



Pengaruh Tegangan Listrik dan Arus Listrik terhadap Kinerja Termoelektrik Sebagai Pendingin Termoelektrik

Tobi Oktabiansyah¹, Rifky^{1*}

¹1, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika

*Corresponding author – Email : rifky@uhamka.ac.id

Artikel Info - : Received : 24 Feb 2023; Revised : 23 March 2023; Accepted: 25 March 2023

Abstrak

Background: Material termoelektrik adalah material yang mempunyai sifat termal dan listrik. Modul termoelektrik dapat berfungsi sebagai generator listrik, pompa kalor, dan pendingin. Modul termoelektrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe TEC 1-12706 dan tipe TEG SP 1848. Penelitian ini menggunakan kedua modul tersebut dengan setiap modul menggunakan empat termoelektrik untuk dijadikan sistem pendingin. Adapun tujuan penelitiannya adalah untuk mendapatkan temperatur terendah pada sisi dingin dan koefisien kinerja termoelektrik CoP tertinggi pada kedua modul yang berbeda dengan variasi ukuran tegangan listrik dan arus listrik yang telah ditentukan, maka mendapatkan modul termoelektrik yang mempunyai koefisien kinerja lebih tinggi dari kedua jenis modul termoelektrik yang digunakan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental. Kedua modul secara terpisah diberikan energi listrik DC sehingga penyerapan kalor pada sisi dingin dan kalor dilepas pada sisi panas sehingga akan terjadi perbedaan temperatur, dan dilekatkan heatsink aluminium pada sisi dingin dan sisi panas. Data yang diperoleh dari data masukan adalah temperatur lingkungan, tegangan listrik, dan arus listrik. Lalu yang diperoleh dari data luaran adalah temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan temperatur ruang pendingin. Hasil penelitian pada modul TEC 1-12706 dengan variasi tegangan listrik menghasilkan temperatur minimum sisi dingin sebesar 5,9°C dengan nilai CoP tertinggi sistem pendingin sebesar 0,1821, sedangkan pada variasi arus listrik menghasilkan temperatur minimum sisi dingin sebesar 8,0°C dengan nilai CoP tertinggi sistem pendingin sebesar 0,3247. Untuk modul TEG SP 1848 dengan variasi tegangan listrik menghasilkan temperatur minimum sisi dingin sebesar 8,3°C dengan nilai CoP tertinggi sistem pendingin sebesar 0,2371, sedangkan pada variasi arus listrik menghasilkan temperatur minimum sisi dingin sebesar 11,1°C dengan nilai CoP tertinggi sistem pendingin sebesar 0,2158. Dengan demikian penelitian ini mencapai hasil bahwa pada penggunaan modul TEC 1-12706 dengan variasi tegangan listrik menghasilkan temperatur paling rendah sebesar 5,9 oC. Sementara penggunaan TEC 1-12706 dengan variasi arus listrik menghasilkan nilai CoP paling tinggi sebesar 0,3247. Oleh karena itu modul TEC 1-12706 memiliki kinerja lebih tinggi dibanding modul TEG SP 1848 ditinjau dari capaian temperatur terendah dan nilai CoP tertinggi

Kata kunci: termoelektrik, temperatur, kinerja, pendingin termoelektrik

Abstract

Background: Thermoelectric material is a material that has thermal and electrical properties. The thermoelectric module can function as an electric generator, heat pump and cooler. The thermoelectric modules used in this study are the TEC 1-12706 type and the TEG SP 1848 type. This study uses both of these modules with each module using four thermoelectrics to be used as a cooling system. The purpose of the research is to obtain the lowest temperature on the cold side and the highest CoP thermoelectric performance coefficient on the two different modules with variations in the size of the electric voltage and electric current that have been determined, then to get a thermoelectric module that has a higher performance coefficient of the two types of thermoelectric modules used. The research method used is experimental. The two modules are separately supplied with DC electrical energy so that heat is absorbed on the cold side and heat is released on the hot side so that a temperature difference occurs, and an aluminum heatsink is attached to the cold side and the hot side. The data obtained from the input data are ambient temperature, electric voltage, and electric current. Then what is obtained from the output data is the temperature of the hot side, the temperature of the cold side, and the temperature of the cold room. The results of the study on the TEC 1-12706 module with variations in electric voltage produce a minimum cold side temperature of 5.9°C with the highest CoP value of the cooling system of 0.1821, while variations in electric current produce a minimum cold side temperature of 8.0°C with the highest CoP value of the cooling system of 0.3247. For the TEG SP 1848 module, variations in electric voltage produce a minimum cold side temperature of 8.3°C with the highest CoP value of the cooling system of 0.2371, while variations in electric current produce a minimum cold side temperature of 11.1°C with a CoP value the highest cooling system is 0.2158. Thus this study achieved the result that the use of the TEC 1-12706 module with variations in electric voltage produced the lowest temperature of 5.9 oC. While the use of TEC 1-12706 with variations in electric current produces the highest CoP value of 0.3247. There for the TEC 1-12706 module has a higher performance than the TEG SP 1848 module in terms of the lowest temperature achievement and the highest CoP value.

Keywords: thermoelectric, temperature, performance, thermoelectric cooler

1. Pendahuluan

Jika penggunaan energi listrik bersumber dari bahan bakar yang berasal dari sumber minyak, gas, dan batubara secara terus menerus, maka akan terjadi penipisan sehingga akan habis. Akibatnya, kehidupan mengharuskan penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) [1].

EBT sekarang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk menyediakan energi listrik. Modul termoelektrik menjadi pilihan lain untuk menghasilkan listrik [2].

Generator termoelektrik, pompa panas, dan pendingin adalah contoh teknologi termoelektrik [3].

Salah satu dari banyak manfaat TEC adalah getarannya yang rendah, kemudahan mengontrol suhu, ukuran yang relatif kecil, membutuhkan perawatan yang sedikit, dan pemanfaatan prinsip perbedaan panas dengan arus DC untuk memungkinkan komponen berfungsi sebagai pendingin [4].

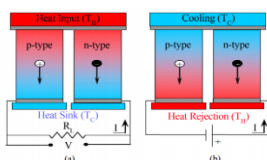
2. Dasar Teori

Modul termoelektrik merupakan rangkaian terintegrasi dan berbentuk padat, dengan bahan semikonduktor tipe P dan tipe N pada rangkaian termoelektrik. Modul ini dapat digunakan sebagai pendingin atau pembangkit daya listrik [5].

Daya keluaran yang besar dapat dihasilkan dari modul termoelektrik yang sudah tersusun sedemikian rupa. Hubungan antara setiap modul termoelektrik ini menjadi penting terhadap kinerja sistem termoelektrik [6].

Energi yang dihasilkan oleh perbedaan temperatur ketika arus listrik mengalir dapat dikonversi oleh modul termoelektrik. Efek Peltier adalah nama yang diberikan untuk fenomena ini [7].

Suatu efek yang terjadi ketika dua logam memiliki perbedaan temperatur di kedua ujungnya, yang menghasilkan rangkaian yang di aliri oleh arus listrik. Akibatnya, arus listrik akan terus mengalir di kedua ujung kedua bahan yang berbeda sehingga terjadi perbedaan temperatur atau temperatur yang mengubahnya menjadi tegangan listrik. Semakin tinggi koefisien Seebeck, maka perbedaan kemampuan yang terbentuk juga akan semakin besar [8]. Peristiwa efek Seebeck diperlihatkan di Gambar 1 berikut ini [9].

