

EVALUASI PERFORMANSI TEC (*THERMOELECTRIC COOLER*) DARI DATA TEKNIS DAN MODEL DENGAN VERIFIKASI PERCOBAAN

EVALUATION OF TEC (THERMOELECTRIC COOLER) PERFORMANCE FROM TECHNICAL DATA AND MODEL WITH VERIFICATION OF EXPERIMENT

Anindya Nur Azizah¹, Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T.,M.Eng², Dr. Eng.Asep Suhendi, S.Si., M.Si³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

aazizah880@gmail.com¹, tri.ayodha@gmail.com², as.suhendi@gmail.com³

Abstrak

TEC (*Thermoelectric Cooler*) merupakan sebuah alat yang bekerja mengkonversi energi listrik menjadi suhu berdasarkan efek Peltier. Efek Peltier mengakibatkan salah satu sisi modul menjadi dingin karena ada proses penyerapan kalor dari lingkungan. Sisi modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) menjadi panas maupun dingin tergantung arah aliran listrik. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian nilai kalor yang diserap (Q_c) dan COP (*Coefficient Of Performance*) dari tiga buah modul peltier TEC-12706. Setiap modul diuji secara percobaan, berdasarkan data teknis dan melihat grafik modul dengan suhu sisi panas (T_h) dijaga tetap 50°C. Untuk mengetahui modul peltier yang memiliki performa paling bagus, maka hasil pengujian berdasarkan data teknis dan melihat grafik harus diverifikasi dengan pengujian secara percobaan. Berdasarkan hasil penelitian, modul peltier TEC-12706 (A) memiliki performa paling bagus dengan nilai kesalahan pengujian kalor yang diserap (Q_c) dan COP (*Coefficient Of Performance*) berdasarkan data teknis berturut-turut sebesar 0,27% dan 1,6%.

Kata Kunci: pendingin termoelektrik, efek peltier, nilai kesalahan.

Abstract

TEC (*Thermoelectric Cooler*) is a device that works to convert electrical energy into temperatures based on the Peltier effect. Peltier effect causes one side of the module to cool because there was a heat absorption process from the environment. The side of the TEC (*Thermoelectric Cooler*) module becomes hot or cold depending on the direction of electricity. In this study, testing the absorbed heat value (Q_c) and COP (*Coefficient of Performance*) was carried out from three Peltier TEC-12706 modules. Each module tested experimentally, based on technical data and looking at the module graph with the heat side temperature (T_h) kept 50 ° C. To find out the Peltier module that has the best performance, then the test results based on technical data and see the graph must be verified by trial testing. Based on the results of the research, the TEC-12706 (A) Peltier module has the best performance with the error value of absorbed heat testing (Q_c) and COP (*Coefficient of Performance*) based on technical data of 0.27% and 1.6%, respectively.

Keywords: thermoelectric cooler, peltier effect, error value.

1. Pendahuluan

Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821 melakukan percobaan menghubungkan tembaga dan besi yang diantara kedua logam tersebut diletakkan jarum kompas. Ketika salah satu sisi dipanaskan, jarum kompas bergerak. Fenomena yang ditemukan oleh Thomas Johann Seebeck menginspirasi Jean Charles Peltier melakukan sebuah percobaan pada tahun 1934, untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Ketika listrik dialirkan, terjadi penyerapan kalor pada salah satu sambungan dan pelepasan kalor pada sambungan yang lainnya. Penemuan ini kemudian dikenal dengan efek Peltier, yang dijadikan sebagai prinsip kerja pendingin termoelektrik [1].

Modul pendingin termoelektrik atau yang lebih dikenal TEC (*Thermoelectric Cooler*), merupakan modul yang mengubah energi listrik DC (*Direct Current*) menjadi kalor. Apabila modul

TEC (*Thermoelectric Cooler*) dialiri listrik DC, maka timbul perbedaan temperature pada kedua sisi TEC (*Thermoelectric Cooler*) karena ada kalor yang diserap (Q_c) dan dilepas (Q_h). Dengan demikian, untuk mendinginkan udara tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya di mesin-mesin pendingin konvensional. Produsen TEC (*Thermoelectric Cooler*) biasanya hanya menyertakan nilai ΔT_{max} , I_{max} , V_{max} , Q_{max} dan dimensi (panjang, lebar dan tebal) TEC (*Thermoelectric Cooler*) sebagai data teknis pada suhu 25°C dan 50°C .

Sering dijumpai produk modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) menunjukkan performansi yang berbeda-beda. Konsumen harus menguji terlebih dahulu nilai kalor yang diserap (Q_c) dan COP (*Coefficient Of Performance*) modul TEC-12706 sebelum digunakan. Apabila tidak sesuai kebutuhan, maka harus melakukan pengujian hingga menemukan modul TEC-12706 yang sesuai. Cara ini sangat tidak efisien dari segi waktu, karena harus melakukan pengujian berulang-ulang hingga menemukan modul TEC-12706 yang sesuai. Ada cara lain yang dapat digunakan untuk menentukan nilai kalor yang diserap (Q_c) dan COP (*Coefficient Of Performance*) modul TEC-12706 yaitu dengan melihat data teknis dan membaca grafik modul TEC-12706. Sehingga konsumen dapat menentukan performansi dan jumlah modul TEC-12706 yang diperlukan sebelum membeli modul TEC-12706. Oleh sebab itu, dilakukan pengujian untuk mengevaluasi performansi modul TEC-12706 berdasarkan data teknis dan grafik dengan verifikasi percobaan.

