

Analisa Performansi Pembangkit Listrik Skala Kecil Berdasarkan *Coefficient of Performance* (CoP)

Sri Agustina¹, Rachli Agung Mufaridz¹, Djulil Amri¹, Herlina^{1*}

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya
Inderalaya, Indonesia

corresponding author: herlinawahab@unsri.ac.id

Abstrak— Kebutuhan listrik yang semakin tinggi dan andal mengakibatkan berbagai cara dilakukan untuk pemenuhannya. Salah satu cara tercepat untuk pemenuhan kebutuhan listrik adalah dengan menggunakan generator set. Pada penelitian dirancang satu sistem kelistrikan yang melibatkan motor DC sebagai arus masukan dari generator untuk menghasilkan daya listrik yang lebih besar. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah disain, pengujian dan pengukuran untuk mendapatkan tegangan dan arus motor dan generator. Metode yang digunakan untuk performa dari sistem pembangkit adalah menggunakan pengukuran indeks *Coefficient of Performance* (CoP) dan temperatur yang dihasilkan oleh sistem. Pembebanan dilakukan dengan menambahkan beban sebesar 200 watt berupa lampu yang dinaikkan setiap kelipatan 3 menit hingga berakhir di menit ke 15 dengan total beban sebesar 1000 watt. Hasil penelitian didapatkan indeks CoP dengan beban tertera pada *nameplate* adalah sebesar 8,22 sedangkan indeks CoP tertinggi pada pembebanan 1000 watt sebesar 2,09. Hal ini disebabkan karena kapasitas pembebanan lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas tertera pada *name plate* generator. Sedangkan temperatur akan semakin tinggi jika pembebanan terus ditambah.

Keywords— *Generator Set, Motor DC, Coefficient of Performance, Temperatur, Pembangkit Listrik*

Abstract— As the need for power increases and becomes more dependable, various methods are attempted to provide it. Utilizing a generator set is one of the quickest methods to satisfy electrical demands. In this study, an electrical system was constructed using a DC motor as the generator's input current source to generate more electrical power. Design, testing, and measurement are the steps of study performed to acquire the voltage and current of the motor and generator. The performance of the producing system is determined by monitoring the *Coefficient of Performance* (CoP) index and the system's output temperature. Loading is accomplished by introducing a load of 200 watts in the form of a light, which is raised every three minutes until it reaches 1000 watts in 15 minutes. The findings revealed that the CoP index with the rated load was 8.22, while the greatest CoP index was 2.09 at 1000 watts. This is because the generator's loading capacity is less than the capacity specified on its nameplate. However, the temperature will increase when the load is increased.

Keywords— *Generator Set, DC Motor, Coefficient of Performance, Temperature, Electric Power Plant*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan listrik dewasa ini semakin luas di kehidupan masyarakat. Listrik digunakan untuk sumber perlengkapan elektronik, penerangan pada konsumen residensial maupun industri. Terbukti dengan kenaikan penjualan yang dicatat oleh PT. PLN (Persero) pada kuartal I tahun 2022 yaitu sebesar 8,42 persen atau sebesar 65,42 Terra Watt Hour (TWh) [1]. Kebutuhan listrik yang semakin meningkat tidak dibarengi dengan pertumbuhan pembangkit yang mensuplainya. Akibatnya sering terjadi kegagalan pelayanan atau padamnya listrik. Selain karena kurangnya sistem pembangkit, kegagalan yang terjadi pada sistem kelistrikan juga bias disebabkan oleh gangguan dibagian transmisi maupun distribusi seperti kabel yang putus karena pohon tumbang, sambaran petir, dan lainnya. Secara konvensional, untuk mengatasi pemadaman listrik, konsumen menggunakan generator set (genset). Pilihan ini bukanlah pilihan terbaik, mengingat gas buangan yang dihasilkan oleh genset memiliki dampak yang tidak baik bagi kesehatan manusia maupun lingkungan.