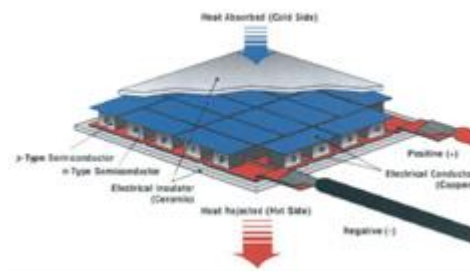


Gambar1 Peristiwa efek Seebeck dan efek Peltier

Perbedaan tegangan yang dihasilkan pada setiap perbedaan temperatur dan nilai koefisien Seebeck, dan oleh karena itu koefisien Seebeck sangat sensitif terhadap perbedaan temperatur [10].

Fenomena efek Peltier merupakan kebalikan dari efek Seebeck, terjadi ketika listrik diberikan kepada dua jenis material logam yang berbeda yang telah diatur dalam suatu rangkaian. Arus yang mengalir dalam rangkaian dapat sebanding dengan jumlah listrik yang ada dalam rangkaian kedua logam [11].

Panas efek Peltier harus ditambahkan atau diturunkan di persimpangan untuk mempertahankan temperatur karena efek Peltier terjadi ketika arus mengalir di antara persimpangan antara dua kabel yang berbeda. Akibatnya, panas sebanding dengan aliran arus dan akan berubah tanda ketika arus dibalik. Hal ini menunjukkan bahwa Peltier dapat beralih antara menggunakan listrik dan panas untuk pemanasan atau pendinginan dengan begitu pemanasan atau pendinginan akan menghasilkan listrik yang kemudian akan menciptakan pemanasan atau pendinginan tanpa membuang energi yang didapat [12]. Fenomena skema efek Peltier dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini [13].



Gambar 2 Skema aliran Peltier

Seperti yang diperlihatkan pada skema aliran Peltier, bahwa pada aliran Peltier sisi dingin terjadi penyerapan kalor dari lingkungan, dan pada aliran Peltier sisi panas terjadi kalor yang di lepas, sehingga terjadilah yang disebut sebagai fenomena efek Peltier [13].

Fenomena ini menggambarkan konduktor pembawa arus yang memiliki temperatur yang berbeda di dua lokasi dalam penyerapan atau pengeluaran panas di dalam konduktor. Proses pendinginan akan berlangsung lebih lama jika bahan yang digunakan memiliki konduktivitas yang rendah, hal ini akan berdampak pada penggunaan konsumsi listrik yang besar selama proses pendinginan [14].

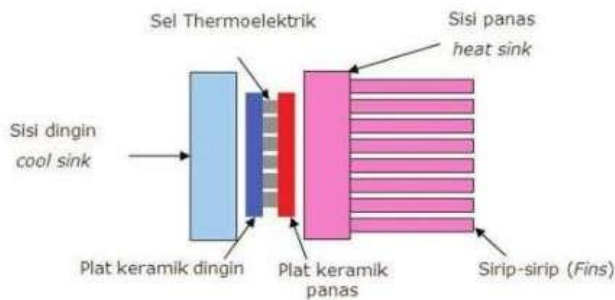
Saat arus mengalir dalam kawat dengan gradien temperatur, panas diserap ketika melintasi kawat, tergantung pada material dan arah aliran arus yang dikenal sebagai efek Thomson [12].

Efek Joule yang sesuai dengan hukum Ohm, terjadi ketika panas dipindahkan dari kedua sisi pendingin ke sisi luarnya. Hal ini menyebabkan arus listrik mengalir melalui rangkaian [10].

Efek Joule adalah secara umumnya pada jenis material yang digunakan terdapat resistansi elektrik pada saat penggunaan dalam pendingin termoelektriknya [15].

Pendingin termoelektrik atau *thermoelectric cooler* (TEC) adalah salah satu jenis termoelektrik yang menggunakan rangkaian semikonduktor dengan menggunakan efek Peltier pada mekanisme pendinginannya [16].

Material termoelektrik yang terdapat adanya efek Peltier dengan arus listrik yang melewati dua semikonduktor yang berbeda, arus tersebut akan mengubah energi listrik menjadi gradien temperatur yang mampu memberikan efek pendinginan atau pemanasan, yang dikenal sebagai prinsip pendinginan termoelektrik [17]. Susunan dasar pada sistem pendingin termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini [18].



Gambar 3 Susunan dasar sistem pendingin termoelektrik

Pada pendingin termoelektrik terdapat susunan rangkaian elemen peltier yang terletak di antara sisi panas *heatsink* dan sisi dingin *coolsink*. Peletakan sisi panas *heatsink* dilekatkan pada plat keramik panas elemen peltier yang dapat menciptakan pembuangan kalor ke lingkungan dan sisi dingin *coolsink* dilekatkan pada plat keramik dingin elemen peltier sebagai penukar kalor sehingga terjadi penyerapan kalor dari lingkungan yang menyebabkan terjadinya pendinginan [18].

Koefisien kinerja (CoP) merupakan perbandingan antara panas yang diserap pada sisi dingin (q_c) terhadap daya listrik yang diberikan (P_{in}) pada penggunaan pendingin termoelektrik untuk mengetahui besaran koefisien kinerja modul

termoelektrik [19]. Nilai koefisien kinerja (CoP) pada penggunaan pendingin termoelektrik dapat diketahui dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini:

Untuk dapat mengetahui serta menentukan daya listrik yang dialirkan ke termoelektrik dapat menggunakan persamaan berikut ini [19]:

$$P_{in} = VxI_{total} \quad (1)$$

Untuk menghitung tahanan dari *couple* modul termoelektrik (R) dengan menggunakan persamaan berikut [20]:

$$R = 2 \left(\rho \frac{L}{A} + \frac{2r}{A} \right) \quad (2)$$

Untuk menghitung konduktansi termal *couple* (K) pada elemen termoelektrik dengan menggunakan persamaan berikut [20]:

$$K = 2k \frac{A}{L} \quad (3)$$

Figure of merit adalah suatu besaran yang mampu menggambarkan kinerja sistem atau metode dari material termoelektrik serta memiliki nilai yang bergantung dengan kebutuhan material termoelektrik dengan temperatur pada material tersebut [21]. Untuk menghitung *figure of merit* (Z) digunakan persamaan [20]:

$$Z = \frac{4\alpha^2}{K.R} \quad (4)$$

Untuk menghitung arus optimum (I_{opt}) yang masuk pada modul termoelektrik dengan menggunakan persamaan dibawah [20]:

$$T_m = \frac{T_h + T_c}{2} \quad (5)$$

$$I_{opt} = \frac{2\alpha(T_h - T_c)}{R(\sqrt{1 + Z.T_m} - 1)} \quad (6)$$

Untuk menghitung panas yang diserap pada sisi dingin modul termoelektrik dengan menggunakan persamaan berikut [20]:

$$q_c = N \left[2 \cdot \alpha \cdot I_{opt} \cdot T_c - \frac{I_{opt}^2 R}{2} - K \cdot \Delta T \right] \quad (7)$$

Untuk menghitung panas yang dilepas pada sisi panas modul termoelektrik dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$q_h = \alpha \cdot T_h \cdot I_{opt} + \frac{1}{2} \cdot I_{opt}^2 \cdot R - K \cdot \Delta T \quad (8)$$