EVALUASI PERFORMANSI TEC (*THERMOELECTRIC COOLER*) DARI DATA TEKNIS DAN MODEL DENGAN VERIFIKASI PERCOBAAN

EVALUATION OF TEC (*THERMOELECTRIC COOLER*) PERFORMANCE FROM TECHNICAL DATA AND MODEL WITH VERIFICATION OF EXPERIMENT

Anindya Nur Azizah¹, Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T.,M.Eng², Dr. Eng.Asep Suhendi, S.Si., M.Si³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

aazizah880@gmail.com¹, tri.ayodha@gmail.com², as.suhendi@gmail.com³

Abstrak

TEC (*Thermoelectric Cooler*) merupakan sebuah alat yang bekerja mengubah energi listrik DC (*Direct Current*) menjadi kalor berdasarkan efek Peltier. Efek Peltier mengakibatkan salah satu sisi modul menjadi dingin karena ada proses penyerapan kalor dari lingkungan. Sisi modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) menjadi panas maupun dingin tergantung arah aliran listrik. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian performansi dari tiga buah modul peltier TEC-12706. Setiap modul diuji secara percobaan, melihat data teknis dan membaca grafik modul dengan suhu sisi panas (T_h) dijaga tetap 50°C untuk menentukan nilai kalor yang diserap (Q_c) dan COP (*Coefficient Of Performance*) modul TEC-12706. Berdasarkan pengujian pada tiga buah modul TEC-12706 menunjukkan performansi yang berbeda. Nilai tegangan masukan (V) maksimal yang diberikan sebesar 8 volt. Pada pengujian ini, didapatkan nilai kalor yang diserap (Q_c) modul TEC-12706 (A), (B) dan (C) secara percobaan berturut-turut sebesar 10.24, 6.87 dan 8.42 watt. Berdasarkan data teknis, nilai kalor yang diserap (Q_c) modul TEC-12706 (A), (B), (C) berturut-turut sebesar 10.35, 9.20 dan 10.11 watt. Berdasarkan grafik, nilai kalor yang diserap (Q_c) modul TEC-12706 (A), (B) dan (C) berturut-turut sebesar 9.00, 7.00 dan 8.00 watt.

Kata kunci: pendingin termoelektrik, efek peltier, data teknis, grafik modul

Abstract

TEC (*Thermoelectric Cooler*) is a device that works changing the electric power DC (*Direct Current*) become heat based on the Peltier effect. Peltier effect resulting in one side of the module become cool because there is a process of absorption of heat from the environment. Side module TEC (*Thermoelectric Cooler*) become hot or cold depending on the direction of the flow of electricity. In this study, conducted performance testing of three peltier TEC modules-12706. Each module tested in the experimentally, see technical data and read the graphic module with temperature of the hot side (T_h) maintained a 50°C to determine the value of the absorbed heat (Q_c) and COP (*Coefficient Of Performance*) module TEC-12706. Based on testing on three modules TEC-12706 shows different performances. The value of the input voltage (V) given a maximum of 8 volts. In this test, obtained a value of heat absorbed (Q_c) modules for TEC-12706 (A), (B) and (C) for consecutive trial amounted to 10.24, 6.87 and 8.42 Watts. Based on technical data, the value of the absorbed heat (Q_c) modules for TEC-12706 (A), (B), (C) a row of 9.20 10.35, and 10.11 Watts. Based on the graph, the value of the absorbed heat (Q_c) modules for TEC-12706 (A), (B) and (C) a row of 9.00 8.00 7.00, and Watts.

Keywords: termoelektrik cooling, peltier effect, technical data, graph of module

1. Pendahuluan

Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821 melakukan percobaan menghubungkan tembaga dan besi yang diantara kedua logam tersebut diletakkan jarum kompas. Ketika salah satu sisi dipanaskan, jarum kompas bergerak. Fenomena yang ditemukan oleh Thomas Johann Seebeck menginspirasi Jean Charles Peltier melakukan sebuah percobaan pada tahun 1934, untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Ketika listrik dialirkan, terjadi penyerapan kalor pada salah satu sambungan dan pelepasan kalor pada sambungan yang lainnya. Penemuan ini kemudian dikenal dengan efek Peltier, yang dijadikan sebagai prinsip kerja pendingin termoelektrik [1].

Modul pendingin termoelektrik atau yang lebih dikenal TEC (*Thermoelectric Cooler*), merupakan modul yang mengubah energi listrik DC (*Direct Current*) menjadi kalor. Apabila modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) dialiri listrik DC, maka timbul perbedaan temperature pada kedua sisi TEC (*Thermoelectric Cooler*) karena ada kalor yang diserap (Q_c) dan dilepas (Q_h). Dengan demikian, untuk mendinginkan udara tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya di mesin-mesin pendingin konvensional. Produsen TEC (*Thermoelectric Cooler*) biasanya hanya menyertakan nilai ΔT_{\max} , I_{\max} , V_{\max} , Q_{\max} dan dimensi (panjang, lebar dan tebal) TEC (*Thermoelectric Cooler*) sebagai data teknis pada suhu 25°C dan 50°C .

