

RANCANG BANGUN DAN REALISASI ALAT UKUR PERFORMANSI PENDINGIN TERMOELEKTRIK

THERMOELECTRIC COOLER PERFORMANCE DESIGN AND REALIZATION MEASUREMENT SYSTEM

Eky Irmansyah¹, Abrar², Tri Ayodha Ajiwiguna³

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

¹ekyirmansyah2@gmail.com, ²abrarselah@gmail.com, ³tri.avodha@gmail.com

Abstrak

Dalam penelitian ini dilakukan suatu sistem alat uji sistem refrigerasi dengan menggunakan modul pendingin peltier TEC 12706, TEC 12710, TEC 12715, dan SP 1848 dimana modul ini memanfaatkan efek peltier. Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui nilai performansi peltier berupa besaran *heat absorb*, *heat emission*, dan koefisien kinerja serta hubungannya terhadap arus pada peltier. Pada pengujian ini dilakukan dengan mengukur temperatur antara sisi dingin peltier dengan logam perantara dan temperatur antara logam perantara dengan heat sink serta beberapa data yang lain. Dimana pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari jenis-jenis peltier yang telah disebutkan diatas. Dari hasil penelitian didapatkan kriteria jenis peltier TEC 12706 yang paling baik untuk digunakan sebagai sistem refrigerasi dengan nilai *heat absorb* sebesar 24.5 watt, *heat emission* sebesar 39.86 watt, dan koefisien kinerja sebesar 1.6.

Kata Kunci : refrigerasi, *heat absorb*, *heat emission*, koefisien kerja.

Abstract

In this final task is testing a refrigeration system using peltier cooler module TEC 12706, TEC 12710, TEC 12715, and SP 1848 which it is employing the peltier effect. In this test is intended to knowing the value of peltier performance such as heat absorb, heat emission, coefficient of performance and the relation between peltier current. In this test carried out by measuring the temperature between cool side of peltier and metal plate, and the temperature between metal plate and heatsink with the other properties. Where this test is performed to knowing the performance of any kind of peltier which had been mentioned above. The research found the criteria of peltier TEC 12706 is the best used as refrigeration system with the heat absorbtion value 24.5 watts, heat emission value 39.86 watts, and coefficients performance value is 1.6.

Keywords : refrigeration, heat absorb, heat emission, coefficient of performance.

1. Pendahuluan

Salah satu perkembangan teknologi di bidang refrijerasi adalah sistem refrijerasi termoelektrik, yang biasa disebut Thermoelectric Cooler (TEC) module atau peltier cooler. Modul TEC memiliki keunggulan strukturnya yang ringkas dan tingkat kehandalan yang tinggi. Dewasa ini, penerapan sistem refrijerasi termoelektrik telah secara luas digunakan sebagai perangkat pendingin dalam banyak aplikasi termasuk aplikasi semikonduktor, aerospace, industri maupun komersial, dan perangkat pendingin untuk barang-barang elektronik[1].

Modul pendingin termoelektrik dibuat dari pasangan bahan semikonduktor yang apabila dialiri sumber tegangan listrik Direct Current (DC) maka pada salah satu permukaan modul termoelektrik akan menjadi panas, sedangkan pada saat bersamaan permukaan lainnya akan menjadi dingin. Dimana sisi yang panas dapat digunakan sebagai pemanas dan sisi dingin inilah yang dimanfaatkan sebagai pendingin dengan bantuan heatsink dan kipas. Performansi refrijerasi termoelektrik, bergantung pada sifat fisik seperti koefisien Seebeck, resistansi elektrik (R), dan konduktifitas termal (K). Secara umum, sifat-sifat seperti ini tergantung pada suhu operasi termoelektrik[1].

