100\% \quad (5)$$



Gambar 2. Prosedur perhitungan perbandingan antara nilai efisiensi aktual generator dengan nilai efisiensi spesifikasinya.

dengan η_{gen} adalah efisiensi generator (%), P_{gen} adalah daya generator (MW) dan $P_{T\ aktual}$ adalah daya turbin (MW).

Jika daya aktual tidak sama dengan daya spesifikasi yang terdapat efisiensi spesifikasinya, maka untuk menentukan efisiensi spesifikasi dilakukan dengan metode interpolasi. Menurut [15] interpolasi adalah perkiraan nilai antara titik-titik diskrit dalam rentang data. Metodenya adalah menemukan kurva atau

TABEL 4
ENTALPI DAN ENTROPI UAP TURBIN, KUALITAS UAP, ENTALPI KELUAR TURBIN DALAM KONDISI ISENTROPIS DAN DAYA ISENTROPIS TURBIN PADA PUKUL 02.00 WITA

Parameter	Cara mendapatkan	Nilai	Satuan
h_1	<i>SteamTab</i>	98,3%	kJ/kg
s_1		6,71696	kJ/(kg.oC)
h_g		2668,33	kJ/kg
s_g		7,40957	kJ/(kg.oC)
h_f		399,959	kJ/kg
s_f		1,25546	kJ/(kg.oC)
x	(1)	0,8874557	
h_{2s}	(2)	2413,0378	kJ/kg
$P_{T isentropis}$	(3)	26,47252	MW

serangkaian kurva yang benar melalui titik-titik ini. Metode interpolasi ini dapat dihitung dengan Persamaan 6.

$$[(y - y_1)/(y_2 - y_1)] = [(x - x_1)/(x_2 - x_1)] \quad (6)$$

dengan y adalah daya aktual generator, y_1 dan y_2 adalah daya spesifikasi generator di bawah dan di atas daya aktual, x adalah efisiensi spesifikasi generator yang dicari, x_1 dan x_2 adalah efisiensi spesifikasi generator di atas dan di bawah spesifikasi.

D. Pengumpulan Data dan Analisis

Data-data yang diambil pada penelitian ini yaitu data pembebanan pada generator, data pada turbin uap (data laju uap, tekanan uap masuk dan tekanan uap keluar), data spesifikasi generator, dan data spesifikasi turbin. Pada penelitian ini penulis melakukan beberapa metode dalam melakukan pengumpulan data antara lain, yaitu metode dokumentasi, data yang diperoleh berupa *name plate*, buku, jurnal harian atau catatan-catatan. Pada penelitian ini data yang dibutuhkan adalah laju aliran massa uap, tekanan uap masuk dan keluar pada turbin, temperatur uap masuk pada turbin serta data pembebanan generator selama 24 jam. Data tersebut disajikan pada Tabel -10. Data tersebut merupakan data tercatat pada tanggal 1-5 Februari 2021.

Data yang diperoleh kemudian diolah untuk menentukan nilai efisiensi aktual dari generator dan untuk menentukan perbandingan antara nilai efisiensi aktual generator dengan nilai efisiensi spesifikasinya. Prosedur perbandingan antara nilai efisiensi aktual generator dengan nilai efisiensi spesifikasinya dapat dilihat pada Gambar 2.

