

ANALISIS UNJUK KERJA *HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR* (HRSG) PADA PLTGU PT. XYZ

Fikri Aminullah¹, Annisa Wulan Sari^{1*}, Awaludin Martin¹

¹⁾ Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

ABSTRACT – *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* merupakan ketel uap yang memanfaatkan gas buang dari turbin gas untuk memanaskan air menjadi uap panas lanjut. Efisiensi HRSG dapat dihitung dengan cara membandingkan total aliran energi panas untuk menghasilkan uap dengan total aliran energi panas yang berasal dari keluaran turbin gas. Efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 21 Februari 2024 yaitu sebesar 88% dengan aliran energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut sebesar 639241,9673 kJ/s dengan laju aliran gas buang turbin yang masuk pada HRSG sebesar 735455,2214 kJ/s. Efisiensi terendah terjadi pada tanggal 22 Februari 2024 yaitu sebesar 85% dengan aliran energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut sebesar 621604,2948 kJ/s dengan aliran gas buang turbin yang masuk pada HRSG sebesar 730132,8416 kJ/s. Penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui nilai paling efektif dari sistem. Efisiensi yang tinggi menunjukkan penggunaan energi yang lebih efisien dan potensi penghematan energi yang lebih besar.

ARTICLE HISTORY

Received: 19 June 2024

Revised: 30 June 2024

Accepted: 31 July 2024

Published: 31 July 2024

KEYWORDS: *Heat Recovery Steam Generator, Boiler, Gas Turbine, Efficiency, Enthalphy*

1. PENDAHULUAN

PLTGU merupakan pembangkit jenis *combine cycle*, gabungan antara pembangkit gas dan pembangkit uap. Dalam instalasi PLTGU terdapat peralatan yang dinamakan HRSG. Keuntungan penggunaan HRSG yang paling prinsip dibanding boiler umum (yang menggunakan burner) adalah peningkatan efisiensi karena HRSG memanfaatkan gas buang dari Turbin Gas sebagai sumber kalor sehingga tidak memerlukan bahan bakar dan udara sebagai pemanas. HRSG merupakan peralatan yang memanfaatkan sisa energi gas buang yang ada pada turbin gas untuk memproduksi uap agar bisa menggerakkan turbin uap[1].

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) merupakan kombinasi antara Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Kombinasi ini biasanya disebut dengan *combine cycle power plant*. Siklus ini menggabungkan siklus *Brayton* dan *Rankine*[2]. Penggabungan antara turbin gas dan turbin uap adalah pengembangan di dalam proses pembangkit listrik yang akan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding kinerja masing-masing[3]. Panas dari gas buang turbin gas akan dimanfaatkan untuk memanaskan air menjadi uap, kemudian uap akan menggerakkan turbin uap. Uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap adalah uap yang berasal dari *High & Low Pressure steam*. Beberapa PLTGU yang dengan siklus *combine cycle* menggunakan beberapa konfigurasi pembangkit gas dan uap. Salah satu konfigurasi yang digunakan di antaranya konfigurasi 2-2-1 yaitu 2 Gas Turbine Generator (GTG), 2 HRSG dan 1 Steam Turbine Generator (STG). HRSG merupakan komponen penting dalam PLTGU karena HRSG berperan dalam menghasilkan

uap. Uap tersebut digunakan untuk memutar turbin uap kemudian menghasilkan energi listrik[4].

HRSG dan boiler memiliki prinsip kerja yang sama yaitu mengubah air menjadi uap dengan bantuan panas. Perbedaan yang mendasar antara HRSG dan boiler adalah sumber energi panas yang digunakan untuk menghasilkan uap. Pada HRSG, sumber panas untuk menghasilkan uap berasal dari gas buang turbin gas (PLTG), kemudian akan dialirkan ke HRSG untuk memanaskan tabung pemanas. Sedangkan pada boiler/steam boiler, sumber panas yang digunakan berasal dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar[5][6].

