

ANALISIS PENGARUH EFISIENSI ISENTROPIK DAN BEBAN OPERASI TERHADAP PENGGUNAAN ENERGI MOTOR LISTRIK KOMPRESOR SENTRIFUGAL DI CONVERTING PLANT PT XXX

Yudhi Chandra Dwiaji¹, Firdaus²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Email: yudhichandra7@gmail.com

ABSTRACT

PT XXX is a company engaged in manufacturing paper and cardboard. Converting Plant is one of the plants in the company that is engaged in manufacturing carton boxes or what we usually know as packaging boxes. At the plant there is a centrifugal compressor which is very critical equipment because the compressor supplies pressurized air to all production machines in the plant. High production requirements at the plant, the compressor is only repaired if there is damage to its components without further analysis of compressor performance before the performance declines as well as analysis of electric motor energy use and deviations in electric motor energy use. The main purpose of this research is to analyze the decrease in compressor performance and the energy waste of the compressor electric motor based on the parameters in the compressor. The lowest isentropic efficiency values are at 0.82 and 0.83 with the use of electrical energy of 384.30 kW and 383.1 kW, respectively. The highest operating load value is 86.9% with the use of electrical energy of 384.30 kW. The lowest operating load value is at 85% with the use of electrical energy of 371.67 kW. The optimum value of the use of electrical energy is the isentropic efficiency of 0.98-0.99 and the operating load of 85% - 85.3%, namely 371.67 - 372.15 kW.

Keywords: *Efficiency Isentropic, Operating Load, Energy Consumption, Centrifugal Compressor*

ABSTRAK

PT XXX merupakan suatu perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur kertas dan karton. Converting Plant merupakan salah satu plant yang ada di perusahaan tersebut bergerak di bidang manufaktur carton box atau biasa kita kenal kardus kemasan. Pada plant tersebut terdapat suatu kompresor sentrifugal yang merupakan equipment sangat kritikal karena kompresor tersebut mengalirkan udara bertekanan ke semua mesin produksi yang ada di plant. Kebutuhan produksi yang tinggi pada plant tersebut, kompresor hanya dilakukan perbaikan jika ada kerusakan pada komponen-komponennya tanpa dilakukan analisis lebih lanjut kinerja kompresor sebelum terjadinya penurunan kinerja serta analisis penggunaan energi motor listrik dan penyimpangan penggunaan energi motor listrik. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu menganalisis penurunan kinerja kompresor dan pemborosan energi motor listrik kompresor berdasarkan parameter-parameter yang ada di kompresor. Nilai efisiensi isentropik terendah ada di angka 0.82 dan 0.83 dengan penggunaan energi listrik sebesar 384.30 kW dan 383.1 kW. Nilai beban operasi tertinggi ada di nilai 86.9% dengan penggunaan energi listrik sebesar 384.30 kW. Nilai beban operasi terendah ada di angka 85% dengan penggunaan energi listrik sebesar 371.67 kW. Nilai optimum penggunaan energi listrik ada pada efisiensi isentropik 0.98-0.99 dan beban operasi 85% - 85.3% yaitu 371.67 - 372.15 kW.

Kata kunci: *Kompresor Sentrifugal, Efisiensi Isentropik, Penggunaan Energi Motor Listrik.*

Diterima Redaksi: 01-03-2022 | Selesai Revisi: 04-04-2022 | Diterbitkan Online: 11-04-2022

1. Pendahuluan

Konservasi energi adalah upaya sistematis terencana dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi dalam pemanfaatannya [1].

Kompresor adalah salah satu alat yang banyak dibutuhkan dan digunakan pada industri sebagai alat atau mesin yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida yang dimampatkan seperti udara dan gas [2]. Kompresor pada dasarnya bekerja

memampatkan gas [3]. Untuk menghasilkan tenaga, kompresor umumnya menggunakan motor listrik sebagai penggeraknya [4].

Udara atau fluida gas yang dihisap kompresor biasanya adalah udara/fluida gas dari atmosfer walaupun banyak pula yang menghisap udara/fluida gas spesifik dan bertekanan lebih tinggi dari atmosfer [5]. Performansi atau unjuk kerja kompresor berhubungan dengan pemanfaatan energi, karena semakin besar kerugian energi maka performansi kompresor akan semakin rendah, demikian pula sebaliknya [6]. Menurut sistem kerjanya kompresor dibedakan menjadi dua, yaitu kompresor kerja positif, yang prinsip kerjanya adalah menaikkan tekanan diperoleh dengan cara memperkecil atau memampatkan volume gas yang diisap kedalam silinder atau *stator* oleh torak, dan jenis kompresor lainnya adalah kompresor dinamik yang prinsip kerjanya adalah menaikkan tekanan dan kecepatan gas dengan gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh *impeller* [7].