E. Data Spesifikasi Teknis Generator BTG II Power Plant PT. Semen Tonasa

Data spesifikasi teknis generator pada BTG II *Power Plant* PT. Semen Tonasa dengan kapasitas 2×35 MW disajikan pada Tabel 2. Sedangkan data spesifikasi teknis sebagai penggerak mula generator dapat dilihat pada Tabel 3 [16]. Efisiensi pada generator tidak bisa mencapai 100%, umumnya berkisar 90% - 98% [17]. Penyebabnya adalah adanya rugi-rugi ada pada generator tersebut [4]. Rugi-rugi generator dapat berupa rugi panas pada inti generator (*core*) dan rugi pada kumparan (*winding*), juga rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi generator dapat diketahui dengan membandingkan daya keluaran terhadap daya masukannya. Pada PLTU, generator mendapatkan daya input yang berasal dari turbin uap. Daya yang dihasilkan oleh turbin uap dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4. Sebelum menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin uap, terlebih dahulu dihitung nilai entalpi dan entropi dengan menggunakan aplikasi *SteamTab*. Data yang dimasukkan pada *SteamTab* berupa data tekanan dan temperatur uap masuk untuk mencari nilai entalpi dan entropi uap masuk. Data tekanan uap keluar untuk mencari entalpi dan entropi uap keluar kemudian menghitung nilai kualitas uap, nilai entalpi keluar turbin dalam kondisi isentropik dan nilai daya isentropik turbin.

Berdasarkan Tabel pada lampiran untuk pukul 02.00 WITA entalpi dan entropi uap turbin, kualitas uap, entalpi keluar turbin dalam kondisi isentropik dan daya isentropik turbin hasilnya disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan tabel tersebut maka daya aktual turbin dengan menggunakan Persamaan 4

TABEL 5
 NILAI RATA-RATA BEBAN GENERATOR DAN EFISIENSI GENERATOR SECARA AKTUAL BTG II POWER PLANT PT. SEMEN TONASA.

Tanggal	Unit C			Unit D		
	Beban Rata-rata (MW)	Efisiensi aktual (%)	Efisiensi spesifikasi (%)	Beban (MW)	Efisiensi aktual (%)	Efisiensi spesifikasi (%)
01 Februari 2021	28.90	94.21	98.21	27.73	91.51	98.19
02 Februari 2021	28.24	93.51	98.18	27.38	90.89	98.17
03 Februari 2021	21.34	91.04	97.84	22.15	89.79	97.98
04 Februari 2021	24.37	92.77	98.07	23.44	93.88	98.03
05 Februari 2021	24.96	92.70	98.09	24.68	92.92	98.08
Rata-rata	25.56	92.85	98.08	25.08	91.80	98.09

TABEL 6
 PERBANDINGAN PENURUNAN EFISIENSI GENERATOR SETIAP TAHUN BTG II POWER PLANT PT. SEMEN TONASA TERHADAP PENELITIAN LAIN.