Melihat pentingnya peran HRSG pada PLTGU, maka efisiensi HRSG harus selalu dijaga dalam keadaan optimal. Beberapa studi terkait analisis efisiensi HRSG telah banyak dibahas dalam beberapa artikel. Salah satunya artikel yang membahas analisis perhitungan efisiensi HRSG tipe vertikal tekanan ganda pada PLTGU[7]. Mereka menganalisa efisiensi HRSG dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah overhaul. Efisiensi HRSG didapat dengan membandingkan manfaat kalor yang keluar dengan kalor gas buang yang masuk HRSG. Mereka mendapatkan peningkatan efisiensi HRSG setelah overhaul sebesar 1,4 % menjadi 79,76 % dengan cara meningkatkan kualitas suhu air umpan, aliran massa gas buang dan aliran massa uap yang dihasilkan. Sementara studi tentang efisiensi pembebanan PLTGU untuk meminimalkan biaya produksi listrik dengan menghitung konsumsi bahan bakar telah dilakukan[8]. Hasil penelitian mereka mendapatkan efisiensi PLTGU pada beban penuh sebesar 46,44%, sedang efisiensi rendah terjadi ketika PLTU (Steam turbin uap) tidak diaktifkan yaitu sebesar 28,91%. Pemanfaatan HRSG yang optimal dapat menaikkan efisiensi PLTGU. Sejalan dengan itu, studi lain terkait analisa

*Corresponding author: Name | ✉ annisasw@lecturer.unri.ac.id

Penerbit: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, <https://proksima.ejournal.unri.ac.id>

pengaruh pembebanan terhadap efisiensi generator di PLTGU[9]. Dalam studinya, telah dilakukan penghitungan total rugi-rugi yang dihasilkan oleh generator gas turbin yaitu sekitar 0,0486 MW. Efisiensi tertinggi yang dapat dicapai oleh generator gas turbin adalah sebesar 99.85% sementara efisiensi terendah adalah 99.82%. Efisiensi dan rugi-rugi daya dipengaruhi oleh beban yang digunakan. Studi terkait analisa efisiensi pada low pressure HRSG PLTGU telah dilakukan dengan tujuan menganalisa efisiensi low pressure HRSG dan membandingkannya dengan hasil komisioning. Penurunan efisiensi terjadi sebesar 1.27 % [10].

Penelitian lainnya tentang *performance analysis of a heat recovery steam generator* menjelaskan kinerja dan analisis HRSG dengan menggunakan dua siklus yaitu siklus turbin gas dan siklus turbin uap dimana siklus tersebut merupakan sistem yang ada pada HRSG[11].

Selain itu, peneliti lain juga mencoba membandingkan efisiensi dua buah HRSG dengan jenis dan merek yang sama akan tetapi mempunyai perbedaan efisiensi sekitar 4 %. Penyebab penurunan nilai efisiensi pada diantaranya yaitu adanya kebocoran pada pipa HRSG, penyerapan panas yang tidak maksimal pada salah satu HRSG dan heat losses antara exhaust gas turbine dengan inlet HRSG[12]. Sementara, melakukan penelitian efisiensi HRSG berdasarkan analisa variasi beban turbin terhadap laju alir massa air/uap. Mereka memperoleh hasil peningkatan beban terhadap laju alir massa air/uap. Peneliti lain mengamati bahwa penyebab penurunan efisiensi HRSG di antaranya karena penurunan massa alir air di dalam pipa pemanas boiler, terhambatnya perpindahan panas dari pipa pemanas ke feed water dan juga terdapat plug yang terjadi pada pipa-pipa pemanas boiler [13]. Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan maintenance dengan melakukan cleaning pada peralatan HRSG. Efisiensi HRSG naik secara signifikan mencapai 96 % dari asalnya 89 % [14].

Maka dari itu untuk dapat menghasilkan uap dengan kualitas dan kuantitas yang baik perlu dilakukan studi mengenai unjuk kerja dari HRSG tersebut. Sehingga, peneliti mengambil pembahasan tentang ANALISIS UNJUK KERJA HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR (HRSG) PADA PLTGU PT. XYZ

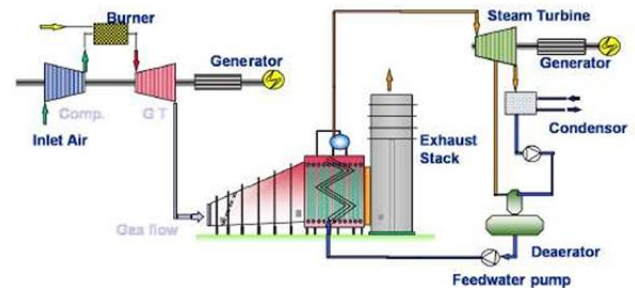
1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap

PLTG mempunyai temperatur di atas 400°C akan dimanfaatkan ke dalam ketel uap PLTU sehingga menghasilkan uap yang menggerakkan turbin uap. Dengan cara ini, daya yang didapat PLTU sebesar 50% daya PLTG. Ketel uap yang digunakan untuk memanfaatkan gas buang PLTG didesain khusus untuk memanfaatkan gas yang disebut dengan HRSG[15].