Pembangkit listrik skala kecil juga luas penggunaannya baik yang tipe konvensional (tak terbarukan) maupun yang tipe terbarukan. Pembangkit skala kecil pun dipastikan andal dalam pengoperasiannya dan memiliki performa yang baik. Untuk mengetahui performa dari sistem perlu dicari nilai indeks *coefficient of performance* (CoP) nya. Beberapa peneliti terdahulu menganalisis performansi dari peralatan berdasarkan indeks CoP nya, seperti pada mesin pompa [2-5], mesin pendingin [6-11], *heat engine*[12], rotor dari turbin angin[13] dan lainnya.

Berdasarkan latar belakang di atas, pada penelitian ini dibuat sistem pembangkit listrik skala kecil, yang membutuhkan daya masukan yang kecil untuk menghasilkan energi listrik yang besar. Diharapkan dengan sistem pembangkit ini dapat membantu pemenuhan kebutuhan listrik di masyarakat. Pembangkit listrik ini menggunakan generator sebagai penyuplai energi listrik dengan motor listrik sebagai

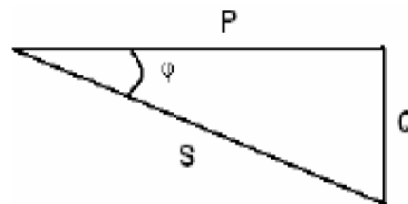
penggerakannya. Tujuan utama dari penelitian ini adalah agar sistem pembangkit yang didisain beroperasi secara maksimal dan kontinu. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka motor listrik harus memiliki kapasitas yang sesuai dengan kapasitas generator. Pada penelitian ini dihitung indeks CoP dan kenaikan temperatur diamati setiap terjadi penambahan beban.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Direct Current (DC)

Motor *Direct Current* atau motor DC merupakan salah satu peralatan elektronik yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik. Motor jenis DC menggunakan tegangan searah sebagai arus masukan untuk berputar. Beda tegangan pada kedua terminal dan arah putaran motor dapat dibalik arahnya dengan cara membalikkan polaritas tegangan yang masuk. Arah putaran motor ditentukan oleh polaritas tegangan yang diberikan pada dua terminal, sedangkan kecepatan motor ditentukan oleh besar dari beda tegangan di kedua terminal [14]. Komponen utama pembentuk motor ini adalah stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam, berfungsi sebagai kerangka motor, sedangkan rotor adalah bagian yang bergerak. Selain itu, terdapat komponen pendukung yaitu kutub pada rotor, kerangka magnet, kumparan medan magnet, komutator, kumparan jangkar, sikat arang dan kotak terminal. Prinsip kerja motor DC memanfaatkan sifat elektromagnetik yang menggerakkan kumparan, hal ini disebabkan oleh adanya perubahan kutub yang terjadi terus menerus. Ketika kutub yang berhadapan jenisnya sama akan mengakibatkan tolak menolak sehingga kumparan akan berputar. Pada posisi ini arus mengalir melalui kumparan, kumparan berputar lagi dan siklus ini berulang sampai arus listrik dihentikan [14].

Pengertian daya adalah perubahan energi terhadap waktu pada besaran tegangan serta arus. Daya dibagi menjadi tiga jenis, yaitu daya aktif (P) dengan satuannya adalah watt, daya reaktif (Q) dengan satuannya VAR dan daya semu (S) dengan satuannya VA. Ketiga jenis daya dengan sudut fasa (ϕ) dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini [15]:



Gambar 1. Segitiga daya

Dari gambar di atas, untuk mendapatkan nilai daya aktif dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

Pulley biasanya digunakan pada motor listrik yang berfungsi untuk mereduksi kecepatan motor, sehingga tenaga dari mesin bertambah. Selain itu, *pulley* digunakan untuk mentransmisikan daya menggunakan sistem transmisi penggerak berupa *flat belt*, *V-belt* atau *circular belt*. Selain itu alat ini juga digunakan untuk mengubah arah gaya yang diberikan, mengirim gerak dan mengubah arah rotasi.