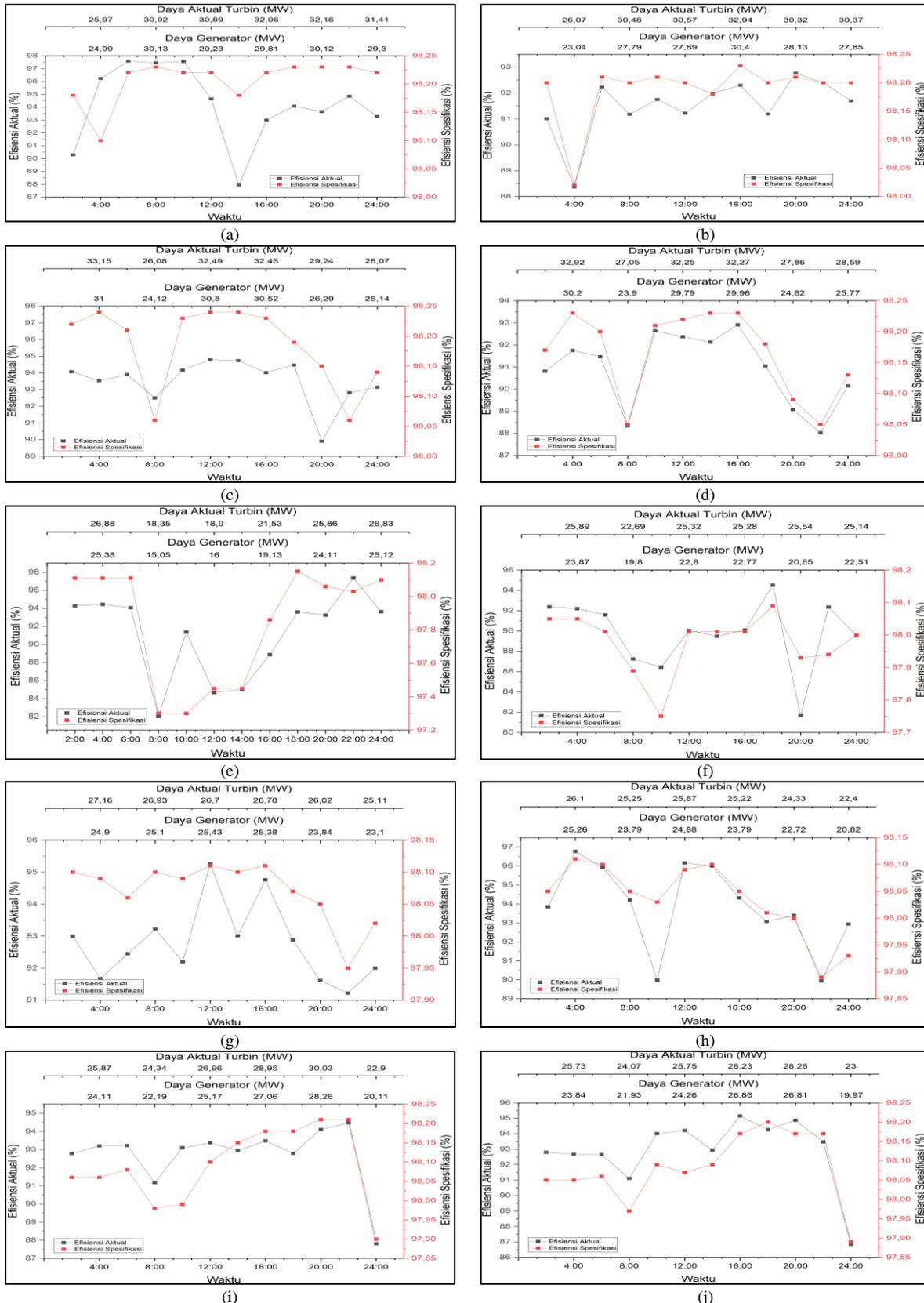
Penelitian	Kapasitas Generator (MW)	Umur Generator (tahun)	Efisiensi Awal (%)	Efisiensi Akhir (%)	Penurunan Efisiensi setiap Tahun (%)
[4]	Unit 10: 300	5	98	93.15	0.97
	Unit 20: 300	5	98	92.39	1.12
[5]	25	3	98	97.78	0.22
[6]	55	30	98.4	92.89	0.18
Penelitian ini	Unit C: 35	8	98.3	92.85	0.65
	Unit D: 35	8	98.3	91.80	0.79

didapatkan sebesar 25,94307 MW. Pada daya aktual turbin tersebut daya yang dibangkitkan generator adalah sebesar 24,07 MW, sehingga efisiensi aktual generator, dengan menggunakan Persamaan 5 didapatkan sebesar 92,78%. Untuk mendapatkan efisiensi spesifikasi generator, terlebih dahulu membandingkan data daya aktual yang dibangkitkan oleh generator, terhadap daya yang terdapat efisiensi spesifiknya, seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, daya aktual generator pada 25,94307 MW tidak terdapat efisiensi spesifiknya, dengan menggunakan Persamaan 6 didapatkan efisiensi spesifik pada beban generator tersebut adalah sebesar 98,06%.