Untuk mencari performansi termoelektrik atau CoP sebagai sistem pendinginan dengan menggunakan persamaan berikut [16]:

$$COP = \frac{q_c}{P_{in}} \tag{9}$$

3. Metodologi Penelitian

Modul termoelektrik TEC 1-12706 adalah modul termoelektrik yang digunakan pada penelitian ini. Berikut ini adalah Spesifikasi dari modul termoelektrik TEC 1-12706 [20]:

Tabel 1 Spesifikasi modul termoelektrik TEC1-12706

Judul Spesifikasi TEC 1-12706	Keterangan
Ukuran	40mm x 40mm x 3,8mm
Hambatan dalam	1,98 ohm ± 10%
Imax	6,4 A
Vmax	16,4 V
Qmax	57 W
ΔT_{max}	75°C
Kompresi maksimum	1 Mpa
Jumlah elemen/couple	127 couple
Panjang tiap elemen	1 cm
Diameter tiap elemen	0,5 cm
Temperatur sisi panas	50°C = 323 K
Temperatur sisi dingin	20°C = 293 K
Koefisien Seebeck	0,0002 V/K
Koefisien termal dari couple	0,015 W/cm.K
Tahanan listrik	0,001095 Ω.cm
Hubungan tahanan listrik	0,0001 Ω.cm ²

Modul termoelektrik TEG SP 1848 adalah modul termoelektrik yang digunakan pada penelitian ini. Berikut ini adalah Spesifikasi dari modul termoelektrik TEG SP 1848 [22]:

Tabel 2 Spesifikasi modul termoelektrik TEG SP 1848

Judul Spesifikasi TEG SP 1848	Keterangan
Ukuran	40mm x 40mm x 3,4mm
Hamabatan dalam	2,35 ohm
Imax	7 A
Vmax	15,4 V
Qmax	62,2 W
ΔT_{max}	69°C
Kompresi maksimum	1 Mpa
Jumlah elemen/couple	127 couple
Panjang tiap elemen	1 cm
Diameter tiap elemen	0,5 cm
Temperatur sisi panas	180°C
Temperatur sisi dingin	-50°C
Koefisien Seebeck	0,0002 V/K
Koefisien termal dari couple	0,015 W/cm.K
Tahanan listrik	0,001095 Ω.cm
Hubungan tahanan listrik	0,0001 Ω.cm ²

Desain penelitian digambarkan pada gambar berikut.



Gambar 4 Desain alat simulasi penelitian

Gambar di atas adalah alat penelitian yang berbentuk persegi panjang 47 cm x 31 cm x 29 cm dengan menggunakan bahan styrofoam. Pada alat penelitian tersebut terdapat masing-masing modul termoelektrik TEC dan TEG, heat sink sisi panas 39,5 cm x 12 cm x 3,5 cm, sisi dingin 6 cm x 6 cm, Dua kipas pembuang panas, serta terdapat power supply, step down, dan watt meter sebagai penyuplai serta pengatur input tegangan listrik dan arus listrik.

Metode yang dilakukan yaitu eksperimental. Data primer pada penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran pada tegangan listrik, arus listrik, temperatur lingkungan, temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, temperatur ruang pendingin yang dihasilkan.

Pengumpulan data pada modul termoelektrik TEC 1-12706 dan TEG SP 1848 disusun secara paralel, dengan mengukur data masukan seperti temperatur lingkungan, tegangan listrik, dan arus listrik. Lalu mengukur data luaran seperti temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan temperatur ruang pendingin, dengan menggunakan termometer digital, step down dan watt meter. Pengumpulan data dilakukan sampai mendapatkan temperatur yang relatif konstan pada temperatur sisi dingin dan temperatur sisi panas pada setiap variasi tegangan listrik dan arus listrik. Variabel penelitian ditentukan dengan memvariasikan tegangan listrik 8 V, 9 V, 10 V dengan arus listrik yang dijaga konstan, dan pada variasi arus listrik 8 A, 9 A, 10 A dengan tegangan listrik yang dipertahankan konstan pada kedua jenis modul termoelektrik tersebut.

Data mentah yang didapat dari pengukuran data, kemudian dilakukan pengolahan data untuk lebih lanjutnya, sehingga mendapatkan data baru yang tersaji serta memberikan informasi. Teknik pengolahan data pada penelitian eksperimental ini menggunakan persamaan yang ada di teori dan disajikan dalam bentuk tabulasi (tabel) dan grafik.

4. Hasil DAN Pembahasan

4.1 Temuan Hasil Penelitian

Setelah penelitian dilakukan yang menggunakan variasi tegangan listrik dan arus listrik didapatkan data-data. Masing-masing modul ditempatkan ke dalam *box Styrofoam*, seperti diperlihatkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5 Alat pendingin termoelektrik TEG SP 1848 & TEC 1-12706

Gambar 5 yaitu alat pendingin termoelektrik TEG SP 1848 & TEC 1-12706 dengan menggunakan rangkaian paralel pada susunan modul termoelektrik. Adapun data-data yang diukur dalam penelitian ini adalah temperatur lingkungan, tegangan listrik, arus listrik, temperatur sisi panas termoelektrik, temperatur sisi dingin termoelektrik, dan temperatur ruang pendingin.

4.1.1 Hasil pengukuran parameter TEC 1-12706 dengan variasi tegangan listrik

Parameter pada pendingin termoelektrik terdiri dari parameter masukan dan parameter luaran. Parameter masukannya adalah tegangan listrik dan arus listrik. Parameter luarannya adalah temperatur sisi panas, temperatur sisi dingin, dan ruang pendingin. Semua parameter di atas diukur dengan alat ukur masing-masing untuk modul TEC 1-12706 dengan variasi tegangan listrik. Hasil pengukurannya ditampilkan dalam bentuk data yang disusun pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Hasil pengukuran parameter TEC 1-12706 variasi tegangan listrik

PENDINGIN TERMOELEKTRIK TEC 1-12706 VARIASI TEGANGAN LISTRIK [V]																
No.	DATA MASUKAN			DATA LUARAN												
	T _l [°C]	V (volt)	I [A]	T _{sp} [°C]				T _{sd} [°C]				ΔT _{TE} [°C]			T _{rp} [°C]	
				T _{sp} A	T _{sp} B	T _{sp} C	T _{sp} D	T _{sd} A	T _{sd} B	T _{sd} C	T _{sd} D	ΔT _{TE} A	ΔT _{TE} B	ΔT _{TE} C		ΔT _{TE} D
1	30,3	8,02	9,50	35,7	36,5	34,9	34,6	7,5	8,9	7,6	7,9	28,2	27,6	27,3	26,7	23,3
2	30,6	9,02	11,03	37,7	36,9	36,3	36,1	6,8	8,7	6,7	7,6	30,9	28,2	29,6	28,5	23,7
3	31,1	10,02	12,14	41,9	39,9	39,1	38,8	9,4	9,0	5,9	8,4	32,5	30,9	33,2	30,4	25,6
Maksimum	31,1	10,02	12,14	41,9	39,9	39,1	38,8	9,4	9,0	7,6	8,4	32,5	30,9	33,2	30,4	25,6
Minimum	30,3	8,02	9,50	35,7	36,5	34,9	34,6	6,8	8,7	5,9	7,6	28,2	27,6	27,3	26,7	23,3
Rata-rata	30,67	9,02	10,89	38,4	37,8	36,8	36,5	7,9	8,9	6,7	8,0	30,5	28,9	30,0	28,5	24,2

Pada Tabel 3 didapatkan arus listrik pada termoelektrik maksimum 12,14 A dan minimum 9,50 A. Temperatur sisi panas termoelektrik maksimum 41,9°C dan minimum 34,6°C. Temperatur sisi dingin termoelektrik maksimum 9,4°C dan minimum 5,9°C. Perubahan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin maksimum 33,2°C dan minimum 26,7°C. Temperatur ruang pendingin maksimum 25,6°C dan minimum 23,3°C. Temperatur lingkungan maksimum 31,1°C dan minimum 30,3°C dengan menggunakan variasi tegangan listrik 8 V, 9 V, 10 V.