Sering dijumpai produk modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) menunjukkan performansi yang berbeda-beda. Konsumen harus menguji terlebih dahulu nilai kalor yang diserap (Q_c) dan COP (*Coefficient Of Performance*) modul TEC-12706 sebelum digunakan. Apabila tidak sesuai kebutuhan, maka harus melakukan pengujian hingga menemukan modul TEC-12706 yang sesuai.

Cara ini sangat tidak efisien dari segi waktu, karena harus melakukan pengujian berulang-ulang hingga menemukan modul TEC-12706 yang sesuai. Ada cara lain yang dapat digunakan untuk menentukan nilai kalor yang diserap (Q_c) dan COP (*Coefficient Of Performance*) modul TEC-12706 yaitu dengan melihat data teknis dan membaca grafik modul TEC-12706. Sehingga konsumen dapat menentukan performansi dan jumlah modul TEC-12706 yang diperlukan sebelum membeli modul TEC-12706. Oleh sebab itu, dilakukan pengujian untuk mengevaluasi performansi modul TEC-12706 berdasarkan data teknis dan grafik dengan verifikasi percobaan.

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip Kerja TEC (*Thermoelectric Cooler*)

Prinsip kerja modul TEC (*Thermoelectric cooler*) berdasarkan efek Peltier yaitu ketika sumber listrik DC dialirkan ke elemen peltier, mengakibatkan salah satu sisi modul menjadi dingin karena ada proses penyerapan kalor dari lingkungan, yang kemudian akan dibuang pada sisi panas modul sehingga timbul perbedaan temperatur. Sisi modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) menjadi panas maupun dingin tergantung arah aliran listrik. Hal yang menyebabkan sisi modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) menjadi dingin karena mengalirnya electron dari bahan semikonduktor tipe P (tingkat energi rendah) menuju bahan semikonduktor tipe N (tingkat energi tinggi). Karena tingkat energi semikonduktor tipe P rendah maka elektron harus menyerap panas agar semikonduktor tipe P dapat mengalir pada *junction*. Sedangkan sisi lain modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) menjadi panas karena elektron mengalir dari bahan semikonduktor tipe N (tingkat energi tinggi) menuju bahan semikonduktor tipe P (tingkat energi rendah). Supaya dapat mengalir menuju bahan semikonduktor dengan tingkat energi lebih rendah (tipe P) maka elektron harus melepas panas ke lingkungan untuk mengurangi kelebihan tingkat energi (tipe N). Ketika sumber arus DC dialirkan ke modul TEC (*Thermoelectric Cooler*), mengakibatkan salah satu sisi modul menjadi dingin karena ada proses penyerapan kalor dari lingkungan, yang kemudian akan dibuang pada sisi panas modul. Sehingga nilai kalor yang dilepas (Q_h) pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap (Q_c) ditambah daya yang diberikan ke modul, dirumuskan:

$$Q_h = Q_c + P_{in} = Q_c + VI \quad (2.1)$$

dengan:

Q_h adalah kalor yang dilepaskan sisi panas (Watt), Q_c adalah kalor yang diserap sisi dingin (Watt), P_{in} adalah Daya input (Watt), V adalah Tegangan (Volt), A adalah Arus (Ampere)

2.2 Proses Perpindahan Kalor Modul TEC (*Thermoelectric Cooler*)

Perbedaan temperature pada kedua sisi modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) disebabkan oleh perpindahan kalor secara konduksi yang sangat dominan maka perpindahan kalor secara konveksi dan radiasi pada modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) diabaikan. Perpindahan kalor secara konduksi dikatakan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memiliki energy yang cukup besar menuju ke benda yang memiliki energi yang rendah. Persamaan yang digunakan untuk perpindahan kalor konduksi biasa dikenal dengan Hukum Fourier, yang dirumuskan:

$$Q_{kond} = -kA \frac{dT}{dx} \approx -k \frac{A}{L} \Delta T = -\frac{\Delta T}{2\theta} \quad (2.2)$$

dengan:

Q_{kond} adalah Laju perpindahan panas konduksi (Watt), k adalah Konduktifitas termal (16,2 W/mK), A adalah Luas Penampang (m^2), dT adalah Perbedaan Suhu (K), dx adalah Perbedaan Jarak (m/s), ΔT adalah Perubahan Suhu (K), L adalah Tinggi Pallet (m), θ adalah Resistansi thermal (K/W)

Tanda minus (-) pada persamaan (2.2) diatas, menunjukkan bahwa kalor selalu mengalir ketempat yang temperature rendah. (J.P. Holman, hal: 2

2.3 Data Teknis TEC (*Thermoelectric Cooler*)

Berikut adalah parameter data teknis yang disertakan pada modul TEC (*Thermoelectric Cooler*):

- ΔT_{max} =perbedaan suhu maksimal kedua sisi modul TEC (*Thermoelectric Cooler*)
- I_{max} = arus listrik DC masukan (I_{in}) yang menghasilkan ΔT_{max} pada TEC (*Thermoelectric Cooler*)
- Q_{max} =kalor maksimal yang dapat diserap TEC (*Thermoelectric Cooler*)
- V_{max} = tegangan masukan (V_{in}) yang menghasilkan ΔT_{max} pada TEC (*Thermoelectric Cooler*)