Produsen modul termoelektrik hanya menyediakan data Q_c (laju perpindahan panas pada sisi dingin termoelektrik) dan hubungannya terhadap perbedaan temperatur dan arus termoelektrik. Adapun data-data meliputi nilai COP (Coefficient of Performance), laju perpindahan panas secara konduksi pada sisi panas modul TEC (Q_h) dan hubungannya terhadap arus pada TEC tidak disediakan oleh produsen TEC, maka dari itu peneliti akan mencoba mengembangkan alat pengujian performansi pendingin termoelektrik dan paket perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mengukur dan menganalisis sifat fisik yang telah dijelaskan sebelumnya dan kurva kinerja dari modul pendingin termoelektrik dengan mengetahui nilai Coefficients of Performance (COP), Q_h , Q_c dan hubungannya terhadap arus pada TEC.

Dari dasar pemikiran diatas, maka untuk tugas akhir ini penulis mengambil judul “RANCANG BANGUN DAN REALISASI ALAT UKUR PERFORMANSI PENDINGIN TERMoeLEKTRIK”. Dengan alat yang dibuat ini memungkinkan untuk menentukan nilai Coefficients of Performance (COP), Q_h , Q_c dan hubungannya terhadap arus pada termoelektrik.

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip kerja Pendingin Termoelektrik

Prinsip kerja modul TEC berdasarkan efek peltier, ketika sumber arus DC dialirkan ke elemen peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe-p (semikonduktor yang memiliki tingkat energi yang lebih rendah) dan tipe-n (semikonduktor yang memiliki tingkat energi yang lebih tinggi), akan mengakibatkan salah satu sisi elemen peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan).

Hal yang menyebabkan sisi dingin elemen peltier adalah adalah mengalirnya elektron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe-p ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe-n. Agar elektron tipe-p dapat mengalir pada *junction*, maka elektron menyerap kalor yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin dimana elektron tipe-p mempunyai tingkat energi lebih rendah. Sedangkan pelepasan kalor ke lingkungan terjadi pada *junction* di sisi panas modul TEC, dimana elektron mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah, untuk dapat mengalir ke semikonduktor tipe-p, maka kelebihan energi pada tipe-n dibuang ke lingkungan dan salah satu sisi dari elemen peltier tersebut menjadi panas[2].

2.2 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor yang terjadi yang terjadi pada TEC adalah dengan cara konduksi dan konveksi. Proses perpindahan kalor secara konduksi terjadi pada kontak dinding heatsink dengan stainless steel blok dan stainless steel blok dengan sisi dingin dari termoelektrik. Sedangkan proses konveksi terjadi pada sirip sirip heatsink.

Konveksi yang terjadi pada sirip-sirip heat sink adalah konveksi paksa atau *forced convection* dengan kipas, dimana proses tersebut terjadi pada sirip-sirip heatsink, karena terdapat gaya luar yang berasal dari kipas yang menggerakkan fluida disekitar heat sink.

2.2.1 Konduksi

Perpindahan kalor yang terjadi secara konduksi merupakan perpindahan kalor/panas tanpa diikuti oleh perpindahan dari molekul benda tersebut. Konduksi juga dapat dikatakan sebagai transfer energi dari sebuah benda yang memiliki energi yang lebih tinggi menuju ke benda yang memiliki energi yang lebih rendah[3]:

$$q = k \frac{(T_1 - T_2)}{l} A \quad (1)$$

Keterangan:

| | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------|
| q | = laju perpindahan kalor | [Watt] |
| $(T_1 - T_2)/l$ | = gradien ke arah perpindahan kalor | [K/m] |
| k | = konduktifitas termal | [W/m.K] |
| A | = luas permukaan benda | [m ²] |

Perpindahan kalor secara konduksi dapat dianalogikan bahwa laju kalor mengalir dari suhu tinggi (T_1) ke suhu yang lebih rendah (T_2) yang menembus luas bidang (A) dengan ketebalan (l) yang memiliki nilai konduktifitas termal bahan (K).