4.1.2 Hasil pengukuran parameter TEC 1-12706 variasi arus listrik

Semua parameter masukan dan luaran diukur dengan alat ukur masing-masing untuk modul TEC 1-12706 dengan variasi arus listrik. Hasil pengukurannya diperlihatkan dalam bentuk data yang disusun pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Hasil pengukuran parameter TEC 1-12706 variasi arus listrik

PENDINGIN TERMOELEKTRIK TEC 1-12706 VARIASI ARUS LISTRIK [A]																
No.	DATA MASUKAN			DATA LUARAN												
	T _l [°C]	V (volt)	I [A]	T _{sp} [°C]				T _{sd} [°C]				ΔT _{TE} [°C]			T _{rp} [°C]	
				T _{sp} A	T _{sp} B	T _{sp} C	T _{sp} D	T _{sd} A	T _{sd} B	T _{sd} C	T _{sd} D	ΔT _{TE} A	ΔT _{TE} B	ΔT _{TE} C		ΔT _{TE} D
1	31,3	6,64	8,02	36,8	39,0	36,7	36,3	12,5	12,1	10,3	12,7	24,3	26,9	26,4	23,6	27,6
2	32,1	7,58	9,02	38,3	41,0	38,1	37,8	11,1	10,7	8,7	11,2	27,2	30,3	29,4	26,6	27,5
3	32,5	8,60	10,02	40,1	42,6	39,1	38,8	10,5	9,3	8,0	10,5	29,6	33,3	31,1	28,3	27,6
Maksimum	32,5	8,60	10,02	40,1	42,6	39,1	38,8	12,5	12,1	10,3	12,7	29,6	33,3	31,1	28,3	27,6
Minimum	31,3	6,64	8,02	36,8	39,0	36,7	36,3	10,5	9,3	8,0	10,5	24,3	26,9	26,4	23,6	27,5
Rata-rata	32,0	7,6	9,0	38,4	40,9	38,0	37,6	11,4	10,7	9,0	11,5	27,0	30,2	29,0	26,2	27,6

Pada Tabel 4 didapatkan tegangan listrik termoelektrik maksimum 8,60 V dan minimum 6,64 V. Temperatur sisi panas termoelektrik maksimum 42,6°C dan minimum 36,3°C. Temperatur sisi dingin termoelektrik maksimum 12,7°C dan minimum 8,0°C. Perubahan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin maksimum 33,3°C dan minimum 23,6°C. Temperatur ruang pendingin maksimum 27,6°C dan minimum 27,5°C. Temperatur lingkungan maksimum 32,5°C dan minimum 31,3°C dengan menggunakan variasi arus listrik 8 A, 9 A, 10 A.

4.1.3 Hasil pengukuran parameter TEG SP 1848 dengan variasi tegangan listrik

Semua parameter masukan dan luaran diukur dengan alat ukur masing-masing untuk modul TEG SP 1848 dengan variasi tegangan listrik. Hasil

pengukurannya diperlihatkan dalam bentuk data yang disusun pada Tabel 5 di bawah ini.

PENDINGIN TERMOELEKTRIK TEG SP 1848 VARIASI ARUS LISTRIK [A]																
No.	DATA MASUKAN			DATA LUARAN												
	T ₁ [°C]	V [volt]	I [A]	T _{sp} [°C]				T _{so} [°C]				ΔT _{TE} [°C]				T _{sp} [°C]
				T _{sp A}	T _{sp B}	T _{sp C}	T _{sp D}	T _{so A}	T _{so B}	T _{so C}	T _{so D}	ΔT _{TE A}	ΔT _{TE B}	ΔT _{TE C}	ΔT _{TE D}	
1	31,3	9,93	8,02	39,2	37,2	36,8	38,3	14,2	13,2	11,9	12,1	25	24	24,9	26,2	28,1
2	32,1	11,08	9,02	40,5	37,9	37,8	39,8	13,7	11,3	11,1	11,4	26,8	26,6	26,7	26,4	27,8
3	32,5	12,27	10,02	41,6	38,9	38,8	41,5	13,1	11,6	11,3	11,9	28,5	27,3	27,5	29,6	27,9
Maksimum	32,5	12,27	10,02	41,6	38,9	38,8	41,5	14,2	13,2	11,9	12,1	28,5	27,3	27,5	29,6	28,1
Minimum	31,3	9,93	8,02	39,2	37,2	36,8	38,3	13,1	11,3	11,1	11,4	25	24	24,9	26,2	27,8
Rata-rata	32,0	11,1	9,0	40,4	38,0	37,8	39,9	13,7	12,0	11,4	11,8	26,8	26,0	26,4	28,1	27,9

Tabel 5 Hasil pengukuran parameter TEG SP 1848 variasi tegangan listrik

PENDINGIN TERMOELEKTRIK TEG SP 1848 VARIASI TEGANGAN LISTRIK [V]																
No.	DATA MASUKAN			DATA LUARAN												
	T ₁ [°C]	V [volt]	I [A]	T _{sp} [°C]				T _{so} [°C]				ΔT _{TE} [°C]				T _{sp} [°C]
				T _{sp A}	T _{sp B}	T _{sp C}	T _{sp D}	T _{so A}	T _{so B}	T _{so C}	T _{so D}	ΔT _{TE A}	ΔT _{TE B}	ΔT _{TE C}	ΔT _{TE D}	
1	30,3	8,02	6,59	34,7	34,5	33,3	34,1	11,0	9,5	10,9	10,9	22,7	25	22,4	23,2	25,4
2	30,6	9,02	7,06	36,3	35,8	34,8	35,8	10,8	8,8	9,9	10,5	25,5	27	24,9	25,3	25,6
3	31,1	10,02	8,45	38,1	38,3	37,0	38,4	11,5	8,9	10,3	11,2	27,6	31	26,7	27,2	26,3
Maksimum	31,1	10,02	8,45	38,1	38,3	37,0	38,4	11,0	9,5	10,9	11,2	27,6	31	26,7	27,2	26,3
Minimum	30,3	8,02	6,59	34,7	34,5	33,3	34,1	10,8	8,8	9,9	10,5	22,7	25	22,4	23,2	25,4
Rata-rata	30,7	9,0	7,6	36,7	36,5	35,0	36,1	11,4	8,9	10,4	10,9	25,3	27,7	24,7	25,2	25,8

Pada Tabel 5 didapatkan arus listrik termoelektrik maksimum 8,45 A dan minimum 6,59 A. Temperatur sisi panas termoelektrik maksimum 39,3°C dan minimum 33,3°C. Temperatur sisi dingin termoelektrik maksimum 12,0°C dan minimum 8,3°C. Perubahan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin maksimum 31°C dan minimum 22,4°C. Temperatur ruang pendingin maksimum 26,3°C dan minimum 25,4°C. Temperatur lingkungan maksimum 31,1°C dan minimum 30,3°C dengan menggunakan variasi tegangan listrik 8 V, 9 V, 10 V.