Kompresor sentrifugal pada Converting Plant PT XXX digunakan sebagai suplai udara bertekanan untuk mesin-mesin yang menggunakan sistem pneumatic seperti mesin *printing*, *corrugating*, dan mesin *finishing*. Kompresor sentrifugal di plant tersebut merupakan equipment yang sangat kritikal karena kompresor tersebut mengalirkan udara bertekanan ke semua mesin produksi yang ada di plant.

Kompresor sentrifugal tersebut tidak pernah berhenti kecuali hari besar keagamaan sehingga kinerjanya perlu dianalisis lebih lanjut untuk memastikan kompresor tersebut tetap andal. Kebutuhan produksi yang tinggi pada plant tersebut, hingga dilakukan perbaikan jika ada kerusakan pada komponen-komponennya tanpa dilakukan analisis lebih lanjut kinerja kompresor sebelum terjadinya penurunan kinerja serta analisis penggunaan energi motor listrik dan sebelum terjadinya penyimpangan penggunaan energi motor listrik, mengacu pada penelitian terdahulu maka hal tersebut bisa dianalisis melalui output dari hasil *checksheet* monitoring kondisi operasi kompresor. Kompresor di plant tersebut memiliki *checksheet* untuk monitoring kondisi

operasinya, namun belum ada output monitoring kondisi operasinya berdasarkan *checksheet* tersebut yang di dalamnya memiliki beberapa variabel yang harus diperiksa seperti arus masuk motor, tekanan keluar dan temperatur keluar kompresor, serta beban operasi.

Parameter pada *checksheet* kondisi operasi kompresor tersebut didapat dari manual book yaitu arus masuk tidak boleh lebih dari 82 A, tekanan keluar tidak lebih dari 8.5 barG dan temperatur keluar kompresor tidak lebih dari 40 °C, parameter-parameter tersebut bisa diolah menjadi penggunaan energi listrik motor dan juga efisiensi isentropik kompresor.

Penelitian terdahulu pernah dilakukan oleh Angky Puspawan dengan tujuan mengetahui efisiensi isentropik kompresor jenis *screw air sullair 1* di *hot strip mill* PT Krakatau Steel Cilegon. Hasil penelitian diperoleh nilai rata-rata efisiensi isentropik sebesar 87.34 %, dengan range 84.81-89.48%. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kompresor yang digunakan di pabrik *Hot Strip Mill* PT Krakatau Steel ini masih bekerja dengan baik walaupun kompresor bekerja terus menerus dan hanya dilakukan 1 hari penonaktifan setiap bulannya [8]. Berdasarkan hal tersebut, maka penulis perlu menganalisis pengaruh efisiensi isentropik dan beban operasi terhadap penggunaan energi motor listrik kompresor sentrifugal pada Converting Plant PT XXX.

Efisiensi isentropik kompresor adalah keadaan saat memasuki kompresor dan tekanan tetap dengan perpindahan kalor, energi kinetik, dan energi potensial yang dapat diabaikan. [8]. Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi kompresor adalah sebagai berikut [8].

- Kerja kompresor isentropik

dimana: $W_{cs} = h_{2s} - h_1$

W_{cs} = Kerja kompresor isentropik

h_{2s} = Entalpi isentropik sisi keluaran kompresor

h_1 = Entalpi kondisi aktual sisi masukan kompresor

- Kerja kompresor kondisi aktual

dimana: $W_a = h_2 - h_1$

W_a = Kerja kompresor kondisi aktual
 h_2 = Entalpi kondisi aktual sisi keluaran kompresor
 h_1 = Entalpi kondisi aktual sisi masukan kompresor

- Efisiensi isentropik kompresor

dimana: $\eta_{cs} = \frac{W_{cs}}{W_a} \times 100\%$

η_{cs} = Efisiensi isentropik kompresor

W_{cs} = Kerja kompresor isentropik

W_a = Kerja kompresor kondisi aktual

Penggunaan energi listrik pada kompresor sentrifugal bisa dihitung berdasarkan daya ampere motor, voltage motor, dan $\cos \phi$ motor pada keadaan aktual dan dari manual book kompresor.