2.3 Pompa Kalor

Sebuah sistem dengan suatu siklus dan berinteraksi secara termal dengan dua reservoir, yaitu reservoir dingin dan reservoir panas. Apabila perpindahan energi terjadi dari reservoir dingin menuju ke reservoir panas, sesuai dengan prinsip kekekalan energi, siklus melepaskan energi Q_h melalui perpindahan kalor ke reservoir panas yang nilainya sama dengan jumlah energi Q_c yang diterima melalui perpindahan kalor dari reservoir dingin dan kerja masukan neto. Siklus ini dapat berupa sebuah siklus refrigerasi atau siklus pompa kalor, bergantung apakah fungsinya membuang kalor Q_c dari reservoir dingin atau menyalurkan energi Q_h ke reservoir panas[4]. Untuk sebuah siklus refrigerasi, koefisien kinerja dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{Q_c}{W} \quad (2)$$

Dimana :

γ = koefisien kinerja sistem refrigerasi.

Q_c = laju kalor pada reservoir dingin [watt].
 W = daya neto [watt].

Dengan fenomena penguapan kalor pada reservoir panas, kalor dipaksa mengalir dari temperatur yang rendah ke temperatur yang lebih tinggi dengan memberikan kerja ke dalam sistem, yaitu daya neto. Maka berlaku persamaan :

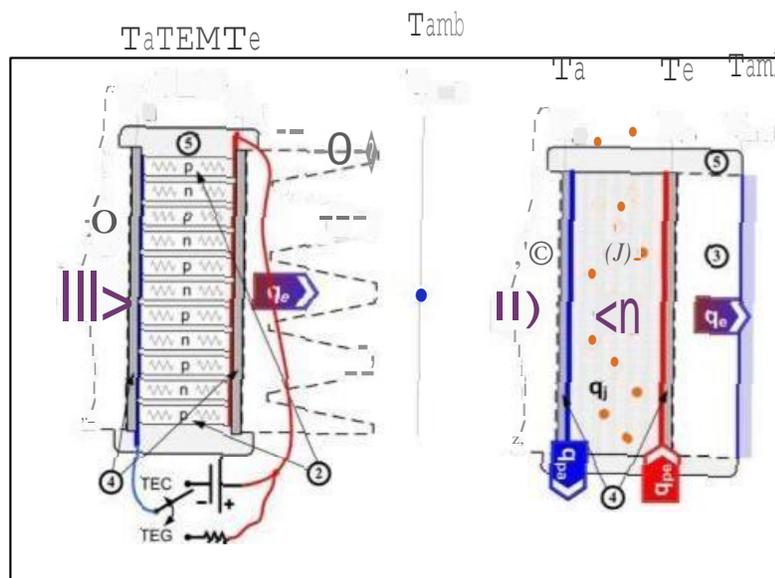
$$Q_h = Q_c + W \tag{3}$$

Dimana :

Q_h = laju kalor pada reservoir panas [watt].
 Q_c = laju kalor pada reservoir dingin [watt].
 W = daya neto [watt].

2.4 Kestimbangan Energi pada TEC

Persamaan konversi energi pada sisi panas dan sisi dingin termoelektrik ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Kestimbangan energi pada *junction* termoelektrik, 1 : *thermal load*; 2 : Modul TEC; 3 : heat sink; 4 : plat keramik; 5 : insulasi termal.[5].

Untuk menghitung besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin peltier dan kalor yang di buang ke lingkungan, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kestimbangan energi pada penyerapan kalor yaitu :

$$Q_c = \alpha I T_c - \frac{\Delta T}{\theta} - \frac{I^2 R}{2} \tag{4}$$

Dimana :

$q_{a/e}$ = laju kalor sisi dingin/panas peltier [watt].
 α = Koefisien Seebeck [V/K].
 I = Arus yang mengalir pada TEC [A].
 T_c = Temperatur sisi dingin peltier [K].
 ΔT = Selisih temperatur sisi panas dan sisi dingin peltier.
 Θ = Resistansi termal peltier [K/W].
 R = Resistansi elektrik peltier [Ω].