Menggunakan perhitungan yang sama, maka dapat diperoleh nilai efisiensi generator selama 24 jam pada tanggal 1-5 Februari 2021, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut terlihat nilai efisiensi generator unit C dan D mengalami perubahan yang fluktuatif namun perubahan beban atau daya yang dibangkitkan generator cenderung berbanding lurus terhadap efisiensi generator, semakin besar beban generator maka nilai efisiensi juga semakin besar, seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Efisiensi terendah generator BTG II *Power Plant* PT. Semen Tonasa terjadi pada 3 Februari 2021 yaitu 82,03% pada beban 15,5 MW untuk unit C dan 81,65% untuk unit D pada kondisi beban 24,11 MW. Sedangkan efisiensi tertinggi yaitu 97,34% untuk unit C pada kondisi beban 23,27 MW dan 94,27% pada kondisi beban 96,77 MW untuk unit D.

Efisiensi generator mengalami perubahan fluktuatif terhadap kenaikan beban saat beroperasi, hal ini disebabkan oleh tekanan dan temperatur uap masuk ke dalam turbin tidak stabil. Rendahnya nilai efisiensi generator yang seharusnya meningkat pada saat beban naik dipengaruhi oleh tidak maksimalnya kerja dari boiler sehingga menyebabkan kurang tingginya tekanan dan temperatur uap yang masuk ke dalam turbin. Pada saat beban generator rendah, jumlah uap masuk yang diperlukan oleh turbin lebih sedikit daripada saat beban generator tinggi, sedikitnya uap keluaran dari turbin yang digunakan sebagai fluida pemanas pada *low pressure* (LP) *heater*, *deaerator* dan *high pressure* (HP) *heater* tidak akan bekerja secara maksimal. Tidak maksimalnya kerja dari heater ini menyebabkan temperatur air umpan sebelum masuk ke dalam boiler tidak cukup tinggi, sehingga menyebabkan kinerja boiler lebih berat dan akan mempengaruhi tekanan dan temperatur uap masuk ke dalam turbin. Hal yang sama dengan kondisi ini juga diungkapkan dalam [18].

Berdasarkan Tabel 5, selama 5 hari pengamatan didapatkan nilai rata-rata beban generator sebesar 25,56 MW pada unit C dan 25,08 MW pada unit D. Sedangkan nilai rata-rata efisiensi generator aktual sebesar 91,36% pada unit C dan 90,33% pada unit D. Rata-rata beban generator pada unit C sama dengan 69,56% dari daya yang terpasang dan pada unit D sama dengan 68,23% dari daya yang terpasang. Mengacu pada *manual book* dari BTG II *Power Plant* PT. Semen Tonasa, diketahui hasil interpolasi dari nilai efisiensi generator berdasarkan spesifikasi sebesar 98,12% untuk beban 69,56% dan 98,10%



Gambar 3. Perbandingan efisiensi aktual dan spesifikasi generator BTG II Power Plant PT. Semen Tonasa (a) 1 Februari 2021 unit C, (b) 1 Februari 2021 unit D, (c) 2 Februari 2021 unit C, (d) 2 Februari 2021 unit D, (e) 3 Februari 2021 unit C, (f) 3 Februari 2021 unit D, (g) 4 Februari 2021 unit C, (h) 4 Februari 2021 unit D, (i) 5 Februari 2021 unit C, dan (j) 5 Februari 2021 unit D.

untuk beban 68,23%. Apabila dibandingkan dengan nilai efisiensi secara aktual pada generator unit C dan D selama 5 hari pengamatan, nilai efisiensi generator pada BTG II *Power Plant* PT. Semen Tonasa

saat ini telah mengalami penurunan rata-rata sebesar 5,23% pada unit C dan 6,29% pada unit D. Deviasi rata-rata efisiensi aktual dan efisiensi spesifik adalah sebesar 5.33% untuk unit C dan 6.41% untuk unit D. Penurunan efisiensi generator dapat disebabkan oleh sering terjadinya trip (*shutdown*) atau *derating* (penurunan beban) [5]. Secara mekanis menurunnya efisiensi generator dapat terjadi karena pengaruh rugi daya mekanis pada sambungan turbin dan generator saat transfer daya antara turbin dan generator [6].