- Penggunaan energi listrik motor pada kompresor dapat ditentukan dengan rumus:

dimana: $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$

P = Daya motor (W)

V = Voltage (V)

I = Arus (A)

$\cos \phi = 0.85$

- Penyimpangan energi bisa dihitung dengan rumus berikut [9]:

dimana: Penyimpangan Energi = $P_2 - P_1$

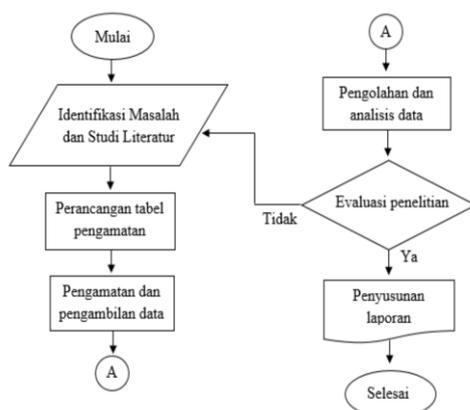
P_2 = Daya motor sesuai desain pembuatan (W)

P_1 = Daya motor sesuai aktual di lapangan (W)

Jika hasilnya negatif, maka terjadi pemborosan energi listrik pada motor.

2. Metode Penelitian

Proses penyelesaian dibuat diagram alir untuk menggambarkan penyelesaian masalah dari awal sampai akhir dalam penelitian ini. Berikut adalah flow chart penelitian yang dilakukan:



Gambar 1: Diagram Alir Proses Penyelesaian Masalah

2.1. Spesifikasi Kompresor

Spesifikasi kompresor yang digunakan di Converting Plant PT. XXX merupakan kompresor jenis sentrifugal. Data-data spesifikasinya ada pada tabel berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Kompresor

No.	Deskripsi	Spesifikasi
1.	Maker	Hanwha
2.	Type	HNW-0000-SW-3570-5YP5Z
3.	Motor Power	400 kW
4.	Current	75 A
5.	Voltage	3300 V
6.	$\cos \phi$	0.85
7.	Inlet Pressure	0.979 barA
8.	Inlet Temperature	27 °C
9.	Discharge Pressure	8.5 barG
10.	Discharge Temperature	38 °C

2.2. Metode Pengambilan Data

Observasi yaitu teknik mengumpulkan data dengan cara pengamatan langsung pada obyek yang diteliti. [10]

a. Pengambilan Data Tekanan

Data tekanan udara keluar aktual (P_2) diambil lewat screen display kompresor seperti pada gambar di bawah, tekanan udara keluar isentropik (P_{2s}) dan tekanan udara masuk (P_1) diambil berdasarkan seperti pada tabel 1 spesifikasi kompresor. Data-data ini diambil setiap dua jam sekali selama tiga hari.



Gambar 2. Pengambilan Data Tekanan Keluar Aktual

b. Pengambilan Data Temperatur

Data temperatur udara keluar aktual (T_2) diambil lewat *screen display* kompresor seperti pada gambar di bawah, temperatur udara keluar isentropik (T_{2s}) dan temperatur masuk (T_1) diambil berdasarkan seperti pada tabel

tabel 1 spesifikasi kompresor. Data-data ini diambil setiap dua jam sekali selama tiga hari.



Gambar 3. Pengambilan Data Temperatur Keluar Aktual

c. Pengambilan Data Entalpi

Data entalpi masuk dan keluar kompresor aktual diambil dari *property table thermodynamic* dan juga dengan bantuan *software* CATT2 berdasarkan data tekanan masuk-keluar kompresor dan temperatur masuk-keluar kompresor aktual. Data-data ini diambil setiap dua jam sekali selama tiga hari. Langkah-langkah penggunaannya seperti berikut:

1. Buka program *Computer Aided Thermodynamics Table 2* dan akan muncul tampilan seperti pada Gambar 4.



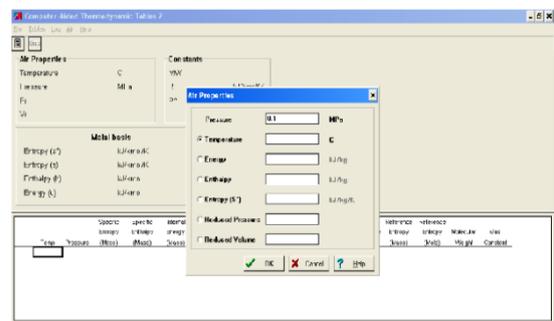
Gambar 4. *Computer Aided Thermodynamics Table 2*

2. Selanjutnya klik menu *table* dan pilih pilihan *air*. Maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 5.

Temp	Pressure	Volume	Internal Energy	Enthalpy	Entropy	Reference Pressure	Reference Enthalpy	Reference Entropy	Volume	Quality	Compress
1	0.101325	0.000816	0.1719	0.1719	0.6888	0.101325	0.1719	0.6888	0.000816		

Gambar 5. Tabel Data Tekanan dan Temperatur yang Sudah Diambil

3. Klik *calculate* dan masukkan nilai tekanan dan nilai temperatur yang sudah diambil pada isian seperti pada gambar di bawah.