Dapat dilihat pada persamaan diatas efek peltier bernilai positif karena menyerap kalor. Kemudian konduksi bernilai negatif karena kalor berpindah dari sisi panas ke sisi dingin. *Joule heating* juga mengurangi efek peltier karena *joule heating* selalu menghasilkan panas akibat mendisipasikan daya. Pada bagian *joule heating* nilainya dibagi dua karena dianggap total hambatan pada modul termoelektrik adalah R, sedangkan pada termoelektrik terdapat dua sisi sehingga $\frac{1}{2} R$ berada pada sisi dingin dan $\frac{1}{2} R$ berada pada sisi panas peltier. Sedangkan pada persamaan sisi panas peltier untuk mengetahui nilai Q_h yaitu[6]:

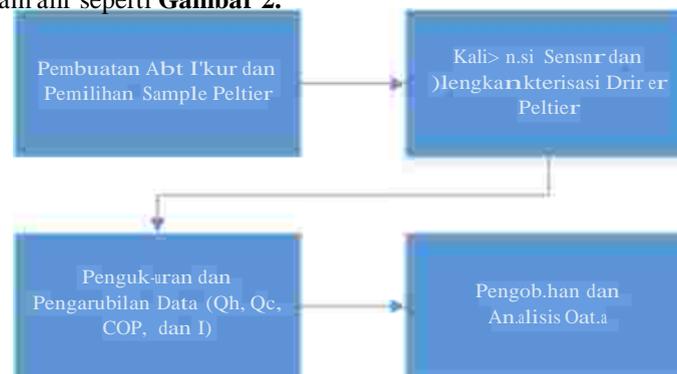
$$Q_c = \alpha I Q_p - \frac{\Delta T}{\theta} + \frac{I^2 R}{2} \quad (5)$$

Dapat dilihat pada persamaan ini bahwa efek peltier bernilai positif karena menghasilkan kalor, kemudian konduksi bernilai negatif karena kalor berpindah dari sisi panas ke sisi dingin peltier, dan *joule heating* bernilai positif karena selalu menghasilkan kalor.

Fenomena penyerapan dan pembuangan kalor pada termoelektrik merupakan salah satu sistem pompa kalor. Oleh karena itu untuk mengetahui nilai Q_h dapat juga dicari dengan persamaan (3)[6].

3. Metodologi

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu: 1) pembuatan alat ukur dan pemilihan sampel peltier; 2) kalibrasi sensor dan mengkarakterisasi keluaran PWM (*Pulse Width Modulation*); 3) pengukuran dan pengambilan data; 4) pengolahan dan analisis data. Alur metodologi penelitian dapat dilihat pada diagram alir seperti **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir metodologi penelitian.

3.1 Pembuatan Alat Ukur dan Pemilihan Sample Peltier

Alat ukur yang digunakan dilengkapi dengan tiga buah sensor termokopel tipe -K, yang mana *probe* positif terbuat dari *nickel-chromium*, sedangkan *probe* negatif adalah *nickel-aluminium*. Termokopel tipe-K memiliki sensitivitas sebesar $\sim 43 \mu V/^{\circ}C$. sensor termokopel merupakan sensor *analog* dengan keluaran berupa tegangan yang nantinya masuk ke *port analog* mikrokontroler, sebelum itu dilakukan proses pengondisian sinyal terlebih dahulu agar didapatkan nilai tegangan yang kompatibel dengan *port ADC* mikrokontroler, sehingga *output* dari rangkaian pengondisian sinyal ini dapat dibaca oleh ADC mikrokontroler. Pada penelitian ini menggunakan termokopel tipe-K, karena ujung dari sensor ini cukup kecil sehingga dapat dipakai untuk mengukur temperatur antara sisi dingin peltier dengan logam perantara dan logam perantara dengan heat sink. Dan tiga buah modul IC jenis MAX 6675 digunakan sebagai prosesing sinyal keluaran oleh masing-masing sensor termokopel. Pengujian sample peltier yang digunakan terdiri dari empat buah sample peltier yaitu TEC-127016, TEC-12710, TEC-127015, dan SP 1848. Pemilihan sample uji ditentukan dengan membedakan spesifikasi pada jenis-jenis peltier yang nilai tegangan dan arus maksimum yang ada di *datasheet* ke empat peltier tersebut. Kemudian untuk memvariasikan nilai arus dan tegangan yang masuk ke peltier digunakan driver PWM dengan menggunakan mosfet jenis IRF540N.