Pada penelitian [4] efisiensi generator mengalami penurunan sebesar 4.85 % pada unit 10 dan 5.61% pada unit 20. Sedangkan dalam penelitian [5] generatornya mengalami penurunan efisiensi pada pembebanan 100% sebesar 0.65% dan dalam [6] penurunan efisiensi generatornya sebesar 5.51% dari efisiensi spesifiknya. Perbandingan penurunan efisiensi dalam penelitian ini setiap tahunnya terhadap penelitian lain yaitu dalam [4]–[6] dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan pada tabel tersebut efisiensi generator setiap tahun BTG II *Power Plant* PT. Semen Tonasa mengalami penurunan sebesar 0.65% per tahun untuk unit C dan unit D sebesar 0.79%. Penurunan efisiensi generator setiap tahunnya pada BTG II *Power Plant* PT. Semen Tonasa ini lebih besar dari pada penurunan efisiensi generator dalam [5] dan [6] akan tetapi lebih kecil dari [4].

IV. KESIMPULAN

Kedua unit generator pada BTG II *Power Plant* PT. Semen Tonasa, telah mengalami penurunan efisiensi. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan efisiensi aktual dan efisiensi spesifikasi pada berbagai kondisi beban aktual generator. Berdasarkan rata-rata nilai efisiensi generator dari tiap unit, generator unit C mengalami penurunan efisiensi sebesar 5,23% dari nilai efisiensi spesifikasinya dan generator unit D mengalami penurunan efisiensi sebesar 6,29%. Deviasi rata-rata efisiensi aktual dan efisiensi spesifik adalah sebesar 5.33% untuk unit C dan 6.41% untuk unit D. Efisiensi terendah unit C terjadi pada pukul 08:00 WITA tanggal 3 Februari 2021 sebesar 82,03% dengan beban generator sebesar 15,05 MW dan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada pukul 06.00 WITA tanggal 1 Februari 2021) sebesar 97,58% dengan beban generator sebesar 29,18 MW. Sedangkan untuk unit D efisiensi terendah terjadi pada pukul 20.00 WITA tanggal 3 Februari 2021 sebesar 81,65% dengan beban generator sebesar 20,85 MW, sedangkan efisiensi tertingginya terjadi pada pukul 04.00 WITA tanggal 4 Februari 2021 sebesar 96,77% dengan beban generator sebesar 25,26 MW. Efisiensi generator unit C mengalami penurunan efisiensi sebesar 0.65% per tahunnya, sedangkan pada unit D adalah sebesar 0.79%. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menghitung rugi elektrik berupa rugi inti dan belitan untuk mengetahui daya yang hilang yang mengakibatkan penurunan efisiensi dari sebuah generator.

LAMPIRAN

TABEL 7
PEMBEBANAN, LAJU ALIRAN MASSA UAP, TEKANAN UAP MASUK DAN KELUAR PADA TURBIN DAN TEMPERATUR UAP MASUK PADA TURBIN
TANGGAL 1 FEBRUARI 2021

Waktu	P _{beban} (MW)		ṁ (T/h)		P ₁ (bar)		T ₁ (°C)		P ₂ (bar)	
	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D
02.00	27,12	27,80	113,79	113,85	85,03	86,26	508	510	1,051	0,973
04.00	24,99	23,04	94,88	93,89	86,55	87,03	511	511	0,862	0,784
06.00	29,18	28,13	113,13	113,49	85,13	86,27	509	511	1,052	0,971
08.00	30,13	27,79	116,92	113,53	86,52	85,49	512	511	1,089	0,971
10.00	29,38	28,94	113,41	119,15	85,70	85,44	512	506	1,053	1,018
12.00	29,23	27,89	117,47	113,33	86,54	87,76	509	512	1,101	0,967
14.00	27,13	27,01	115,91	109,06	86,62	84,72	509	509	1,019	0,931
16.00	29,81	30,40	122,92	125,02	84,48	85,60	509	509	1,139	1,079
18.00	30,17	27,82	123,06	113,09	82,78	86,29	509	513	1,127	0,964
20.00	30,12	28,13	122,64	113,19	85,03	85,59	512	509	1,133	0,969
22.00	30,25	27,92	121,99	112,19	85,83	86,35	509	512	1,134	0,966
00.00	29,30	27,85	118,06	112,92	87,36	85,62	515	511	1,082	0,961