Perbandingan kecepatan (*velocity ratio*) pada *pulley* berbanding terbalik dengan diameter *pulley*, dimana hal tersebut ditulis menggunakan rumus dibawah ini:

$$N_1 \times D_1 = N_2 \times D_2 \quad (2)$$

dimana, N_1 merupakan putaran *pulley* penggerak dengan satuannya rpm, N_2 merupakan putaran dari *pulley* yang digerakkan dengan satuan rpm. D_1 adalah diameter *pulley* yang menggerakkan dalam mm, sedangkan D_2 merupakan diameter *pulley* yang digerakkan dalam mm.

B. Coefficient of Performance (CoP)

CoP ini merupakan bilangan, indeks atau rasio yang menunjukkan performa dari suatu alat. Indeks ini dijadikan sebagai acuan untuk melihat kinerja peralatan, semakin besar indeks CoP berarti semakin baik kinerja peralatan tersebut. Untuk mendapatkan indeks CoP, dilakukan dengan membagi energi luaran dengan energi masukan dikalikan dengan waktu.

$$\text{Energi}_{\text{luaran}} = \text{Tegangan} \times \text{Arus}_{\text{luaran}} \times \text{waktu (joules)} \quad (3)$$

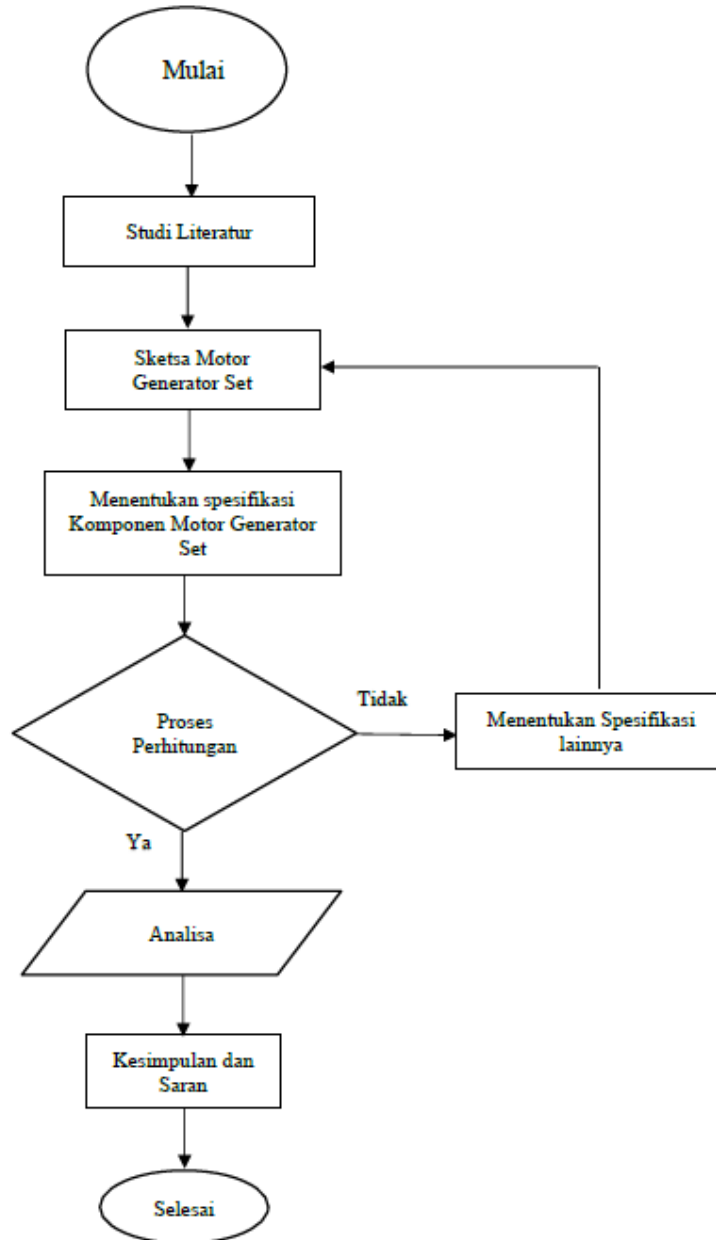
$$\text{Energi}_{\text{masukan}} = \text{Tegangan} \times \text{Arus}_{\text{masukan}} \times \text{waktu (joules)} \quad (4)$$