3.2 Kalibrasi Sensor dan Karakterisasi Driver PWM

Pada proses kalibrasi dilakukan perbandingan hasil kalibrasi antara alat yang telah dibuat dengan kalibrator FLUKE 87V. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian keluaran temperatur dari MAX 6675 melalui pin *digital* arduino mega. Proses kalibrasi termokopel dilakukan dengan menghubungkan termokopel tipe-K ke sumber panas (*hot plate*), kemudian diamati *output* temperatur termokopel pada *serial monitor* arduino mega dan juga *output* temperatur pada FLUKE 87V sebagai kalibrator. Berikut **Gambar 3**. Menunjukkan skema kalibrasi alat yang telah dibuat dengan FLUKE 87V.



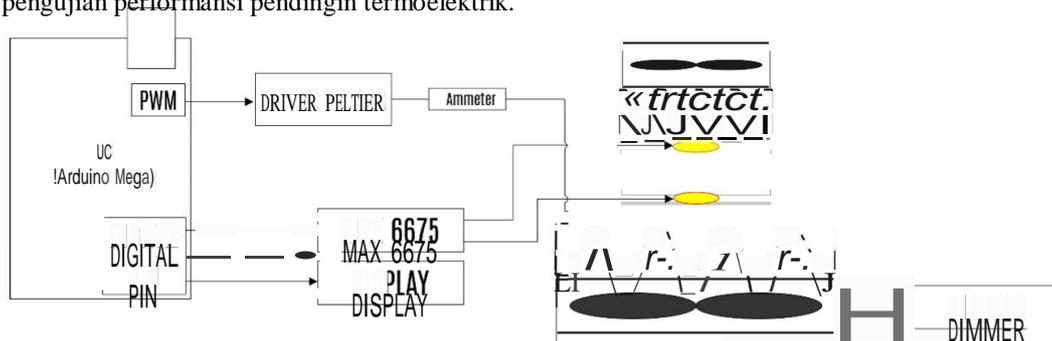
Keterangan :

1. FLUKE Multimeter
2. Hot plate
3. MAX 6675
4. PC

Gambar 3. Skema kalibrasi alat dengan Fluke 87V.

3.3 Pengukuran dan Pengambilan Data

Pengukuran performansi pendingin termoelektrik dilakukan setelah mengetahui driver peltier dapat dengan baik memvariasikan arus yang masuk ke peltier serta tiga buah sensor temokopel setelah dikalibrasi menghasilkan error yang cukup kecil yaitu tidak lebih dari 3%, langkah selanjutnya yaitu menghubungkan beban peltier jenis TEC-127016, TEC-12710, TEC-127015, dan SP 1848. Pengujian dilakukan dengan mengukur temperatur antara sisi dingin peltier dengan logam perantara dan temperatur antara logam perantara dengan heat sink. Kemudian menjaga nilai temperatur sisi panas peltier tidak melebihi 50°C, 60°C, dan 65°C, dengan cara menggunakan dimmer untuk mengatur kecepatan dari kipas pada heat sink sisi panas peltier. Dimana akuisisi data dilakukan dengan cara menggunakan PLX-DAQ dan elemen *display* menggunakan LCD 16x2. Pada **Gambar 4**. Berikut ini skema pengujian performansi pendingin termoelektrik.