Berdasarkan data teknis modul TEC (*Thermoelectric Cooler*), untuk menentukan nilai kalor yang diserap (Q_h) serta COP (*Coefficiens Of Performance*) maka harus menghitung nilai keofisien Seebeck (α), hambatan panas (θ) dan hambatan listrik (R) terlebih dahulu, menggunakan persamaan berikut

$$\alpha = \frac{V_{max}}{T_h} \quad (\text{volt/K}) \quad (2.3)$$

$$\Theta = \frac{\Delta T_{max}}{I_{max} V_{max}} \frac{2 T_h}{(T_h - \Delta T_{max})} \left(\frac{K}{W} \right) \quad (2.4)$$

$$R = \frac{V_{max}}{I_{max}} \frac{(T_h - \Delta T_{max})}{T_h} \left(\Omega \right) \quad (2.5)$$

dengan:

α adalah Koefisien Seebeck (volt/K), Θ adalah Resistansi Termal $\left(\frac{K}{W} \right)$, T_h adalah Suhu sisi panas (K)

R adalah Resistansi Listrik (Ω)

2.4 Persamaan Kesetimbangan Energi pada TEC (*Thermoelectric Cooler*)

Secara umum persamaan untuk Q_c/Q_h dapat dirumuskan:

$$Q_{c/h} = \alpha T_{c/h} I \quad (2.6)$$

Sehingga persamaan nilai kalor yang diserap (Q_c) pada sisi dingin modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) dirumuskan:

$$Q_c = \alpha T_c I - \frac{\Delta T}{\theta} - \frac{I^2 R}{2} \quad (2.7)$$

Sedangkan persamaan nilai kalor yang dilepas (Q_h) pada sisi panas modul TEC (*Thermoelectric Cooler*) dirumuskan:

$$Q_h = \alpha T_h I - \frac{\Delta T}{\theta} + \frac{I^2 R}{2} \quad (2.8)$$

dengan:

Q_c adalah Kalor yang diserap (Watt), Q_h adalah Kalor yang dilepas (Watt), V adalah Tegangan (volt)

I adalah Arus listrik (Ampere), R adalah Hambatan listrik (Ω), T_c adalah Suhu sisi dingin ($^{\circ}C$), T_h adalah Suhu sisi panas ($^{\circ}C$)

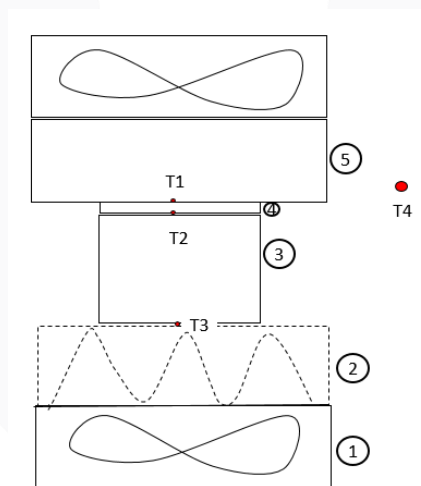
ΔT adalah Perbedaan temperatur (K)

3. Metodologi Penelitian

3.1 Metode Pengujian

3.1.1 Pengujian Berdasarkan Percobaan

Desain sistem mekanik untuk pengujian nilai kalor yang diserap (Q_c) dan COP (*Coefficient Of Performance*) modul TEC-12706 secara percobaan, ditampilkan pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 desain sistem mekanik alat pengujian modul TEC-12706. 1: kipas; 2:heat sink; 3:stainless steel block; 4:modul TEC-12706; 5:heat pipe

Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai Q_c dan COP

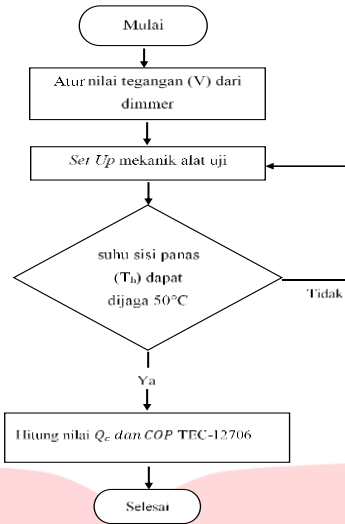
$$Q_c = \frac{K A \Delta T}{l} \text{ (watt)} \quad (4.1)$$

$$COP = \frac{Q_c}{IV} = \frac{Q_c}{P} \quad (4.2)$$

Dimana:

K adalah konduktivitas termal material pallet (16,2 W/mkelvin), P adalah daya TEC-12706 (Watt)

Berikut alur pengujian perhitungan nilai Q_c dan COP berdasarkan percobaan, ditunjukkan Gambar 3.2



Gambar 3. 2 diagram alur pengujian perhitungan Q_c dan COP TEC-12706 berdasarkan percobaan

3.1.2 Pengujian Melihat Data Teknis Modul

Metode pengujian lain yang dapat digunakan untuk menghitung nilai Q_c dan COP adalah dengan melihat data teknis modul TEC-12706. Namun produsen TEC (*Thermoelectric Cooler*) tidak mencantumkan nilai Q_c dan COP, hanya mencantumkan parameter-parameter seperti tabel dibawah ini [5]

Tabel 3.1 Data Teknis Modul TEC1-12706 [5]

Hot Side Temperature (°C)	25 °C	50 °C
Q_{max} (Watts)	50	57
ΔT_{max} (°C)	66	75
I_{max} (A)	6.4	6.4
V_{max} (Volt)	14.4	16.4