Jurnal ELTIKOM :

Jurnal Teknik Elektro, Teknologi Informasi dan Komputer

TABEL 8
PEMBEBANAN, LAJU ALIRAN MASSA UAP, TEKANAN UAP MASUK DAN KELUAR PADA TURBIN DAN TEMPERATUR UAP MASUK PADA TURBIN
TANGGAL 2 FEBRUARI 2021

Waktu	P _{beban} (MW)		ṁ (T/h)		P ₁ (bar)		T ₁ (°C)		P ₂ (bar)	
	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D
02.00	29,25	26,90	118,46	109,41	85,04	86,40	509	511	1,099	0,926
04.00	31,00	30,20	127,04	124,89	85,82	85,59	512	510	1,178	1,085
06.00	28,21	27,80	112,71	112,42	86,64	86,58	514	514	1,054	0,961
08.00	24,12	23,90	95,19	98,06	86,58	86,55	512	510	0,865	0,809
10.00	30,29	28,60	122,85	115,47	85,10	85,76	511	511	1,136	1,000
12.00	30,80	29,79	124,21	121,75	85,86	85,84	511	511	1,150	1,062
14.00	30,80	29,93	124,50	122,60	85,13	86,06	511	511	1,155	1,062
16.00	30,52	29,98	123,70	121,95	85,16	86,03	514	510	1,149	1,062
18.00	27,30	26,99	107,88	109,45	86,76	86,09	511	511	0,996	0,921
20.00	26,29	24,82	108,36	101,91	86,79	86,85	511	509	0,949	0,855
22.00	24,20	23,83	95,14	98,10	86,69	86,02	511	512	0,855	0,819
00.00	26,14	25,77	104,32	105,04	85,18	85,24	510	511	0,947	0,886

TABEL 9
PEMBEBANAN, LAJU ALIRAN MASSA UAP, TEKANAN UAP MASUK DAN KELUAR PADA TURBIN DAN TEMPERATUR UAP MASUK PADA TURBIN
TANGGAL 3 FEBRUARI 2021

Waktu	P _{beban} (MW)		ṁ (T/h)		P ₁ (bar)		T ₁ (°C)		P ₂ (bar)	
	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D
02.00	25,40	23,90	99,23	95,13	85,83	86,03	511	510	0,903	0,888
04.00	25,38	23,87	98,81	95,18	85,79	86,03	512	510	0,901	0,888
06.00	25,40	22,90	99,32	91,22	85,85	86,08	512	511	0,904	0,850
08.00	15,05	19,80	62,43	81,19	86,63	86,08	511	511	0,517	0,743
10.00	15,03	17,90	55,37	73,11	86,65	86,87	511	510	0,475	0,674
12.00	16,00	22,80	64,93	92,99	85,87	85,28	511	507	0,553	0,852
14.00	16,00	22,75	64,57	92,91	86,62	86,01	512	511	0,555	0,860
16.00	19,13	22,77	75,95	92,26	85,93	86,76	511	511	0,672	0,858
18.00	26,23	24,74	104,07	96,31	85,89	86,01	511	510	0,955	0,892
20.00	24,11	20,85	94,50	92,08	86,52	87,37	511	510	0,863	0,786
22.00	23,27	21,02	85,63	82,37	85,99	86,61	511	503	0,749	0,752
00.00	25,12	22,51	98,89	91,82	85,39	86,56	511	510	0,905	0,852