Gambar 4. Skema pengujian alat ukur performansi pendingin termoelektrik.

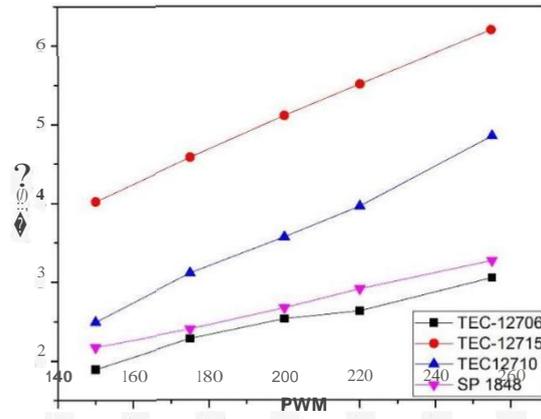
3.4 Pengolahan dan Analisis Data

Pada penelitian ini, penulis memperkirakan nilai Q_c (laju perpindahan kalor pada sisi dingin peltier) dengan menggunakan persamaan (1), dan menghitung nilai Q_h (laju perpindahan kalor pada sisi panas peltier) dengan menggunakan persamaan (3) dan (5). Untuk pengukuran arus menggunakan ammeter SANWA CD771. Sehingga *output* penelitian ini didapatkan kurva hubungan Q_h terhadap arus, Q_c terhadap arus, dan COP terhadap arus.

4. Pembahasan

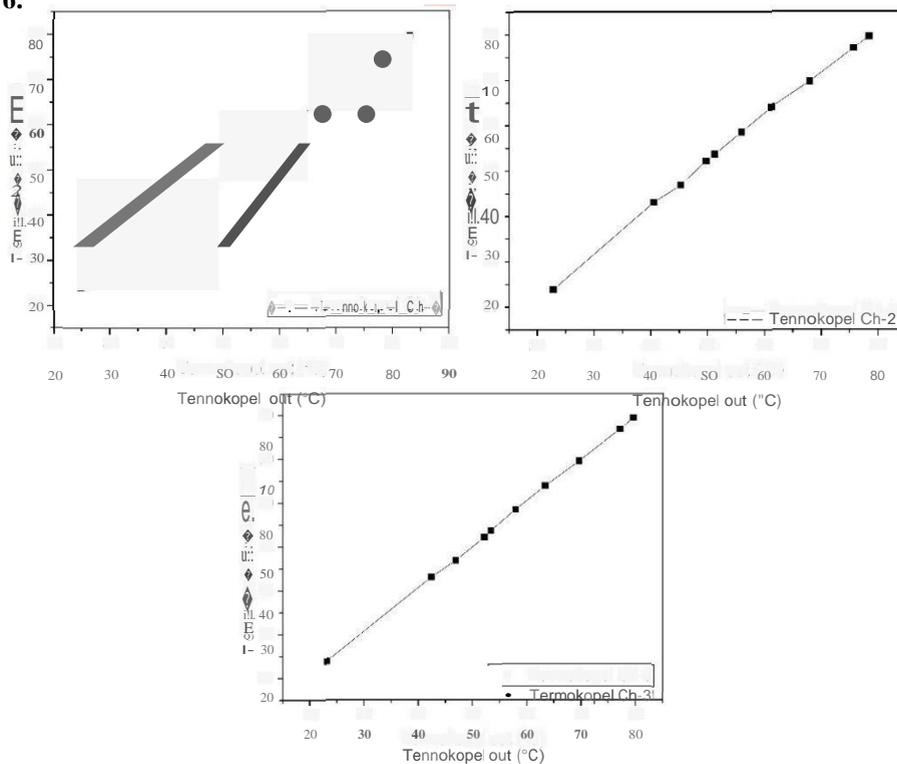
4.1 Pengujian Driver Peltier dan Sensor Temperatur

Dengan memvariasikan arus keluaran melalui PWM dari rangkaian driver peltier satu arah ini diatur melalui mikrokontroler dapat dilihat apakah rangkaian driver sudah bekerja dengan baik atau belum. Pada **Gambar 5**. didapatkan hasil pengujian driver arus peltier terhadap nilai PWM yang diberikan.