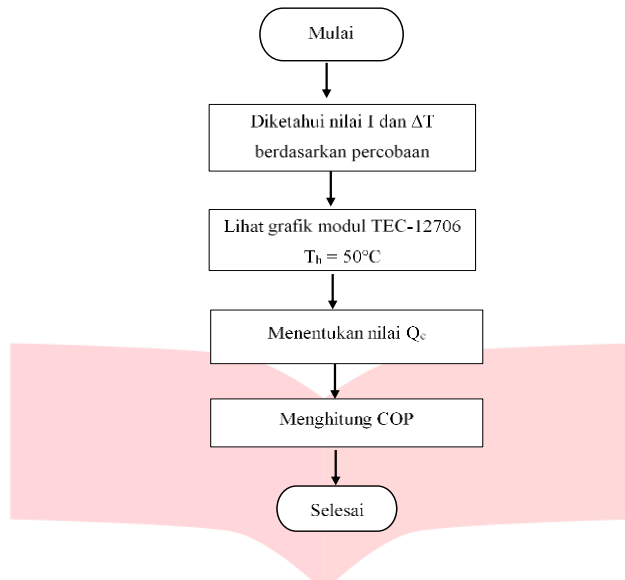
Berikut alur pengujian perhitungan nilai Q_c dan COP berdasarkan data teknis, ditunjukkan Gambar 3.3



Gambar 3. 3 diagram alur pengujian perhitungan Q_c dan COP TEC-12706 berdasarkan data teknis

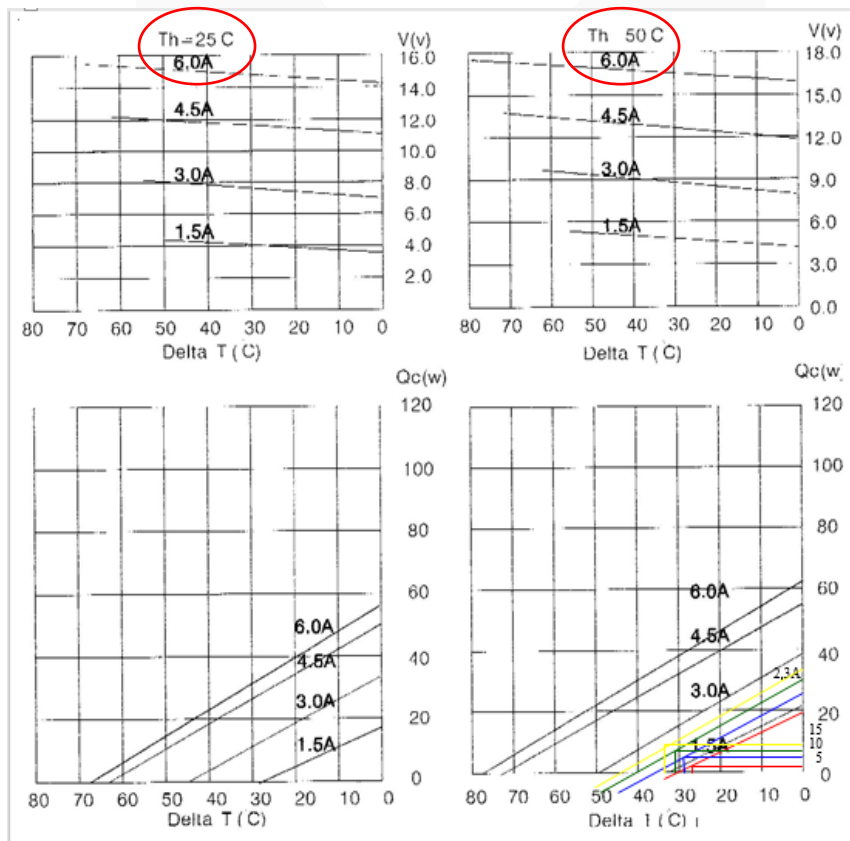
3.1.3 Pengujian dengan Membaca Grafik Modul

Berikut alur pengujian perhitungan nilai Q_c dan COP berdasarkan grafik, ditunjukkan Gambar 3.4



Gambar 3. 4 diagram alir pengujian perhitungan Q_c dan COP TEC-12706 berdasarkan grafik

Adapun contoh pembacaan grafik modul TEC-12706 untuk menghitung Q_c dengan $T_h = 50^\circ\text{C}$ dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut



Gambar 3. 5 grafik modul peltier TEC-12706

4. Pembahasan

4.1 Verifikasi Q_c dan COP TEC-12706 dengan Percobaan

Hasil perhitungan Q_c dan COP dari ketiga buah modul TEC-12706 yang telah diuji, secara berurutan ditampilkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 1 hasil perhitungan nilai Q_c dan COP TEC-12706 (A)

V (volt)	I (ampere)	ΔT_{1-2}	ΔT_{3-2}	Percobaan		Data Teknis		Grafik	
				Q_c (watt)	COP	Q_c (watt)	COP	Q_c (watt)	COP
5	1,410	27,6	3,5	4,54	0,65	4,37	0,62	4,00	0,57
6	1,702	29,6	5,2	6,74	0,68	6,62	0,66	5,00	0,50
7	1,910	31,3	6,0	7,78	0,63	7,88	0,64	6,50	0,53
8	2,310	34,1	7,9	10,24	0,58	10,35	0,59	9,00	0,51