TABEL 10
PEMBEBANAN, LAJU ALIRAN MASSA UAP, TEKANAN UAP MASUK DAN KELUAR PADA TURBIN DAN TEMPERATUR UAP MASUK PADA TURBIN
TANGGAL 4 FEBRUARI 2021

Waktu	P _{beban} (MW)		ṁ (T/h)		P ₁ (bar)		T ₁ (°C)		P ₂ (bar)	
	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D
02.00	25,09	23,85	99,52	92,65	83,81	85,83	512	512	0,906	0,852
04.00	24,90	25,26	99,97	96,00	86,01	86,16	511	510	0,901	0,890
06.00	24,00	25,04	95,19	95,96	85,30	86,58	510	510	0,866	0,890
08.00	25,10	23,79	98,92	92,23	86,10	86,60	511	510	0,891	0,853
10.00	24,90	23,44	98,86	94,90	86,85	87,42	513	511	0,891	0,852
12.00	25,43	24,88	98,30	95,12	86,69	85,91	510	510	0,902	0,886
14.00	25,13	25,00	99,51	95,75	85,93	85,91	511	510	0,905	0,887
16.00	25,38	23,79	98,73	92,19	85,13	85,92	510	510	0,896	0,852
18.00	24,26	22,86	95,72	89,21	85,10	85,90	509	510	0,854	0,817
20.00	23,84	22,72	95,25	88,42	85,91	85,90	510	510	0,860	0,820
22.00	21,28	19,83	83,39	78,08	85,94	86,62	511	512	0,738	0,701
00.00	23,10	20,82	91,31	80,13	85,23	86,68	511	511	0,826	0,746

TABEL 11
PEMBEBANAN, LAJU ALIRAN MASSA UAP, TEKANAN UAP MASUK DAN KELUAR PADA TURBIN DAN TEMPERATUR UAP MASUK PADA TURBIN
TANGGAL 5 FEBRUARI 2021

Waktu	P _{beban} (MW)		ṁ (T/h)		P ₁ (bar)		T ₁ (°C)		P ₂ (bar)	
	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D	Unit C	Unit D
02.00	24,07	23,91	94,74	93,32	86,68	86,80	511	511	0,860	0,814
04.00	24,11	23,84	94,68	93,31	86,08	86,09	510	511	0,861	0,817
06.00	24,46	23,98	95,40	93,90	86,56	86,15	516	511	0,872	0,819
08.00	22,19	21,93	87,73	86,06	86,95	86,94	510	511	0,781	0,745
10.00	22,45	24,94	86,80	96,86	86,97	86,92	511	510	0,781	0,853
12.00	25,17	24,26	99,07	93,35	86,79	86,22	511	510	0,898	0,808
14.00	26,22	24,85	104,60	97,67	86,03	86,24	511	510	0,947	0,851
16.00	27,06	26,86	108,48	104,28	84,52	87,03	510	510	0,993	0,923
18.00	27,15	27,92	109,68	110,48	85,31	85,47	509	510	0,993	0,972
20.00	28,26	26,81	113,40	104,43	86,14	86,27	508	511	1,040	0,928
22.00	28,27	26,91	113,07	107,00	85,38	85,49	509	510	1,046	0,949
00.00	20,11	19,97	81,49	81,29	87,06	86,98	511	510	0,721	0,681