Gambar 6. *General Properties* dari Data yang Sudah Diambil

4. Setelah itu klik ok maka nilai entalpi yang kita cari akan muncul seperti ditunjukkan oleh gambar di bawah.

Temp	Pressure	Volume	Internal Energy	Enthalpy	Entropy	Reference Pressure	Reference Enthalpy	Reference Entropy	Volume	Quality	Compress
1	0.101325	0.000816	0.1719	0.1719	0.6888	0.101325	0.1719	0.6888	0.000816		

Gambar 7. Data Entalpi yang Akan Diambil

d. Pengambilan Data Variasi Beban Operasi

Data variasi beban operasi kompresor diambil lewat *screen display* seperti pada gambar di bawah ini. Data-data ini diambil setiap dua jam sekali selama tiga hari.



Gambar 8. Pengambilan Data Beban Operasi

e. Pengambilan Data Arus dan Tegangan Listrik Masuk Motor

Data arus listrik masuk (I) kompresor diambil lewat *screen display* kompresor seperti pada gambar di bawah ini. Data tegangan listrik (V) kompresor diambil dari tabel tabel 1 spesifikasi kompresor. Data-data ini diambil setiap dua jam sekali selama tiga hari.



Gambar 9. Pengambilan Data Arus dan Tegangan Listrik Motor

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan terdiri dari pengolahan dan analisis data pengaruh efisiensi isentropik terhadap penggunaan energi listrik kompresor, pengaruh beban operasi terhadap penggunaan energi listrik kompresor, serta pengaruh efisiensi isentropik dan beban operasi terhadap penggunaan energi listrik kompresor. Berikut hasil pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan.

3.1. Hasil Pengolahan dan Analisis Data Pengaruh Efisiensi Isentropik terhadap Penggunaan Energi Listrik Kompresor

Nilai rata-rata efisiensi isentropik dari seluruh data (36 data) yang ada dan telah dilakukan perhitungan didapat sebesar 0.94 dengan range 0.82 – 0.99 seperti ditunjukkan

pada gambar 10 yaitu grafik efisiensi isentropik terhadap penggunaan energi motor listrik. Data efisiensi isentropik tersebut mempengaruhi penggunaan energi listrik motor kompresor, trend-nya semakin tinggi nilai efisiensi isentropik maka semakin kecil nilai penggunaan energi listriknya, begitu juga sebaliknya, data tersebut didapatkan karena energi yang diberikan kompresor semakin efisien maka nilai penggunaan energi listrik juga semakin efisien atau semakin rendah nilai penggunaan energi listriknya, sehingga efisiensi isentropik berbanding terbalik dengan penggunaan energi listriknya.

Nilai efisiensi isentropik terendah ada di angka 0.82 dan 0.83 dengan penggunaan energi listrik sebesar 384.30 kW dan 383.1 kW, nilai tersebut berada di bawah parameter efisiensi isentropik yaitu 0.85, ini bisa disebabkan karena temperatur keluar kompresor yang semakin tinggi melebihi parameternya yaitu 40 °C. Nilai penggunaan energi listrik pada semua data efisiensi isentropik tidak menunjukkan adanya pemborosan karena tidak ada yang melebihi nilai batas parameternya yaitu 400 kW, ini terjadi karena tidak ada data arus masuk motor yang melebihi parameternya yaitu 82 A. Melihat dari mayoritas data efisiensi isentropik berada di atas parameternya dan semua data penggunaan energi listrik berada di bawah parameternya tersebut, maka kinerja kompresor tersebut dapat dinilai masih bekerja dengan baik.