Tabel 4. 2 hasil perhitungan nilai Q_c dan COP TEC-12706 (B)

V (volt)	I (ampere)	ΔT_{1-2}	ΔT_{3-2}	Percobaan		Data Teknis		Grafik	
				Q_c (watt)	COP	Q_c (watt)	COP	Q_c (watt)	COP
5	1,367	27,1	4,0	5,18	0,80	4,17	0,64	5,10	0,78
6	1,673	29,1	5,0	6,48	0,68	6,59	0,69	6,00	0,63
7	1,961	33,1	5,1	6,61	0,51	7,33	0,57	6,50	0,50
8	2,281	35,4	5,3	6,87	0,40	9,20	0,53	7,00	0,40

Tabel 4. 3 hasil perhitungan nilai Q_c dan COP TEC-12706 (C)

V (volt)	I (ampere)	ΔT_{1-2}	ΔT_{3-2}	Percobaan		Data Teknis		Grafik	
				Q_c (watt)	COP	Q_c (watt)	COP	Q_c (watt)	COP
5	1,305	27,0	2,0	2,59	0,42	3,43	0,55	3,00	0,48
6	1,616	30,0	4,5	5,83	0,63	5,35	0,58	5,50	0,59
7	1,896	31,1	5,2	6,74	0,54	7,87	0,62	6,00	0,48
8	2,193	32,6	6,5	8,42	0,51	10,11	0,61	8,00	0,48

Nilai tegangan masukan (V_{in}) yang digunakan pada pengujian setiap modul TEC-12706 yang diuji sebesar 5, 6, 7 dan 8 volt dari DC power supply yang diatur melalui dimmer. Alasan pada pengujian ini diberikan tegangan masukan (V_{in}) sebesar 5, 6, 7 dan 8 volt karena apabila diberikan tegangan masukan (V_{in}) lebih rendah dari 5 volt, maka suhu yang dihasilkan sisi dingin (T_2) modul TEC-12706 kurang optimal sehingga suhu sisi dingin (T_2) modul TEC-12706 menjadi lebih tinggi dari pada suhu antara stainless steel blok dengan heat sink (T_3). Akan tetapi apabila diberikan tegangan masukan (V_{in}) lebih tinggi dari 8 volt, maka suhu sisi panas (T_1) tidak bisa dijaga 50°C.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap tiga buah modul TEC-12706, menunjukkan bahwa modul TEC-12706 yang diuji memiliki Q_c dan COP yang berbeda. Untuk mengetahui seberapa besar nilai kesalahan hasil perhitungan Q_c dan COP berdasarkan data teknis dan grafik, maka dilakukan verifikasi dengan hasil perhitungan Q_c dan COP berdasarkan percobaan. Verifikasi nilai kesalahan hasil perhitungan Q_c dan COP ditampilkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 4 Nilai Kesalahan Q_c dengan Verifikasi Percobaan (%)

TEC-12706	Q_c	
	Data Teknis	Grafik
A	0,27	16,2
B	7,77	2,2
C	11,80	4,5

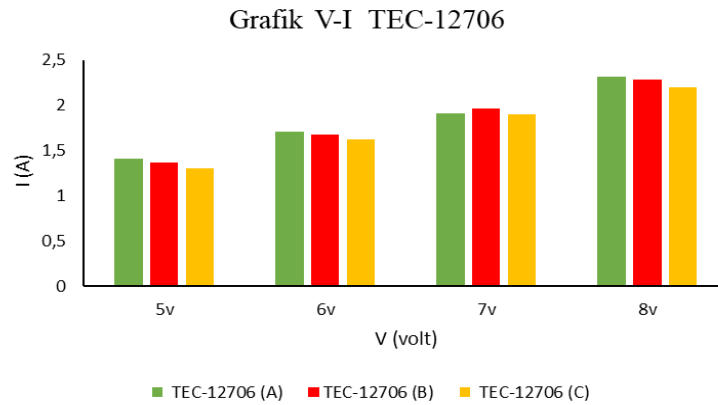
Tabel 4. 5 Nilai Kesalahan COP dengan Verifikasi Percobaan (%)

TEC-12706	COP	
	Data Teknis	Grafik
A	1,6	15,8
B	1,7	3,3
C	11,8	1,9

Dari ketiga buah modul TEC-12706 yang diuji, nilai kesalahan perhitungan Q_c dan COP paling rendah secara berurutan yaitu 0,27% dan 1,6%, sedangkan nilai kesalahan perhitungan Q_c dan COP paling tinggi secara berurutan yaitu 16,2% dan 15,2%.