Gambar 5. Grafik pengujian rangkaian driver peltier dengan beban variasi peltier.

Setelah dilakukan kalibrasi antara alat yang telah dibuat dengan kalibrator FLUKE 87V, didapatkan grafik seperti pada Gambar 6.

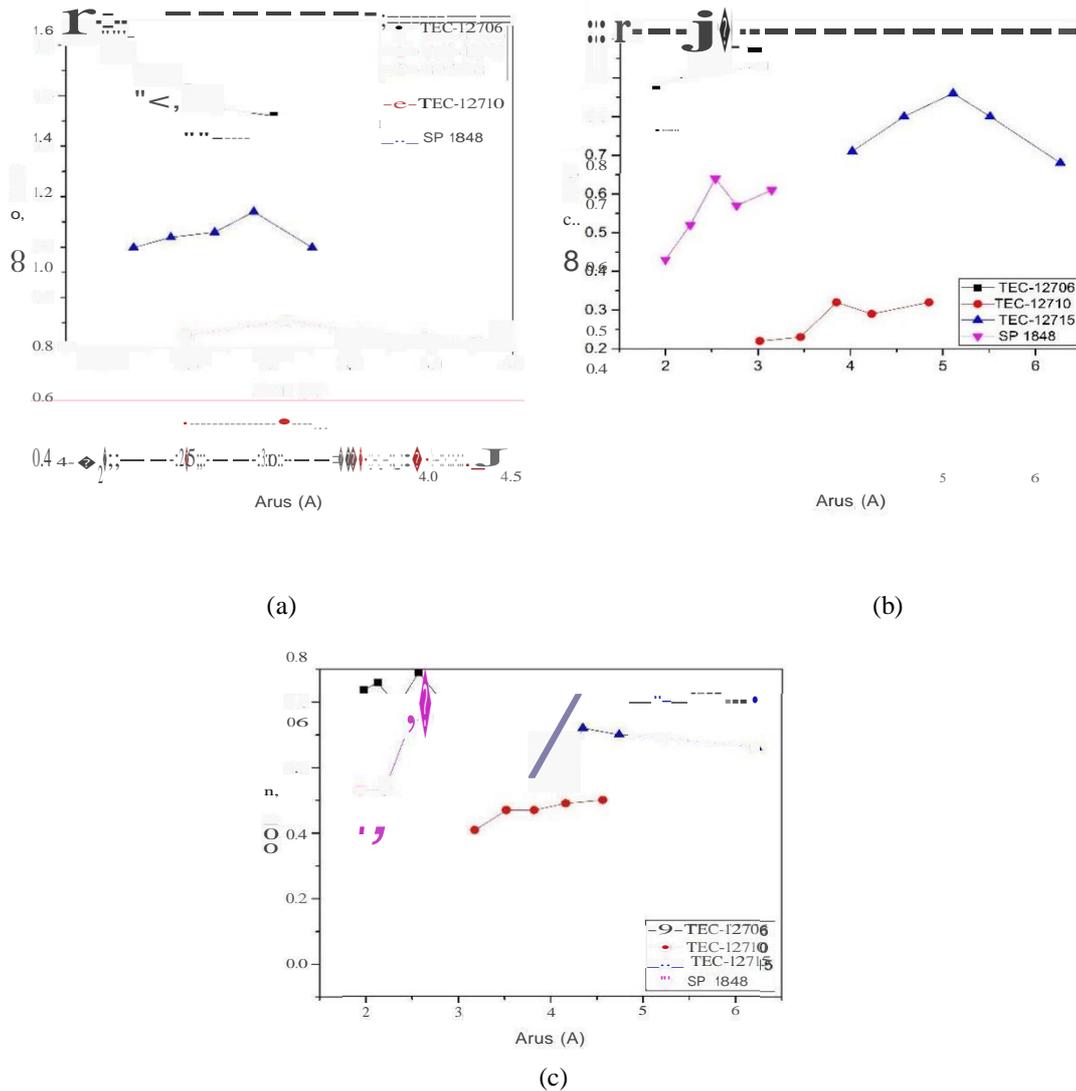


Gambar 6. Grafik kalibrasi antara alat uji dengan FLUKE 87V.

Pada gambar 6. Dapat dilihat nilai aktual sensor yang mendekati dengan nilai pada FLUKE 87V dan besar R^2 termokopel 1, 2, dan 3, masing-masing adalah 0.9995, 0.9985, dan 0.9995, dengan persamaan linearisasinya yaitu untuk termokopel 1, 2, dan 3 adalah masing-masing $y=0.9592x+0.1953$, $y=0.9933x+2.1379$, dan $y=0.9867x+0.9939$. nilai error ketiga sensor didapatkan masing-masing 3.7%, 3.7% dan 0.6%.

4.2 Hasil Uji Performansi Termoelektrik

Hasil dari pengukuran akan dibandingkan dengan peltier jenis yang lain ketika T_h dijaga 50°C, 60°C dan 65°C dengan masukan arus yang sama. Pengukuran COP dari masing-masing jenis peltier dilakukan dengan menggunakan persamaan (2). Dari hasil pengukuran dihasilkan kurva pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik perbandingan COP saat Th=50°C (a), Grafik perbandingan COP saat Th=60°C (b), dan Grafik perbandingan COP saat Th=65°C (c).

Tabel 1. Perbandingan nilai COP pada peltier ketika arus maksimum.

| Jenis modul TEC | COP | | |
|-----------------|------|------|------|
| | 50°C | 60°C | 65°C |
| TEC-12706 | 1.32 | 0.93 | 0.79 |
| TEC-12710 | 0.42 | 0.32 | 0.37 |