1.2 Prinsip Kerja

Gas buang dari turbin gas yang temperaturnya masih tinggi (sekitar 550°C) dialirkan masuk ke HRSG untuk memanaskan air didalam pipa-pipa pemanas, kemudian gas buang ini dibuang ke atmosfer melalui cerobong dengan

temperatur yang sudah rendah (sekitar 130°C). Air didalam pipa-pipa yang berasal dari drum sebagian dirubah menjadi uap karena pemanasan tersebut. Campuran air dan uap ini selanjutnya masuk kembali ke dalam drum. Di dalam drum, uap dipisahkan dari air menggunakan separator. Uap yang terkumpul kemudian diarahkan untuk memutar turbin uap, sedangkan air nya dikembalikan kedalam drum untuk disirkulasikan lagi kedalam pipa-pipa pemanas bersama dengan air pengisi yang baru. Demikian proses ini terjadi berulang-ulang selama HRSG beroperasi. Agar dapat memproduksi uap yang banyak dalam waktu yang relatif cepat, maka perpindahan panasnya dilakukan dengan aliran berlawanan atau *cross flow*, dan sirkulasi airnya harus cepat[16].



Gambar 1 Prinsip kerja PLTGU[17]

2. METODOLOGI

2.1 Metode Pengambilan Data

Selama melakukan penelitian pada PT. XYZ. Peneliti melakukan beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 2.

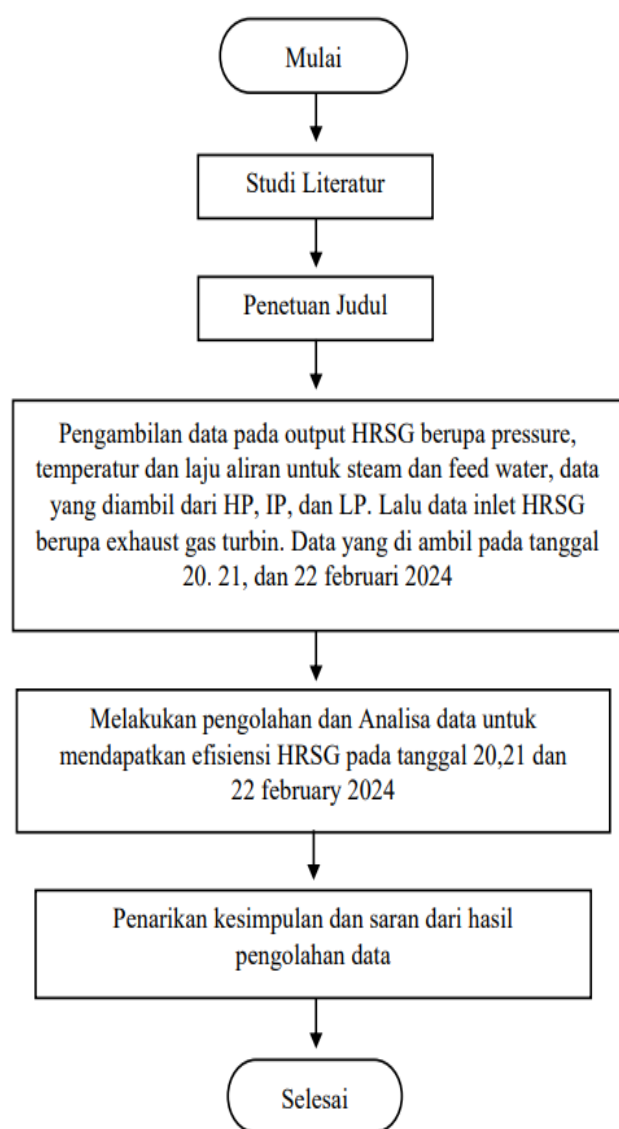
Tahapan pertama yaitu studi literatur yang merupakan suatu metode yang digunakan untuk menyelidiki serta mempelajari suatu objek. Proses studi kasus dilakukan dengan cara mempelajari buku maupun jurnal, melakukan observasi masalah secara langsung di lapangan, dan melakukan wawancara kepada pihak yang mengetahui bidang tersebut.