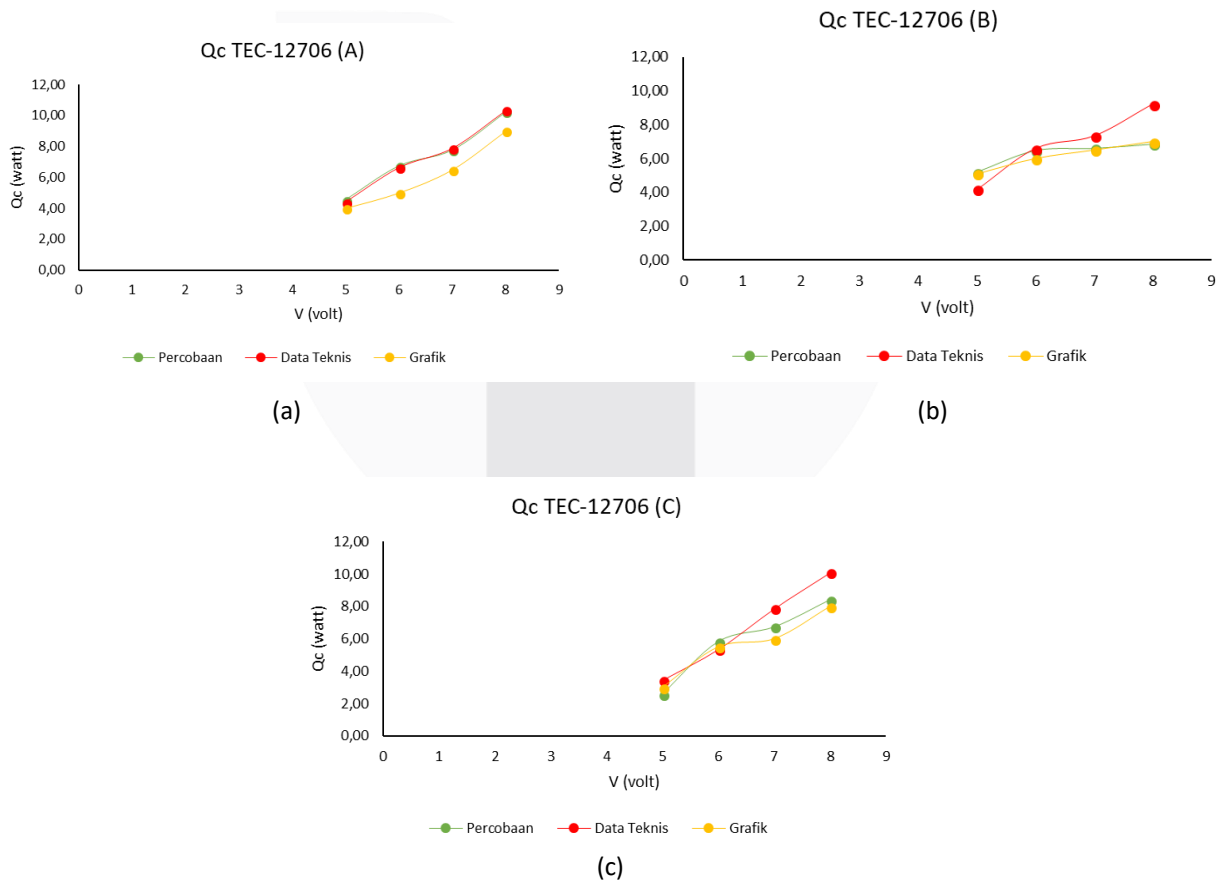
4.2 Hasil Pengujian

Nilai arus (I) yang mengalir pada modul TEC-12706 mempengaruhi performansi modul, berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa arus (I) yang mengalir pada modul TEC-12706 paling tinggi ditunjukkan modul TEC-12706 (A). Adapun nilai arus (I) yang mengalir pada tiap-tiap modul TEC-12706 dengan tegangan masukan (V_{in}) sebesar 5, 6, 7 dan 8 volt ditampilkan oleh Grafik 4.1 berikut:

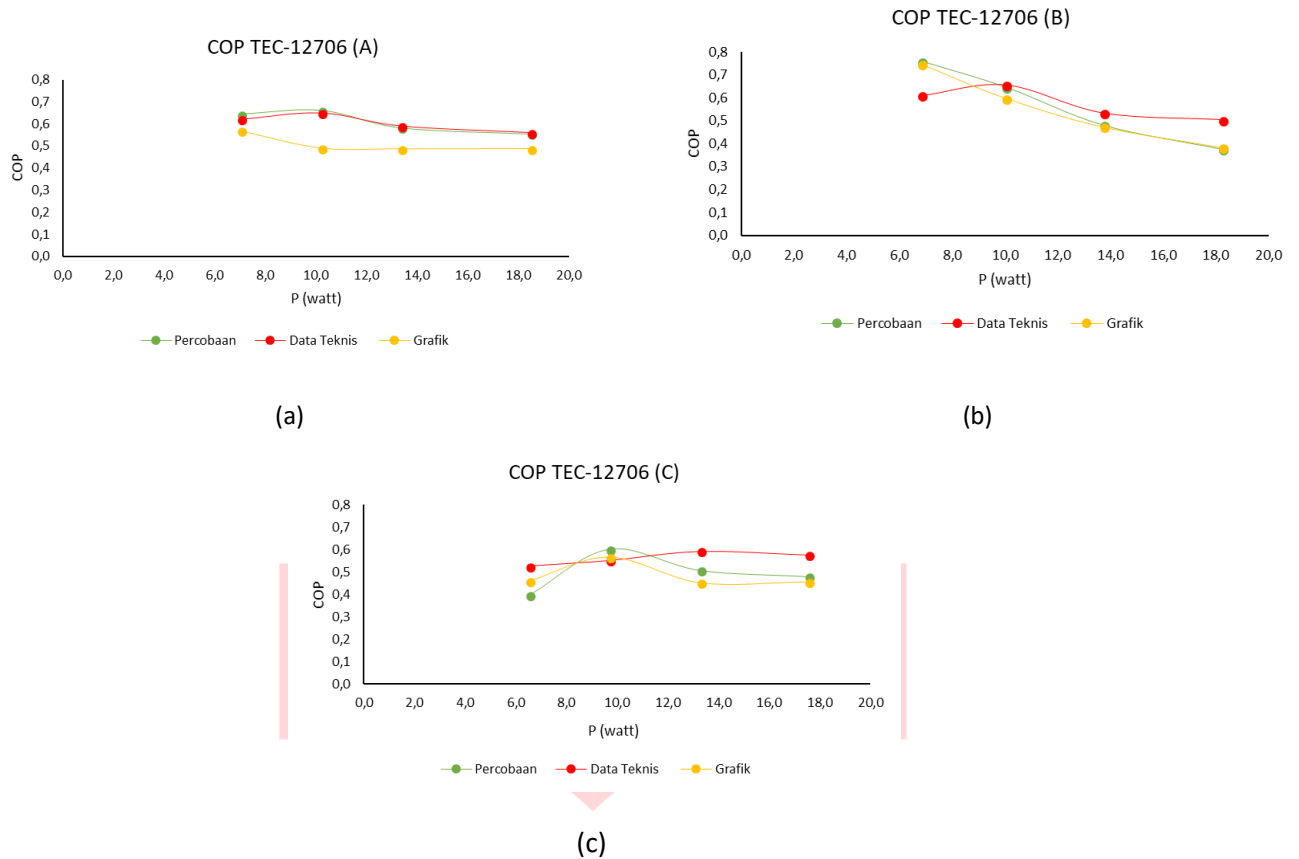


Grafik 4. 1 Hubungan V-I TEC-12706

Berdasarkan data Grafik 4.1 didapatkan bahwa nilai arus (I) tertinggi yang dapat dicapai modul TEC-12706 sebesar 2 A pada tegangan masukan (V_{in}) 8 volt. Pengujian yang dilakukan pada setiap modul TEC-12706 berdasarkan percobaan, melihat data teknis dan membaca grafik, didapatkan bahwa Q_c dan COP yang dimiliki setiap modul TEC-12706 berbeda-beda. Adapun hasil perhitungan Q_c dan COP modul TEC-12706 secara berurutan ditampilkan Grafik 4.2 dan 4.3 dibawah ini:



Grafik 4. 1 hasil perhitungan Q_c modul TEC-12706 (a) modul TEC-12706 (A); (b) modul TEC-12706 (B); modul TEC-12706 (C)



Grafik 4. 2 hasil perhitungan COP modul TEC-12706 (a) modul TEC-12706 (A); (b) modul TEC-12706 (B); (c) modul TEC-12706 (C)

Dari ketiga modul TEC-12706 yang diuji berdasarkan percobaan, melihat data teknis dan membaca grafik seluruhnya menunjukkan *trendline* yang berbeda-beda. Dengan demikian, ketiga modul TEC-12706 yang diuji pada penelitian ini menunjukkan performansi yang tidak sama walaupun modul yang digunakan sejenis. Hal ini dapat dipengaruhi karena terjadi kesalahan pada saat proses pengemasan dan pengiriman sehingga berpengaruh pada kualitas modul TEC-12706. Oleh sebab itu, sangatlah penting bagi produsen modul TEC-12706 untuk selalu melakukan pengawasan dan pengujian terhadap kualitas modul sebelum dipasarkan ke konsumen.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian terhadap pengujian performansi modul TEC-12706 secara data teknis dan grafik yang diverifikasi dengan hasil percobaan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Modul termoelektrik memiliki performansi yang tidak sama. Hal tersebut dipengaruhi oleh arus yang dapat mengalir pada modul termoelektrik.
2. Nilai tegangan masukan (V_{in}) minimal agar penyerapan kalor sisi dingin berjalan optimal sebesar 5 volt.
3. Agar suhu sisi panas (T_1) modul TEC-12706 dapat dijaga 50°C maka nilai tegangan masukan (V_{in}) maksimal yang diberikan sebesar 8 volt.
4. Hasil perhitungan Q_c dan COP modul TEC-12706 (A) dengan melihat data teknis paling mendekati dengan hasil percobaan.

6. Daftar Pustaka

- [1] <http://www.energi.lipi.go.id/> diunduh tanggal 23 September 2017
- [2] pppptkboemlg. (29 Januari 2015). Mengenal Thermo-Electric (Peltier). Diunduh tanggal 17 September 2017
<http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/menuutama/listrik-electro/1292-mengenal-thermo-electric-peltier>
- [3] Ben-Yaakov, S. L. (2007). Modelling and Analysis of Thermoelectric Modules. *IEEE*.
- [4] Dongliang Zhao dan Gang Tan, 2014, *A Review Of Thermoelectric Cooling: Material, Modeling And Applications*, Applied Thermal Engineering, Vol. 66, pp 14-124
- [5] Hebei I.T. (Shanghai) Co., L. (2016, May 24). HB Brand Electronic Components. Diambil kembali dari <http://www.hebeiltd.com.cn/>
- [6] J.P.Holman, *Heat transfer*, 7th ed, London: McGraw-Hill, 1992, pp25-56, and 137-143.
- [7] J.Chavez, J.Ortega, J.Salazar, A. Turo, and J. Garcia, "Spice model of thermoelectric elements including thermal effects," *Proceedings Of The Instrumentation And Measurement Technologi Conference*, 2000, pp.1019-1023