Dari kedua persamaan energy tersebut di atas, dapat dihitung nilai indeks CoP nya dengan bersamaan sebagai berikut [2]:

$$CoP = \frac{Luaran}{Masukan} \tag{5}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Rentang waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan di bulan April – November 2022. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mesin-Mesin Listrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya. Alur Penelitian mengikuti alur yang dibuat pada diagram berikut ini:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Secara garis besar, tahapan-tahapan yang dilalui pada penelitian ini meliputi 3 tahapan besar, yaitu :

- Tahap 1, yaitu disain dan manufaktur alat.

Pada proses ini merupakan langkah awal untuk disain motor listrik, di tahap ini dilakukan penentuan jenis dan spesifikasi motor maupun generator yang akan digunakan untuk penelitian.

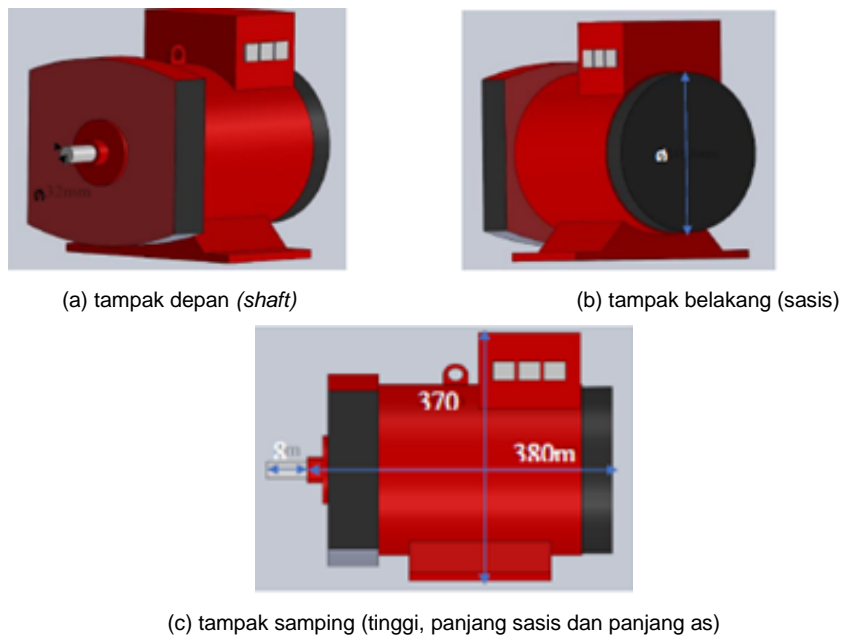
- Tahap 2, yaitu pengujian dan pengukuran

Pada tahap ini dilakukan pengujian dari sistem pembangkit yang telah dimanufaktur. Rangkaian system pengujian diawali dengan motor induksi 1 fasa dihubungkan dengan *flywheel* dan *pulley* beserta *v-belt*. Rangkaian tersebut sambungkan secara seri dengan generator AC untuk dilakukan pengambilan data tegangan di terminal luaran generator. Pengukuran tegangan ini dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi terhubung ke beban dan kondisi tanpa beban.