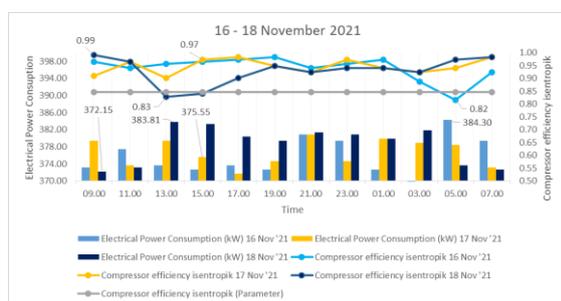


Gambar 10. Grafik Pengaruh Efisiensi Isentropik terhadap Penggunaan Energi Listrik Kompresor

3.2. Hasil Pengolahan dan Analisis Data Pengaruh Beban Operasi terhadap Penggunaan Energi Listrik Kompresor

Nilai rata-rata beban operasi dari seluruh data (36 data) yang ada dan telah dilakukan perhitungan didapat sebesar 86% dengan range 85% – 86.9% seperti ditunjukkan pada gambar 11 yaitu grafik beban operasi terhadap penggunaan energi listrik. Data beban operasi tersebut mempengaruhi penggunaan energi listrik motor kompresor, trend-nya semakin tinggi nilai beban operasi maka semakin besar pula nilai penggunaan energi listriknya, namun semakin kecil nilai deviasi penggunaan energi listriknya di bawah data spesifikasi motor kompresor yaitu 400 kW, data tersebut didapatkan karena semakin besar beban operasi kompresor maka semakin besar pula arus listrik masuk motor kompresor untuk mendapatkan daya agar beban tersebut dapat teratasi, sehingga beban operasi berbanding lurus terhadap penggunaan energi motor listrik kompresor.

Nilai beban operasi tertinggi ada di nilai 86.9% dengan penggunaan energi listrik sebesar 384.30 kW. Nilai beban operasi terendah ada di angka 85% dengan penggunaan energi listrik sebesar 371.67 kW. Nilai penggunaan energi listrik pada semua data beban operasi tidak menunjukkan adanya pemborosan karena mengacu pada persamaan 2.5, nilai deviasi dari semua data penggunaan energi listrik tidak ada yang bernilai negatif sehingga tidak ada data penggunaan energi listrik yang melebihi nilai batas parameternya yaitu 400 kW, ini terjadi karena tidak ada data arus masuk motor yang melebihi parameternya yaitu 82 A.

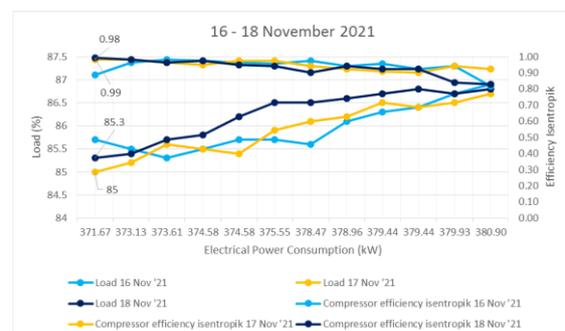


Gambar 11. Grafik Pengaruh Beban Operasi terhadap Penggunaan Energi Listrik Kompresor

3.1. Hasil Pengolahan dan Analisis Data Pengaruh Efisiensi Isentropik terhadap Penggunaan Energi Listrik Kompresor

Nilai rata-rata efisiensi isentropik dari seluruh data (36 data) yang ada dan telah dilakukan perhitungan didapat sebesar 0.94 dengan range 0.82 – 0.99 seperti ditunjukkan pada gambar 12 yaitu grafik efisiensi isentropik terhadap penggunaan energi motor listrik. Data efisiensi isentropik tersebut mempengaruhi penggunaan energi listrik motor kompresor, trend-nya semakin tinggi nilai efisiensi isentropik maka semakin kecil nilai penggunaan energi listriknya, begitu juga sebaliknya, data tersebut didapatkan karena energi yang diberikan kompresor semakin efisien maka nilai penggunaan energi listrik juga semakin efisien atau semakin rendah nilai penggunaan energi listriknya, sehingga efisiensi isentropik berbanding terbalik dengan penggunaan energi listriknya.

Nilai efisiensi isentropik terendah ada di angka 0.82 dan 0.83 dengan penggunaan energi listrik sebesar 384.30 kW dan 383.1 kW, nilai tersebut berada di bawah parameter efisiensi isentropik yaitu 0.85, ini bisa disebabkan karena temperatur keluar kompresor yang semakin tinggi melebihi parameternya yaitu 40 °C. Nilai penggunaan energi listrik pada semua data efisiensi isentropik tidak menunjukkan adanya pemborosan karena tidak ada yang melebihi nilai batas parameternya yaitu 400 kW, ini terjadi karena tidak ada data arus masuk motor yang melebihi parameternya yaitu 82 A. Melihat dari mayoritas data efisiensi isentropik berada di atas parameternya dan semua data penggunaan energi listrik berada di bawah parameternya tersebut, maka kinerja kompresor tersebut dapat dinilai masih bekerja dengan baik.