Tahapan kedua yaitu penentuan judul yang dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang terdapat di lapangan. Setelah masalah diketahui, dilakukan perumusan masalah untuk dijadikan acuan selama proses penelitian yang dilaksanakan dengan menganalisa data dari beberapa waktu yang ditentukan.

Tahapan ketiga yaitu proses pengambilan data, dilakukan untuk mendukung proses perhitungan analisis efisiensi HRSG dari sistem pembangkit yang dilakukan langsung di lapangan dengan cara melakukan pengamatan, wawancara dengan pihak yang berkompeten pada bidangnya, dan melakukan pengumpulan berbagai data yang berkaitan dengan judul laporan.

Tahapan keempat yaitu melakukan pengolahan dan analisis data dari data yang telah di ambil menggunakan persamaan yang telah ditentukan.

Tahapan kelima yaitu penarikan kesimpulan dan saran dari hasil pengolahan data. Hal ini dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi HRSG.



Gambar 2 Diagram Alir Pengerjaan Artikel Penelitian[18]

2.2 Spesifikasi HRSG

Berikut merupakan spesifikasi HRSG antara lain:

Table 1 Spesifikasi *Heat Recovery Steam Generator*

Merk	Satuan	GE(General Electric) Power Gas Power System
Manufacturer Serial Number		2018T0063-11
HP (High Pressure) System: =Maximum Allowable Working Pressure When Built	Barg	174
=Heating Surface	Sq. m	17,159
=Maximum Design Steaming Capacity	kg/h	166,965
RH (Reheater) System: =Maximum Allowable Working Pressure When Built	Barg	28
=Heating Surface	Sq. m	5,932
=Maximum Design Steaming Capacity	kg/h	171,227
IP(Intermediate Pressure) System: =Maximum Allowable Working Pressure When Built	Barg	32
=Heating Surface	Sq. m	6,252
=Maximum Design Steaming Capacity	kg/h	13,270
LP (Low Pressure) System: =Maximum Allowable Working Pressure When Built	Barg	9
=Heating Surface	Sq. m	8,213
=Maximum Design Steaming Capacity	kg/h	11,937

2.3 Perhitungan HRSG

Persamaan yang digunakan berikut menurut beberapa sumber peneliti yaitu sebagai berikut:

Table 2 Perhitungan HRSG

No	Komponen Sistem	Persamaan	Referensi
1	Enthalphy Superheater	$h_{Sh} = \frac{(T-T_1) \times (h_2=h_1)}{T_2-T_1}$	[1]
2	Enthalphy Economizer	$h_{Ec} = \frac{(T-T_1) \times (h_2=h_1)}{T_2-T_1}$	
3	Enthalphy Evaporator	$h_{Ev} = \frac{(T-T_1) \times (h_2=h_1)}{T_2-T_1}$	
4	Efisiensi HRSG	$\eta_{HRSG} = \frac{Output}{Input}$	[19]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Pengamatan

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 20 Februari 2024 hingga 22 Februari 2024 di PT. XYZ. Table 4 menjelaskan data penelitian yang dibutuhkan untuk melakukan analisa. Data penelitian yang diperlukan adalah pressure, temperatur, laju aliran massa uap maupun *feed water* outlet HRSG, lalu *inlet* berupa *pressure*, temperatur dan laju aliran massa uap dari gas buang turbin gas.

3.2 Pengolahan Data

Setelah diperoleh data-data yang diperlukan maka selanjutnya dapat dilakukan pengolahan data menggunakan persamaan berikut [20] :

$$\eta_{HRSG} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\text{energi yang dibutuhkan air menjadi panas lanjut}}{\text{energi gas buang yang masuk ke HRSG}} \times 100\% \dots [1]$$

$$\text{Output} = (h_{HP\ SH} \times \dot{m}_{HP}) + (h_{HP\ Eva} \times \dot{m}_{HP\ Eva}) + (h_{RH\ SH} \times \dot{m}_{RH}) + (h_{IP\ SH} \times \dot{m}_{IP}) + (h_{IP\ Eva} \times \dot{m}_{IP\ Eva}) + (h_{LP\ SH} \times \dot{m}_{LP}) + (h_{LP\ Eva} \times \dot{m}_{LP\ Eva}) - (h_{HP\ Eco} \times \dot{m}_{HP\ Eco}) + (h_{IP\ Eco} \times \dot{m}_{IP\ Eco}) + (h_{LP\ Eco} \times \dot{m}_{LP\ Eco})$$

$$\text{Input} = (h_{\text{Exhaust gas}} \times \dot{m}_{\text{Exhaust gas}})$$

Dimana :