- Tahap 3, yaitu pengolahan data

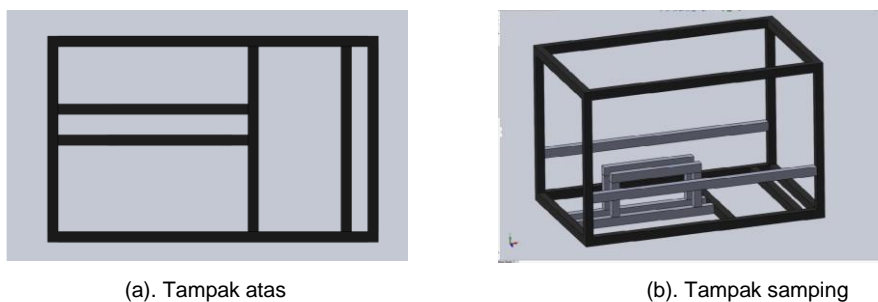
Data yang dikumpulkan di tahap 2 kemudian diolah dan direkapitulasi dalam bentuk tabel dan grafik untuk dianalisa.

Rangkaian sistem pembangkit yang didisain pada penelitian ini terdiri dari : motor induksi 1 fasa dengan tegangan sebesar 220 V, generator tipe AC, *V-Belt* beserta *pulley* nya, kotak pengendali dilengkapi *timer* dan kontaktor magnet, kotak terminal dan *flywheel*. Untuk melihat lebih jelasnya, generator yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Dimensi Generator AC

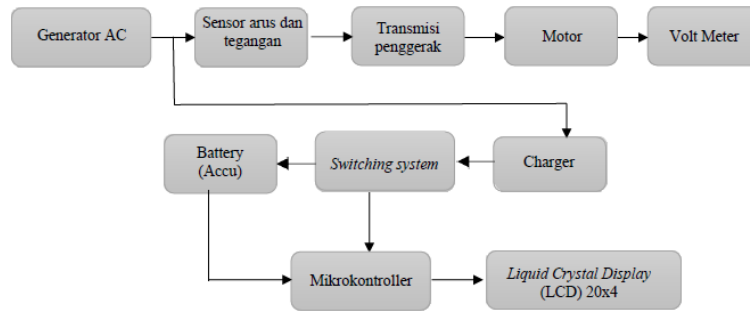
Untuk menunjang proses pengujian dan pengambilan data berlangsung dengan baik, sistem pembangkit yang dibuat dilengkapi dengan dudukan yang layak, seperti yang bias dilihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Dudukan untuk sistem pembangkit (motor dan generator AC)

Sistem pembangkit skala kecil ini terdiri dari motor dan generator set AC yang dikoneksikan dengan *pulley* sebagai penghubung poros motor ke sistem transmisi. Disini antar *pulley* dihubungkan menggunakan *v-belt*. Terlebih dahulu perlu diketahui perbandingan rpm motor dan generator agar putaran keduanya sinkron, untuk putaran keduanya dibantu oleh sabuk *v-belt* dan *pulley*. Perbandingan keduanya dihitung dengan membandingkan $n_1/n_2 = 3000/1500 = d_1/d_2$, dari hasil perbandingan rasio nya didapatkan adalah 2:1, hal ini berarti jumlah putaran yang dihasilkan oleh generator 2 kali jumlah putaran *pulley* di motor. Pada penelitian ini digunakan jenis sabuk datar, pemilihan jenis sabuk ini karena jenis ini paling fleksibel untuk penggunaan pemindah tenaga daya tinggi mesin penggerak terpisah dengan jarak tertentu pula.

Pengukuran dan pengambilan data mengikuti diagram yang telah dibuat seperti di gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Diagram pengukuran dan pengambilan data.