4.1.4 Hasil pengukuran parameter TEG SP 1848 dengan variasi arus listrik

Semua parameter masukan dan luaran diukur dengan alat ukur masing-masing untuk modul TEG SP 1848 dengan variasi arus listrik. Hasil

pengukurannya diperlihatkan dalam bentuk data yang disusun pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6 Hasil pengukuran parameter TEG SP 1848 variasi arus listrik

Pada Tabel 6 didapatkan tegangan listrik termoelektrik maksimum 12,27 V dan minimum 9,93 V. Temperatur sisi panas termoelektrik maksimum 41,6°C dan minimum 36,8°C. Temperatur sisi dingin termoelektrik maksimum 14,2°C dan minimum 11,1°C. Perubahan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin maksimum 29,6°C dan minimum 24°C. Temperatur ruang pendingin maksimum 28,1°C dan minimum 27,8°C. Temperatur lingkungan maksimum 32,5°C dan minimum 31,3°C dengan menggunakan variasi arus listrik 8 A, 9 A, 10 A.

4.2 Pembahasan

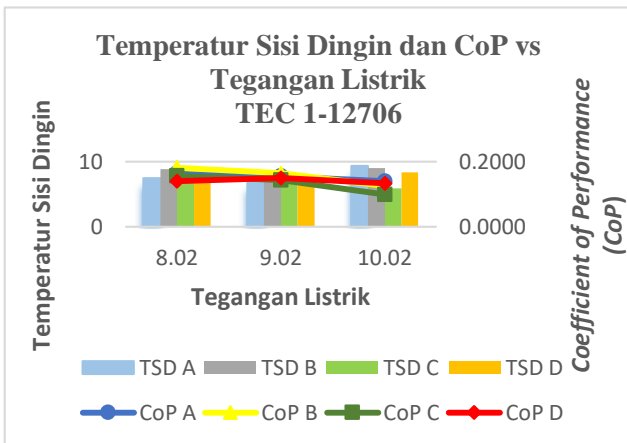
Dari pengumpulan data yang didapat mengenai pendingin termoelektrik diperoleh dengan pengukuran parameter dari modul TEC 1-12706 dan TEG SP 1848. Hasil pengukuran diolah dengan menggunakan persamaan-persamaan dalam teori, sehingga didapatkan CoP dari kedua jenis modul yang digunakan tersebut. Hasil yang tampak pada tabel diperoleh dari perhitungan untuk mendapatkan nilai CoP yang dihasilkan dari menghitung daya listrik yang disuplai dengan menggunakan persamaan (1). Untuk menghitung tahanan dan konduktivitas termal dari couple elemen termoelektrik diperoleh dari persamaan (2) dan (3). Untuk menghitung figure of merit pada termoelektrik dengan menggunakan persamaan (4). Untuk menghitung nilai I_{optimum} terlebih dahulu ditentukan nilai T_m dengan menggunakan persamaan (5), sehingga dapat dihitung I_{optimum} dengan menggunakan persamaan (6). Untuk menghitung panas yang diserap pada sisi dingin modul termoelektrik digunakan persamaan (7), dan untuk menghitung panas yang dilepas pada sisi panas modul termoelektrik digunakan persamaan (8). Nilai CoP dihitung dengan menggunakan persamaan (9).

4.2.1 Koefisien kinerja (CoP) modul TEC 1-12706 variasi tegangan listrik

Data modul TEC 1-12706 dengan variasi tegangan listrik diolah untuk dihitung koefisien kinerjanya. Hasil pengolahan datanya diperlihatkan pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7 Hasil perhitungan koefisien kinerja TEC 1-12706 variasi tegangan listrik

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Tabel 7 diperoleh koefisien kinerja (CoP) modul TEC 1-12706 dengan variasi tegangan listrik menampilkan penyerapan kalor tertinggi terjadi pada termoelektrik B dengan variasi tegangan listrik 8,02 V, daya input 262,013 watt menghasilkan kalor yang diserap pada sisi dingin sebesar 47,713 watt, kalor yang dilepas pada sisi panas sebesar 0,035 watt maka diperoleh nilai CoP sebesar 0,1821. Koefisien pendingin termoelektrik dan arus listrik yang digunakan sangat dapat menentukan jumlah kalor yang diserap di sisi dingin dan dibuang pada sisi panas [23]. Adanya perbedaan fenomena laju serapan dan pelepasan kalor yang terjadi, maka apabila aliran pada temperatur pendingin yang semakin besar dapat mempengaruhi nilai CoP sehingga menjadi menurun [24]. Berdasarkan hasil pengolahan data pada modul termoelektrik TEC 1-12706 variasi tegangan listrik maka dibuat Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6 Grafik CoP TEC 1-12706 variasi tegangan listrik

Pada Gambar 6 menunjukkan koefisien kinerja (CoP) pada modul termoelektrik TEC 1-12706 variasi tegangan listrik dengan nilai tertinggi di peroleh pada termoelektrik B variasi tegangan listrik 8,02 V dengan nilai CoP yang didapat sebesar 0,1821. Untuk mengetahui kualitas dan kinerja pada elemen termoelektrik pada saat proses pendinginan, dengan mengetahui perbedaan temperatur maksimum yang didapat pada elemen termoelektrik. Agar mendapatkan temperatur sisi dingin yang diinginkan maka perlu dilakukan menjaga serta mengatur temperatur sisi panasnya, untuk nilai CoP tertinggi didapatkan pada perbedaan temperatur (ΔT) yang rendah dan nilai CoP tersebut akan menurun dengan semakin meningkatnya perbedaan temperatur (ΔT) [25]. Apabila semakin besar perbedaan temperatur

(ΔT) antara sisi panas termoelektrik dan sisi dingin termoelektrik, maka semakin menurun nilai CoP yang

No.	DATA MASUKAN			DATA LUARAN												
	T_c [°C]	V (volt)	I (A)	T_{sp} [°C]				T_{so} [°C]				ΔT_{TE} [°C]				T_{ref} [°C]
				Tsp A	Tsp B	Tsp C	Tsp D	Tso A	Tso B	Tso C	Tso D	ΔT_{TE} A	ΔT_{TE} B	ΔT_{TE} C	ΔT_{TE} D	
1	30,3	8,02	6,59	34,7	34,5	33,3	34,1	12,0	9,5	10,9	10,9	22,7	25	22,4	23,2	25,4
2	30,6	9,02	7,66	36,3	35,0	34,8	35,8	10,8	8,8	9,9	10,5	25,5	27	24,9	25,3	25,6
3	31,1	10,02	8,45	39,1	39,3	37,0	38,4	11,5	8,3	10,3	11,2	27,6	31	26,7	27,2	26,3
Maksimum	31,1	10,02	8,45	39,1	39,3	37,0	38,4	12,0	9,5	10,9	11,2	27,6	31	26,7	27,2	26,3
Minimum	30,3	8,02	6,59	34,7	34,5	33,3	34,1	10,8	8,3	9,9	10,5	22,7	25	22,4	23,2	25,4
Rata-rata	30,7	9,0	7,6	36,7	36,5	35,0	36,1	11,4	8,9	10,4	10,9	25,3	27,7	24,7	25,2	25,8

diperoleh [26].

4.2.2 Koefisien kinerja (CoP) modul TEC 1-12706 variasi arus listrik

Data modul TEC 1-12706 dengan variasi arus listrik diolah untuk dihitung koefisien kinerjanya. Hasil pengolahan datanya diperlihatkan pada Tabel 8 di bawah ini.