Gambar 12. Grafik Pengaruh Efisiensi Isentropik dan Beban Operasi terhadap Penggunaan Energi Listrik Kompresor

4. Kesimpulan

Efisiensi isentropik mempengaruhi penggunaan energi listrik motor kompresor, trend-nya semakin tinggi nilai efisiensi isentropik maka semakin kecil nilai penggunaan energi listriknya, begitu juga sebaliknya. Nilai efisiensi isentropik terendah ada di angka 0.82 dan 0.83 dengan penggunaan energi listrik sebesar 384.30 kW dan 383.1 kW, nilai tersebut berada di bawah parameter efisiensi isentropik yaitu 0.85, ini bisa disebabkan karena temperatur keluar kompresor yang semakin tinggi melebihi parameternya yaitu 40°C. Mayoritas data efisiensi isentropik berada di atas parameternya yaitu 0.85 dan semua data penggunaan energi listrik berada di bawah parameternya yaitu 400 kW, maka kinerja kompresor tersebut dapat dinilai masih bekerja dengan baik.

Beban operasi mempengaruhi penggunaan energi listrik motor kompresor, trend-nya semakin tinggi nilai beban operasi maka semakin besar pula nilai penggunaan energi listriknya. Nilai beban operasi tertinggi ada di nilai 86.9% dengan penggunaan energi listrik sebesar 384.30 kW. Semua data penggunaan energi listrik pada semua data beban operasi berada di bawah parameternya yaitu 400 kW, maka tidak ada pemborosan penggunaan energi motor listrik kompresor.

Efisiensi isentropik dan beban operasi mempengaruhi penggunaan energi motor listrik kompresor, trend-nya semakin tinggi nilai beban operasi dan efisiensi isentropik menurun maka semakin besar pula nilai penggunaan energi listriknya. Nilai optimum penggunaan energi listrik ada pada efisiensi isentropik 0.98-0.99 dan beban operasi 85% - 85.3% yaitu 371.67 - 372.15 kW.

Daftar Pustaka

- [1] T. Juliadi and A. Syuhada, "Analisis Unjuk Kerja Kompresor Sentrifugal Pada Unit Flare Gas Recovery PT. Arun NGL," *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 3, pp. 119–123, 2013.
- [2] N. B. Sanjaya, "Analisis Efisiensi Kompresor Sentrifugal Dengan Variasi Diameter Pipa Saluran Masuk," 2020.
- [3] R. A. Asyari, "Pemodelan Penentuan Lokasi Stasiun Kompresor Untuk Pipa Transmisi Gas Dari Sumatera Selatan – Jawa Barat," *J. E-Komtek*, vol. 2, no. 1, pp. 43–53, 2019, doi: 10.37339/e-komtek.v2i1.93.
- [4] M. A. Setiawan and I. Riyanto, "Sistem Kendali Tekanan Udara Pada Kompresor Dengan Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa," *Maestro*, vol. 2, no. 1, pp. 204–211, 2019.
- [5] Y. dan N. fatmawati Mulyani, "Pengaruh Temperatur Inlet Terhadap Efisiensi Kinerja," *J. Migasian*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4, 2017.
- [6] T. Sitepu, "Kajian penggunaan kompresor aksial," *Dinamis*, vol. 2, no. 6, pp. 1–5, 2010.
- [7] S. E. Susilowati, "Penurunan Kinerja Kompresor Untuk Starting," no. April, pp. 8–17, 2015.
- [8] A. Puspawan, "Analysis of Compressor Isentropic Efficiency Type Sullair Screw Air Compressor in Factory of Hot Strip Mill," *Ilm. Bid. Sains Teknol. Murni Disiplin dan Antar Disiplin*, vol. 2, no. 14, pp. 1–57, 2014.
- [9] Hendri, "Analisis Peluang Penghematan Energi Kompresor," vol. 10, no. 1, pp. 74–84, 2018.
- [10] Y. C. Dwiaji, "Jurnal simetrik vol.10, no.1, juni 2020," *Anal. EFISIENSI Boil. TERHADAP POLA PENGOPERASIAN SOOTBLOWER DI PLTU SURALAYA*, vol. 10, no. 1, pp. 285–294, 2020.