Dari diagram blok pengukuran di atas, dilakukan eksperimen untuk mengukur arus masukan, tegangan luaran, frekuensi dan temperatur di setiap kenaikan daya sesuai urutan 200, 400, 600, 800 dan 1000 watt.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

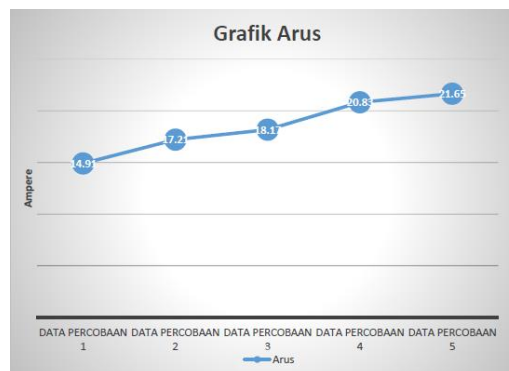
A. Data Hasil Pengukuran

Sebelum melakukan perhitungan, perlu diketahui data-data yang tersedia dari motor dan generator set. Data ini akan menjadi acuan untuk daya tertera di *name plate*. Spesifikasi data lengkap motor dan generator set sistem pembangkit skala kecil dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini:

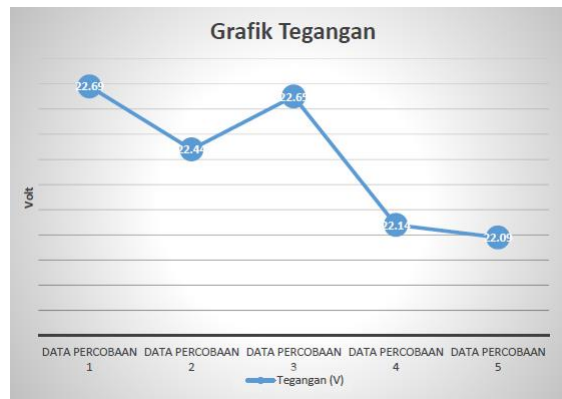
TABEL 1. DATA SPESIFIKASI MOTOR DAN GENERATOR

Spesifikasi Motor		Spesifikasi Generator	
Tipe	MY1016	Tipe	AC PRO-QUIP USA AvG-3
Tegangan	24 V	Tegangan	220 V
Arus	14.5 Amper	Arus	13 Amper
Putaran	3000 rpm	Putaran	1500 rpm
Daya	350 watt	Frekuensi	50 Hz
		PF	1.0

Data-data yang didapat dari *name plate* di atas dapat digunakan untuk menghitung daya yang diharapkan dihasilkan oleh generator set dengan menggunakan persamaan (1) menghasilkan daya sebesar 2.860 watt. Pengambilan data dilakukan selama 5 kali dengan variasi pembebanan dimulai dari 200 watt, 400 watt, 600 watt, 800 watt dan 1000 watt. Beban berupa lampu pijar 200 watt. Eksperimen dilakukan untuk mengukur arus, tegangan, temperatur motor juga generator. Pembebanan dilakukan secara bertahap, dimulai dari beban 200 watt dinaikkan tiap 3 menit di tiap eksperimen sampai 1000 watt. Temperatur pada motor dan generator juga diukur di setiap eksperimen. Proses eksperimen dimulai dengan pemberian tegangan awal pada motor, kemudian dikopel dengan bantuan generator menggunakan *belt* dan *pulley*. *Automatic Voltage Regulator (AVR)* digunakan untuk menjaga agar tegangan generator tetap stabil. Daya motor yang diuji sebesar 350 watt.



Gambar 5. Grafik arus hasil eksperimen dengan beban 200 – 1000 watt.



Gambar 6. Grafik tegangan hasil eksperimen dengan beban 200 – 1000 watt.

Selain pengukuran arus dan tegangan, pada tiap eksperimen juga diukur perubahan temperatur di tiap perubahan per 3 menit dan penambahan beban dari 200 – 1000 watt. Tabel 1 di bawah ini merupakan rekapitulasi dari data hasil pengukuran di eksperimen I-V.