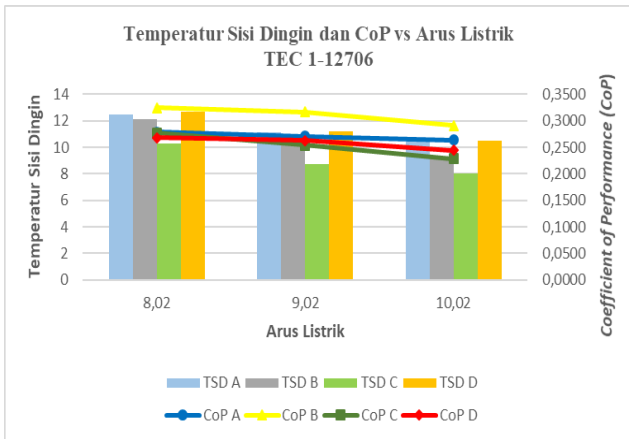
Tabel 8 Hasil perhitungan koefisien kinerja TEC 1-12706 variasi arus listrik

No.	P_{in} (watt)	i_{opt} (A)				q_c (watt)				q_h (watt)				Koefisien Kinerja (CoP)			
		i_{opt} A	i_{opt} B	i_{opt} C	i_{opt} D	q_c A	q_c B	q_c C	q_c D	q_h A	q_h B	q_h C	q_h D	CoP A	CoP B	CoP C	CoP D
1.	179,678	3,270	3,555	3,638	3,185	50,139	58,343	49,796	48,209	0,048	0,047	0,041	0,048	0,2790	0,3247	0,2771	0,2683
2.	205,114	3,657	3,982	4,060	3,590	55,613	64,897	52,057	53,886	0,043	0,041	0,033	0,044	0,2711	0,3163	0,2537	0,2627
3.	232,716	3,932	4,368	4,282	3,808	61,442	67,741	53,251	56,921	0,040	0,033	0,028	0,041	0,2640	0,2910	0,2288	0,2445
Maksimum	232,716	3,932	4,368	4,282	3,808	61,442	67,741	53,251	56,921	0,040	0,047	0,041	0,048	0,2790	0,3247	0,2771	0,2683
Minimum	179,678	3,270	3,555	3,638	3,185	50,139	58,343	49,796	48,209	0,040	0,033	0,028	0,041	0,2640	0,2910	0,2288	0,2445
Rata-rata	205,836	3,620	3,968	3,993	3,528	55,731	63,660	51,701	53,005	0,044	0,040	0,034	0,044	0,2707	0,3092	0,2511	0,2575

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Tabel 8 diperoleh koefisien kinerja (CoP) modul TEC 1-12706 dengan variasi arus listrik menampilkan penyerapan kalor tertinggi terjadi pada termoelektrik B dengan variasi arus listrik 8,02 A, daya input 179,678 watt menghasilkan kalor yang diserap pada sisi dingin sebesar 58,343 watt, kalor yang dilepas pada sisi panas sebesar 0,047 watt maka diperoleh nilai CoP sebesar 0,3247. Koefisien pendingin termoelektrik dan arus listrik yang digunakan sangat dapat menentukan jumlah kalor yang diserap di sisi dingin dan dibuang pada sisi panas [23]. Adanya

KOEFSIEN KINERJA TEG SP 1848 VARIASI TEGANGAN LISTRIK (V)																	
No.	Pin (watt)	Iopt (A)				qc (watt)				qh (watt)				Koefisien Kinerja (CoP)			
		Iopt A	Iopt B	Iopt C	Iopt D	qc A	qc B	qc C	qc D	qh A	qh B	qh C	qh D	CoP A	CoP B	CoP C	CoP D
1.	182,054	3,139	3,561	3,184	3,268	43,180	42,557	39,217	41,681	0,046	0,038	0,043	0,043	0,2371	0,2337	0,2154	0,2289
2.	204,754	3,511	3,820	3,519	3,513	48,717	45,567	43,675	47,002	0,043	0,035	0,040	0,042	0,2369	0,2225	0,2133	0,2295
3.	227,454	3,666	4,246	3,668	3,649	58,623	54,660	50,761	55,994	0,045	0,030	0,041	0,044	0,2357	0,2203	0,2131	0,2261
Maksimum	227,454	3,666	4,246	3,668	3,649	58,623	54,660	50,761	55,994	0,046	0,038	0,043	0,044	0,2371	0,2337	0,2154	0,2295
Minimum	182,054	3,139	3,561	3,184	3,268	43,180	42,557	39,217	41,681	0,043	0,030	0,040	0,042	0,2357	0,2203	0,2131	0,2261
Rata-rata	204,754	3,439	3,876	3,457	3,477	50,173	47,595	44,551	48,226	0,045	0,034	0,041	0,043	0,2450	0,2324	0,2175	0,2355

perbedaan fenomena laju serapan dan pelepasan kalor yang terjadi, maka apabila aliran pada temperatur pendingin yang semakin besar dapat mempengaruhi nilai CoP sehingga menjadi menurun [24]. Berdasarkan hasil pengolahan data pada modul termoelektrik TEC 1-12706 variasi arus listrik maka dibuat Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7 CoP TEC 1-12706 variasi arus listrik

Pada Gambar 7 menunjukkan koefisien kinerja (CoP) pada modul termoelektrik TEC 1-12706 variasi arus listrik dengan nilai tertinggi di peroleh pada termoelektrik B variasi arus listrik 8,02 V dengan nilai CoP yang didapat sebesar 0,3247. Untuk mengetahui kualitas dan kinerja pada elemen termoelektrik pada saat proses pendinginan, dengan mengetahui perbedaan temperatur maksimum yang didapat pada elemen termoelektrik. Agar mendapatkan temperatur sisi dingin yang diinginkan maka perlu dilakukan menjaga serta mengatur temperatur sisi panasnya, untuk nilai CoP tertinggi didapatkan pada perbedaan temperatur (ΔT) yang rendah dan nilai CoP tersebut akan menurun dengan semakin meningkatnya perbedaan temperatur (ΔT) [25]. Apabila semakin besar perbedaan temperatur (ΔT) antara sisi panas termoelektrik dan sisi dingin termoelektrik, maka semakin menurun nilai CoP yang diperoleh [26].

4.2.3 Koefisien kinerja (CoP) modul TEG SP 1848 variasi tegangan listrik

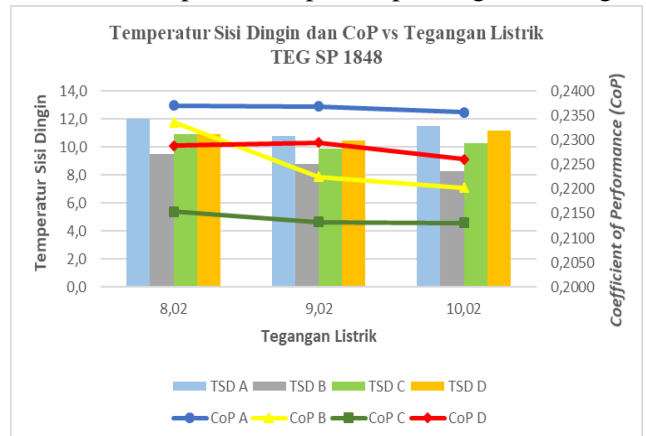
Data modul TEG SP 1848 dengan variasi tegangan listrik diolah untuk dihitung koefisien kinerjanya. Hasil pengolahan datanya diperlihatkan pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9 Hasil perhitungan koefisien kinerja TEG SP 1848 variasi tegangan listrik

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Tabel 9 diperoleh koefisien kinerja (CoP) modul TEG SP 1848 dengan variasi tegangan listrik menampilkan penyerapan kalor tertinggi terjadi pada termoelektrik A dengan variasi tegangan listrik 8,02 V, daya input 182,054 watt menghasilkan kalor yang diserap pada sisi dingin sebesar 43,180 watt, kalor yang dilepas pada sisi panas sebesar 0,046 watt maka diperoleh nilai CoP sebesar 0,2371. Koefisien pendingin termoelektrik dan arus listrik yang digunakan sangat dapat menentukan jumlah kalor yang diserap di sisi dingin dan dibuang pada sisi panas [23]. Adanya perbedaan fenomena laju serapan dan pelepasan kalor yang terjadi, maka apabila aliran pada temperatur pendingin yang semakin besar dapat mempengaruhi nilai CoP sehingga menjadi menurun [24]. Berdasarkan hasil pengolahan data pada modul termoelektrik TEG SP 1848 variasi tegangan listrik maka dibuat Gambar 8 di bawah ini.