- h : Enthalphy (kJ/kg)
- HP : High Pressure (kJ/kg)
- IP : Intermediate Pressure (kJ/kg)
- LP : Low Pressure (kJ/kg)
- SH : Superheater (kJ/kg)
- Eco : Economizer (kJ/kg)
- $\dot{m}$: Laju Aliran (kg/s)

Pengolahan data menggunakan *Software Microsoft excel* dengan mencari setiap nilai *enthalphy* nya, berikut merupakan data hasil pada tanggal 20 februari 2024:

Table 3 Data Hasil Perhitungan Enthalphy

Enthalphy(kj/kg)	Low Pressure(SH)	2790,3
	Low Pressure(Eco)	611,26
	Low Pressure Evaporator	2041,601
	Intermediate Pressure (SH)	2976,21
	Intermediate Pressure (Eco)	800,38
	Intermediate Pressure Evaporator	2763,503
	Reheater	3539,001
	High Preesure(SH)	3546,37
	High Preesure (Eco)	1303,25

	High Preesure Evaporator	2773,1
	Inlet HRSG	3778,11

Setelah diketahui nilai *enthalphy* setiap pipa HRSG maka selanjutnya jumlahkan nilai nya pada rumus *output* dan *input*, sehingga dengan persamaan 1 di dapat nilainya:

Table 4 Efisiensi Heat Recovery Steam Generator

	Input	Output	Efisiensi
20/02/2024	639241,9673	739565,0325	86%
21/02/2024	648255,7651	735455,2214	88%
22/02/2024	621604,2948	730132,8416	85%

Dari hasil pengolahan data diatas dapat diketahui bahwa Efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 21 Februari 2024 yaitu sebesar 88% dengan aliran energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut sebesar 648255,7651 kJ/s dengan laju aliran gas buang turbin yang masuk pada HRSG sebesar 735455,2214 kJ/s.

Efisiensi terendah terjadi pada tanggal 22 Februari 2024 yaitu sebesar 85% dengan aliran energi yang dibutuhkan air menjadi uap panas lanjut sebesar 621604,2948 kJ/s dengan aliran gas buang turbin yang masuk pada HRSG sebesar 730132,8416 kJ/s.

Turunnya efisiensi HRSG umumnya disebabkan oleh beberapa faktor seperti tekanan dan temperature aliran, variasi dalam tekanan atau temperatur aliran gas mempengaruhi efisiensi penukar panas, karena efisiensi penukar panas bergantung pada perbedaan temperatur aliran gas dan aliran air.

4. KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas adapun kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil pengolahan data dapat diketahui bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada tanggal 21 Februari 2024 yaitu sebesar 88% dan efisiensi terendah terjadi pada tanggal 22 Februari 2024 yaitu sebesar 85%
2. Turunnya efisiensi HRSG umumnya disebabkan oleh beberapa factor seperti tekanan dan temperature aliran, variasi dalam tekanan atau temperatur aliran gas mempengaruhi efisiensi penukar panas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ilmar Anwar, and Ali Sandra, "Analisis Unjuk Kerja Heat Recovery Steam Generator (Hrsg) Pada Pltgu Muara Tawar Blok 5," University Muhammadiyah Jakarta: Jakarta, *Sintek*, vol. 7, no 1, pp. 23-30, 2012.
- [2] Jadmiko, R. "Rancangan Heat Recovery Steam Generator pada PLTGU Kapasitas 105 MW", 2017.
- [3] Rahardja, I. B., & Paryatmo, W. "Analisa Dan Optimasi Sistem Pltgu Biomassa Gas Metan Dengan Daya 20 Mw". *Jurnal Teknologi*, 9(2), 65. <https://doi.org/10.24853/jurtek.9.2.65-76>, 2017.