TABEL II. DATA HASIL EKSPERIMEN I-V

Waktu	Beban (watt)	Temperatur (C)		Waktu	Beban (watt)	Temperatur (C)	
		motor	Generator			motor	Generator
Eksperimen I				Eksperimen IV			
3	200	32.1	34.1	3	800	36	40.9
6		32.4	34.8	6		36.1	41.5
9		32.7	35.1	9		36.3	41.6
12		33.0	35.4	12		36.5	41.7
15		33.1	35.8	15		36.8	41.9
Eksperimen II				Eksperimen V			
3	400	33.7	36.4	3	1000	37	42
6		33.7	34.8	6		37.1	42.2
9		34.1	35.1	9		37.3	42.5
12		34.6	35.4	12		37.9	42.9
15		34.9	35.8	15		38.7	43.1
Eksperimen III							
3	600	35.2	38.4				
6		35.1	38.6				
9		35.4	39.4				
12		35.7	40.2				
15		35.9	40.6				

B. Coefficient of Performance (CoP)

Seperti yang telah dijelaskan di awal bahwa untuk mengetahui performansi dari suatu sistem pembangkit dapat diketahui dengan *coefficient of performance (CoP)* nya. Untuk itu, pada penelitian ini juga dihitung CoP sistem dengan menggunakan motor DC sebagai penggerak awalnya. Perhitungan CoP dilakukan dengan pembebanan dan tanpa pembebanan.

- Perhitungan CoP tanpa beban

Untuk mendapat nilai CoP terlebih dahulu dilakukan perhitungan energi luaran selama 15 menit dan energi masukan.

$$\begin{aligned}
 E_{\text{luaran}} &= V \times I \times t \\
 &= 220 \times 13 \times 900 \text{ detik} \\
 &= 2.574.000 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{masuk}} &= V \times I \times t \\
 &= 24 \times 14.5 \times 900 \text{ detik} \\
 &= 313.200 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai CoP nya adalah :

$$\begin{aligned}
 CoP &= \frac{E_{\text{luaran}}}{E_{\text{masuk}}} \\
 &= \frac{2.574.000}{313.200} \\
 &= 8,218
 \end{aligned}$$

- Perhitungan CoP dengan pembebanan

Dengan cara yang sama, untuk variasi pembebanan lainnya diperoleh CoP seperti dalam tabel 3 berikut :

TABEL III. REKAPITULASI DATA HASIL PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN

Daya Motor (watt)	Arus masukan (I_{dc})	Tegangan (V_{dc})	Beban (watt)	Nilai COP
350	14.9	22.7	200	0.6
	17.2	22.4	400	1.04
	18.2	22.7	600	1.46
	20.8	22.1	900	1.74
	21.7	22.1	1000	2.09