Gambar 8 CoP TEG SP 1848 variasi tegangan listrik

Pada Gambar 8 menunjukkan koefisien kinerja (CoP) pada modul termoelektrik TEG SP 1848 variasi tegangan listrik dengan nilai tertinggi di peroleh pada termoelektrik A variasi tegangan listrik 8,02 V dengan nilai CoP yang didapat sebesar 0,2371. Untuk mengetahui kualitas dan kinerja pada elemen termoelektrik pada saat proses pendinginan, dengan



mengetahui perbedaan temperatur maksimum yang didapat pada elemen termoelektrik. Agar

mendapatkan temperatur sisi dingin yang diinginkan maka perlu dilakukan menjaga serta mengatur temperatur sisi panasnya, untuk nilai CoP tertinggi didapatkan pada perbedaan temperatur (ΔT) yang rendah dan nilai CoP tersebut akan menurun dengan semakin meningkatnya perbedaan temperatur (ΔT) [25]. Apabila semakin besar perbedaan temperatur (ΔT) antara sisi panas termoelektrik dan sisi dingin termoelektrik, maka semakin menurun nilai CoP yang diperoleh [26].

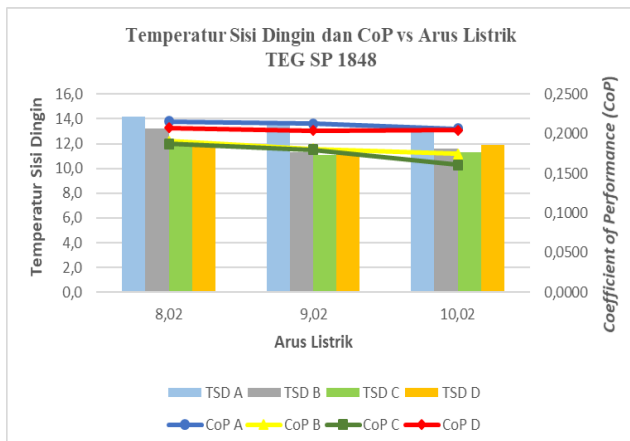
4.2.4 Koefisien kinerja (CoP) modul TEG SP 1848 variasi arus listrik

Data modul TEG SP 1848 dengan variasi arus listrik diolah untuk dihitung koefisien kinerjanya. Hasil pengolahan datanya diperlihatkan pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10 Hasil perhitungan koefisien kinerja TEG SP 1848 variasi arus listrik

KOEFSIEN KINERJA TEG SP 1848 VARIASI ARUS LISTRIK (A)																	
No.	Pin (watt)	Iopt (A)				qc (watt)				qh (watt)				Koefisien Kinerja (CoP)			
		Iopt A	Iopt B	Iopt C	Iopt D	qc A	qc B	qc C	qc D	qh A	qh B	qh C	qh D	CoP A	CoP B	CoP C	CoP D
1.	268,705	3,233	3,200	3,371	3,487	57,988	51,206	50,393	55,753	0,052	0,049	0,046	0,047	0,2158	0,1905	0,1875	0,2074
2.	299,824	3,440	3,583	3,608	3,750	63,766	54,267	53,860	61,137	0,051	0,044	0,044	0,044	0,2126	0,1809	0,1796	0,2039
3.	332,026	3,641	3,630	3,671	3,827	68,554	57,924	53,352	67,881	0,050	0,045	0,044	0,045	0,2064	0,1744	0,1606	0,2044
Maksimum	332,026	3,641	3,630	3,671	3,827	68,554	57,924	53,352	67,881	0,052	0,049	0,046	0,047	0,2158	0,1905	0,1875	0,2074
Minimum	268,705	3,233	3,200	3,371	3,487	57,988	51,206	50,393	55,753	0,050	0,044	0,044	0,044	0,2064	0,1744	0,1606	0,2039
Rata-rata	300,185	3,438	3,471	3,550	3,688	63,436	54,466	52,535	61,590	0,051	0,046	0,045	0,045	0,2113	0,1814	0,1750	0,2051

Berdasarkan hasil pengolahan data pada Tabel 10 diperoleh koefisien kinerja (CoP) modul TEG SP 1848 dengan variasi arus listrik menampilkan penyerapan kalor tertinggi terjadi pada termoelektrik



A dengan variasi arus listrik 8,02 A, daya input 268,705 watt menghasilkan kalor yang diserap pada sisi dingin sebesar 57,988 watt, kalor yang dilepas pada sisi panas sebesar 0,052 watt maka diperoleh nilai CoP sebesar 0,2158. Koefisien pendingin termoelektrik dan arus listrik yang digunakan sangat dapat menentukan jumlah kalor yang diserap di sisi dingin dan dibuang pada sisi panas [23]. Adanya perbedaan fenomena laju serapan dan pelepasan kalor yang terjadi, maka apabila aliran pada temperatur pendingin yang semakin besar dapat mempengaruhi nilai CoP sehingga menjadi menurun [24]. Berdasarkan hasil pengolahan data pada modul TEG SP 1848 variasi arus listrik maka dibuat Gambar 9 di bawah ini.

Gambar 9 CoP TEG SP 1848 variasi arus listrik

Pada Gambar 9 menunjukkan koefisien kinerja (CoP) pada modul termoelektrik TEG SP 1848 variasi arus listrik dengan nilai tinggi di peroleh pada termoelektrik A variasi arus listrik 8,02 V dengan nilai CoP yang didapat sebesar 0,2158. Untuk mengetahui kualitas dan kinerja pada elemen termoelektrik pada saat proses pendinginan, dengan mengetahui perbedaan temperatur maksimum yang didapat pada elemen termoelektrik. Agar mendapatkan temperatur sisi dingin yang diinginkan maka perlu dilakukan menjaga serta mengatur temperatur sisi panasnya, untuk nilai CoP tertinggi didapatkan pada perbedaan temperatur (ΔT) yang rendah dan nilai CoP tersebut akan menurun dengan semakin meningkatnya perbedaan temperatur (ΔT) [25]. Apabila semakin besar perbedaan temperatur (ΔT) antara sisi panas termoelektrik dan sisi dingin termoelektrik, maka semakin menurun nilai CoP yang diperoleh [26].

5. SIMPULAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada modul TEC 1-12706 dan TEG SP 1848 sebagai pendingin, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Temperatur sisi dingin dihasilkan dari:
 - a. Modul TEC 1-12706 dengan variasi tegangan listrik mendapatkan temperatur minimum 5,9°C.
 - b. Modul TEC 1-12706 dengan variasi arus listrik mendapatkan temperatur minimum 8,0°C.
 - c. Modul TEG SP 1848 dengan variasi tegangan listrik mendapatkan temperatur minimum 8,3°C.