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Andi Rahmat, S.T. sebagai Manager BTG II Power Plant PT. Semen Tonasa yang telah membantu mengumpulkan dan menyerahkan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Annual Report Id, "PT SEMEN TONASA," <http://annualreport.id/>, 2015. [http://annualreport.id/perusahaan/PT Semen Tonasa](http://annualreport.id/perusahaan/PT%20Semen%20Tonasa) (diakses Jan. 25, 2021).
- [2] A. D. Putra, "Studi Potensi Limbah Biomassa Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT. Pakerbunan Nusantara XIII PKS Parindu," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, 2017.
- [3] A. Purwanti, P. E. Pambudi, dan W. Handajadi, "Ampas Tebu sebagai Bahan Bakar Alternatif pada Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU)," *Jurnal Elektrikal*, vol. 2, no. 1, hal. 1–13, 2015.
- [4] D. Cahyadi dan Hermawan, "Analisa Perhitungan Efisiensi Turbin Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT. PJB Ubjom PLTU Rembang," Semarang, 2015.
- [5] F. Wildani, S. Syarifuddin, dan S. Thaha, "Analisis Efisiensi Generator Pada Unit 1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap 2x25 MW PT. Rekind Daya Mamuju," dalam *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 2021, hal. 63–67.
- [6] 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, Okt. 2019, doi: 10.33322/kilat.v8i2.643.
- [7] E. K. Rolando Samosir, Danial, "Analisa Efisiensi Isentropik Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (Pltbn)," *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [8] W. Wisnaningsih, "Perencanaan Turbin Uap Penggerak Generator dengan Daya 100 MW pada 3000 rpm," *Teknika Sains : Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 4, no. 1, hal. 33–40, Jun. 2019, doi: 10.24967/teksis.v4i1.637.
- [9] Siemens, "Manual Book Siemens Steam Turbine SST-300." 2011.
- [10] T. H. A. Santosa, M. Nadjib, T. Thoharudin, dan W. K. Suyono, "Pengukuran Koefisien Perpindahan Kalor Evaporasi Refrigeran R-134a di dalam Saluran Halus Horizontal dengan Variasi Kualitas Uap," *ROTASI*, vol. 20, no. 1, hal. 39, Jan. 2018, doi: 10.14710/rotasi.20.1.39-45.
- [11] S. F. Nur dan I. G. E. Lesmana, "Analisis Pengaruh Turbine Washing Terhadap Efisiensi dan Daya Pembangkit Turbin Uap," *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, vol. 3, no. 3, hal. 79–88, 2021, doi: 10.35814/asiimetrik.v3i2.2094.
- [12] S. Sudadiyo dan J. S. Pane, "Desain Awal Turbin Uap Tipe Aksial untuk Konsep RGTT30 Berpendingin Helium," *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega*, vol. 18, no. 2, hal. 65, Jun. 2016, doi: 10.17146/tdm.2016.18.2.2319.
- [13] E. Yohana dan R. Romadhon, "Analisa Efisiensi Isentropik dan Exergy Destruction Pada Turbin Uap Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap," *ROTASI*, vol. 19, no. 3, hal. 134, Sep. 2017, doi: 10.14710/rotasi.19.3.134-138.
- [14] D. R. Pattiapon, J. J. Rikumahu, dan M. Jamlay, "Penggunaan Motor Sinkron Tiga Fasa Tipe Salient Pole sebagai Generator Sinkron," *Jurnal Simetrik*, vol. 9, no. 2, hal. 197–207, 2019.
- [15] M. Simalango, "Penerapan Metode Interpolasi Linear pada Pembesaran Citra," *Informasi dan Teknologi Ilmiah (INTI)*, vol. 4, no. 3, hal. 866–878, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <http://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti/article/view/383>.
- [16] ABB AB, "Manual Book ABB AMS, 1250 LD Generator." 2010.
- [17] A. Sunarso dan B. P. Lapanporo, "Studi Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai di Sungai Buduk Dusun Nibung Desa Sahau Kecamatan Seluas Kabupaten Bengkayang," *POSITRON*, vol. 6, no. 1, hal. 29–34, 2016.
- [18] M. M. N. Rizca, Q. Sholehah, dan S. Siswanto, "Analisis Beban Generator Terhadap Nilai Heat Rate dan Efisiensi PLTU (Studi Observasional di PT. Indocement Tungal Prakarsa, Tbk P-12 Tarjun – Kalimantan Selatan)," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 3, no. 2, hal. 73–84, Des. 2018, doi: 10.20527/sjmeKinematika.v3i2.13.