Dari hasil perhitungan di atas, terlihat bahwa indeks CoP akan naik dengan bertambahnya beban. Indeks CoP yang didapatkan dari adanya pembebanan lebih kecil dibandingkan dengan indeks CoP yang dihitung dengan menggunakan daya tertera pada *name plate* generator set. Kondisi ini disebabkan karena pembebanan yang dilakukan jauh lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas generator itu sendiri, yaitu 3000 watt. Ketika eksperimen dilakukan, setiap penambahan beban di sistem pembangkit, akan mengakibatkan kenaikan temperature yang cukup signifikan. Untuk menghindari kenaikan temperatur yang terus menerus yang dikhawatirkan dapat merusak sistem pembangkit, maka waktu untuk eksperimen ini dibatasi hanya 15 menit.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa di atas dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya beban pada sistem pembangkit, maka kinerjanya akan semakin naik. Di saat kondisi pembebanan maksimal sebesar 1000 watt, pengujian dilakukan selama 15 menit menghasilkan indeks CoP sebesar 2,09. Kemudian dari hasil pengukuran temperatur selama 15 menit juga terjadi kenaikan yang cukup signifikan yaitu dari 34.1 derajat celsius menjadi 43.1 derajat celsius. Kenaikan temperatur ini disebabkan oleh penambahan beban dari 200 watt menjadi 1000 watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. T. Santia. Konsumsi Listrik Terus Naik, Bukti Indonesia Makin Maju. [Online]. Available: <https://www.liputan6.com/bisnis/read/4979918/konsumsi-listrik-terus-naik-bukti-indonesia-makin-maju>. [Diakses 12 Oktober 2022].
- [2]. J. Kamoshida, Y. Hirata, N. Isshiki, K. Katayama, and K. Sato, "Thermodynamic Analysis of Resorption Heat Pump Cycle Using Water-Multicomponent Salt Mixture," in *Heat Pumps*, T. Saito, Ed., ed Oxford: Pergamon, 1990, pp. 545-554.
- [3]. A. Chabot and F. Mathieu-Potvin, "Numerical analysis of heat pumps: Selection of the best fluids for maximizing the coefficient of performance," *International Journal of Refrigeration*, vol. 112, pp. 281-302, 2020/04/01/ 2020.
- [4]. J. Pospíšil, M. Špiláček, and L. Kudela, "Potential of predictive control for improvement of seasonal coefficient of performance of air source heat pump in Central European climate zone," *Energy*, vol. 154, pp. 415-423, 2018/07/01/ 2018.
- [5]. T. Esaki, M. Yasuda, and N. Kobayashi, "Experimental evaluation of the heat output/input and coefficient of performance characteristics of a chemical heat pump in the heat upgrading cycle of CaCl₂ hydration," *Energy Conversion and Management*, vol. 150, pp. 365-374, 2017/10/15/ 2017.
- [6]. N. Liu, X. Luo, and M. Zhang, "Coefficient of performance at maximum χ -criterion of thermochemical refrigerators with near-independent particles," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 511, pp. 182-190, 2018/12/01/ 2018.
- [7]. F. Foroozesh, A. B. Khoshnevis, and E. Lakzian, "Improvement of the wet steam ejector performance in a refrigeration cycle via changing the ejector geometry by a novel EEC (Entropy generation, Entrainment ratio, and Coefficient of performance) method," *International Journal of Refrigeration*, vol. 110, pp. 248-261, 2020/02/01/ 2020.
- [8]. U. Lucia, "General approach to obtain the magnetic refrigeration ideal coefficient of performance COP," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 387, pp. 3477-3479, 2008/06/01/ 2008.
- [9]. J. Yu, Y. Ren, H. Chen, and Y. Li, "Applying mechanical subcooling to ejector refrigeration cycle for improving the coefficient of performance," *Energy Conversion and Management*, vol. 48, pp. 1193-1199, 2007/04/01/ 2007.
- [10]. Y. Tu, L. Chen, F. Sun, and C. Wu, "Cooling load and coefficient of performance optimizations for real air-refrigerators," *Applied Energy*, vol. 83, pp. 1289-1306, 2006/12/01/ 2006.

- [11]. F. W. Yu and K. T. Chan, "Modelling of the coefficient of performance of an air-cooled screw chiller with variable speed condenser fans," *Building and Environment*, vol. 41, pp. 407-417, 2006/04/01/ 2006.
- [12]. Y. Ust, B. Sahin, A. Kodal, and I. H. Akcay, "Ecological coefficient of performance analysis and optimization of an irreversible regenerative-Brayton heat engine," *Applied Energy*, vol. 83, pp. 558-572, 2006/06/01/ 2006.
- [13]. J. V. Akwa, G. Alves da Silva Júnior, and A. P. Petry, "Discussion on the verification of the overlap ratio influence on performance coefficients of a Savonius wind rotor using computational fluid dynamics," *Renewable Energy*, vol. 38, pp. 141-149, 2012/02/01/ 2012.
- [14]. E.-C. Corporation, *DC Motors, Speed Controls, Servo Systems, An Engineering Handbook*, third ed. USA: Pergamon, 1972.
- [15]. F. Saccomanno, *Electric Power Systems: Analysis and Control*. United States of America: Wiley-IEEE Press, 2003.