- d. Modul TEG SP 1848 variasi arus listrik mendapatkan temperatur minimum 11,1°C.
2. Koefisien kinerja (CoP) yang dihasilkan dari:
 - a. Modul TEC 1-12706 dengan variasi tegangan listrik didapatkan nilai CoP tertinggi sebesar 0,1821.
 - b. Modul TEC 1-12706 dengan variasi arus listrik didapatkan nilai CoP tertinggi sebesar 0,3247.
 - c. Modul TEG SP 1848 dengan variasi tegangan listrik didapatkan nilai CoP tertinggi sebesar 0,2371.
 - d. Modul TEG SP 1848 dengan variasi arus listrik didapatkan nilai CoP tertinggi sebesar 0,2158.
3. Penggunaan modul TEC 1-12706 dengan variasi tegangan listrik menghasilkan temperatur sisi dingin paling rendah sebesar 5,9°C. Sementara penggunaan TEC 1-12706 dengan variasi arus listrik menghasilkan CoP paling tinggi sebesar 0,3247.
4. Termoelektrik modul TEC 1-12706 memiliki CoP lebih tinggi dibanding modul TEG SP 1848 ditinjau dari capaian temperatur terendah dan koefisien kinerja (CoP) tertinggi.

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk dapat membanding susunan rangkaian paralel dengan seri pada penggunaan pendingin termoelektrik dengan modul termoelektrik TEC 1-12706 dan TEG SP 1848 variasi tegangan listrik dan arus listrik.

Menambahkan jumlah kipas pada sisi pembuang panas agar lebih optimal dalam pembuangan panas sehingga mendapatkan temperatur sisi dingin yang lebih dingin serta menambahkan jumlah termoelektrik yang digunakan untuk mendapatkan kinerja terbaik pada koefisien kinerja pendingin termoelektrik.

DAFTAR REFERENSI

- [1] H. Ima Maysha, Bambang Trisno, "Pemanfaatan Tenaga Surya Menggunakan Rancangan Panel Surya Berbasis Transistor 2N3055 dan Thermoelectric Cooler," *Electrans*, vol. 12, no. 2, pp. 89–96, 2013.
- [2] J. S. Sumbodo, M. R. Kirom, and P. Pangaribuan, "Efektifitas Pendingin Menggunakan Termoelektrik Pada Panel Surya," *e-Proceeding Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 3895–3902, 2018.
- [3] L. Nulhakim, "Uji Unjuk Kerja Pendingin Ruangan Berbasis Thermoelectric Cooling," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 1, pp. 85–90, 2017, doi: 10.24176/simet.v8i1.829.
- [4] S. S. Wisnu Indrawan, "Sistem Pendingin Menggunakan Thermo-Electric Cooler dengan Kontroler Proportional-Integralderivative," *Berk. Fis.*, vol. 22, no. 2, pp. 68–76, 2019.
- [5] N. Putra, R. A. Koestoer, M. Adhitya, A. Roekettino, and B. Trianto, "Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik untuk Kendaraan Hibrid," *Makara Teknol.*, vol. 13, no. 2, pp. 53–58, 2009.
- [6] A. Rifky, Fikri and M. Mujirudin, "Atap dan Dinding Bangunan sebagai Media Konverter Energi Termal Matahari menjadi Energi Listrik," vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [7] L. K. Kin, A. T. Baheta, and K. Habib, "Analytical Investigation of Thermoelectric Performance for Cooling Application," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 46, no. 1, pp. 32–40, 2018.
- [8] H. Haryanto, M. R. Makhsum, and I. Saraswati, "Perancangan Modul Termoelektrik Generator Menggunakan Peltier," *Tek. J. Sains dan Teknol.*, vol. 11, no. 1, p. 26, 2015, doi: 10.36055/tjst.v11i1.6970.
- [9] R. Rifky and Y. Sirodz, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC)," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister ...*, vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2020.
- [10] Ginanjar, A. Hiendro, and D. Suryadi, "Perancangan dan Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Termoelektrik dengan Menggunakan Kompor Surya sebagai Media Pemusat Panas," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, 2019.
- [11] Y. Wiradika, "Analisa Variasi Luasan Heatsink terhadap Unjuk Kerja Modul Generator Termoelektrik (TEG) Memanfaatkan Panas Buangan Kondensor Kulkas," Universitas Jember, 2019.
- [12] H. Lee, *Thermal Design*. 2010.
- [13] A. W. Jatmiko, "Kotak Pendingin Berbasis Thermoelectric," Universitas Sanata Dharma, 2014.

- [14] H. Prasetyo, "Analisis Pengaruh Luasan Heatsink terhadap Unjuk Kerja Portable Mini Refrigerator," Universitas Jember, 2015.
- [15] N. Sulistiyanto, "Pemodelan Sistem Pendingin Termoelektrik pada Modul Superlumiance LED," *J. EECCIS*, vol. 8, no. 1, pp. 67–72, 2014.
- [16] Amrullah, Z. Djafar, and W. H. Piarah, "Penerapan Termoelektrik Ganda pada Mesin Pendingin Air Minum sebagai Solusi Penghematan Energi," *J. Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 42–48, 2015.
- [17] L. Shen, X. Pu, Y. Sun, and J. Chen, "A study on Thermoelectric Technology Application In Net Zero Energy Buildings," *Energy*, vol. 113, pp. 9–24, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.07.038.
- [18] F. Fimansyah, "Pengembangan Cool Box Ramah Lingkungan untuk Kendaraan Roda Dua Berbasis Termoelektrik," Universitas Indonesia, 2009.
- [19] A. Suryadi and A. Firmansyah, "Rancang Bangun Kulkas Mini Portable Menggunakan Peltier," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 11–22, 2020, doi: 10.24176/simet.v11i1.3361.
- [20] Hendri, "Pengujian dan Perhitungan Beban Panas pada Kotak Pendingin yang Menggunakan Termoelektrik dengan Sumber Energi Surya," Universitas Sumatera Utara, 2015.
- [21] Amrullah, "Uji Eksperimental Kinerja Termoelektrik pada Pendingin Dispenser Air Minum," Universitas Hasanuddin, 2013.
- [22] R. F. Kusuma, M. J. Afroni, and O. Melfazen, "Perhitungan Efisiensi Peltier TEG(Thermoelectric Generator) SP-1848 Menggunakan Perbandingan Suhu Panas dan Dingin sebagai Energi Alternatif," *Sci. Electro*, vol. 13, no. 1, 2021.
- [23] F. S. Gianita, "Kaji Eksperimental Portable Cool Box Menggunakan TEC1-12705 Cascade," *Tugas Akhir*, pp. 1–65, 2017.
- [24] Kennedy, K. Anwar, and M. B. Anggara, "Pengaruh Laju Aliran Fluida Liquid-Cooled Heat Sink Terhadap Unjuk Kerja Sistem Pendingin Termoelektrik," pp. 1–8, 2016.
- [25] Nandy Putra & Axel Hidayat, "Pengembangan Alat Uji Kualitas dan Karakteristik Elemen Peltier," *Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin V*, no. November, pp. 21–23, 2006.
- [26] N. Putra and F. N. I, "M5-018 Pengujian Kemampuan Pendinginan Prototipe Kotak Sampel Darah Berbasis Termoelektrik dan Heat Pipe," *Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin VIII*, no. X, pp. 552–560, 2009.