- [4] Pranata, A., & Suhanan. "Perancangan Komponen Superheater pada Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Siklus PLTGU dengan Kapasitas Daya 70 MW".5–6.<http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/190528>, 2020.
- [5] Afrianto, Y., Tony Suryo, M. U., & Fajar, B. T.. "Analisa Efisiensi Exergi Pada Hrgs (Heat Recovery Steam Generator) Di Pltgu". Jurnal Teknik Mesin S-1, 4(4), 382–388, 2015.
- [6] Syukrillah, M., Khwee, K. H., & Hiendro, A. "Analisis Perhitungan Efisiensi Energi Di Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (Pltbn) Pt. Harjohn Timber Kubu Raya". Jurnal Teknik Elektro Untan, vol. 5(1), 1–11, 2019.
- [7] Herlambang, Y. D., Supriyo, S., & Wibowo, T. A., "Analisis Perhitungan Efisiensi Heat Recovery Steam Generator (Hrgs) Tipe Vertikal Tekanan Ganda Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)". Eksergi,16(3),148.<https://doi.org/10.32497/eksergi.v16i3.2218>, 2020.
- [8] Santosa, B., Qosim, M. N., & Ajiz, F. A., "Efisiensi Pembebanan Pltgu Pt. Krakatau Daya Listrik Dengan Perhitungan Specific Fuel Consumption Untuk Meminimalkan Biaya Produksi Listrik". Jurnal Suted, VOL.5, 2015.
- [9] Aritonang, J. P. Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Generator di PLTGU di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Keramasan. Pembangkitan Energi Listrik, 1, 4–31, 2016.
- [10] Yohana, E., & Herriza, R. M. "Analisis Efisiensi Siklus Combine Cycle Power Plant (Ccpg) Gas Turbine Generator Terhadap Beban Operasi Pt Krakatau Daya Listrik Rotasi", 18(4), 106. <https://doi.org/10.14710/rotasi.18.4.106-109> 2016.
- [11] Kolluru, R., Dhanasekhar, Y., Kumar M.V.H.S. Performance of A Heat Recovery Steam Generator. International Journal Of Engineering Research And Technology (IJERT), 3(12): 561-567. 2014.
- [12] Maulana, F., Riyani, D., Nufus, T. H., Silanegara, I. F., Jakarta, P. N., & Depok, K. "Analisa Perbedaan Efisiensi Antara HRSG 1 dan HRSG 2 PLTGU Cilegon," Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, 2085–2762, 441–446, 2018.
- [13] Elian, A., & Dwiyanoro, B. A., "Perancangan Termal Heat Recovery Steam Generator Sistem Tekanan Dua Tingkat Dengan Variasi Beban Gas Turbin. Jurnal Teknik ITS, 66– 154, 2017.
- [14] Yusron, A., & Saputro, D. D. "Analisa Performa Heat Recovery Steam Generator Sebelum Dan Sesudah Cleaning Di Pt Indonesia Power Tambak Lorok Semarang Menggunakan Software Matlab R.12". Saintekno : Jurnal Sains Dan Teknologi, 16(1), 1–12, 2018.
- [15] Harun, Nadjamuddin. "Bahan Ajar Perancangan Pembangkit Tenaga Listrik". Makassar : Universitas Hasanuddin 2011.
- [16] Wardiana, G. E., I.G.B. Kusuma., A.A.I.A. Sri Komaladewi, "Analisa Unjuk Kerja Heat Recovery Steam Generator Pada Blok 1 Unit 1 Pt. Indonesia Power Grati Pomu", Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA, Vol.10 No. 2, April 2021.
- [17] Masruri, Syukron. :Analisa Dan Studi Performa Pltgu Berdasarkan Kondisi Operasi Dengan Menggunakan Software Cycle Tempo". Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November 2016.
- [18] Tim Penyusun, "Panduan Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin S1", Riau: Universitas Riau, 2014.
- [19] Yohana, E., & Priambodo, A., "Analisa efisiensi low pressure HRSG pada PLTGU PT.Indonesia Power UBP Semarang". Rotasi Jurnal Teknik Mesin, 141(1), 7–9 2012.
- [20] Girsang, R. O. "Analisis Performa PLTGU PLN Sektor Keramasan Menggunakan Program Cycle Tempo". Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November 2016.