| TEC-12715 | - | 0.68 | 0.66 |
| SP 1848 | 0.8 | 0.61 | 0.62 |

Jadi pada pengujian performansi termoelektrik menunjukkan bahwa TEC-12706 memiliki nilai koefisien kinerja paling tinggi dibandingkan TEC-12710, TEC-12715, dan SP 1848.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian telah dilakukan pengukuran performansi pendingin termoelektrik terdapat beberapa kesimpulan yang didapat oleh peneliti, diantaranya :

1. Alat yang dibuat dapat memperkirakan nilai Qc, dan menghitung nilai Qh serta koefisien kinerja dari peltier serta hubungannya terhadap arus peltier.
2. Pada pengujian didapatkan bahwa TEC-12706 memiliki nilai COP paling tinggi yaitu 1.32, dimana sisi panas peltier dijaga temperaturnya sebesar 50°C. dengan nilai koefisien kinerja yang cukup tinggi

dibandingkan dengan TEC-12710, TEC-12715, dan SP 1848, maka dari itu pada penelitian ini TEC-12706 baik digunakan untuk sistem pendingin.

3. Hasil pengujian menunjukkan hasil performansi peltier akan semakin baik apabila pada pengondisian temperatur tinggi dijaga agar serendah mungkin, yaitu dengan cara memilih spesifikasi kipas/*fan* yang bagus agar dapat menjaga temperatur sisi panas peltier agar tidak terlalu panas.

6. Daftar Pustaka

- [1] Xiao Zhang, Li-Dong Zhao. (2015). Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity. *Journal of Materiomics* 1 (2015) 92-105, 92.
- [2] Tresna Dwi Sugiarto, I. P. (2015). Analisis dan Simulasi Distribusi Panas pada Heat Sink Processor CPU dengan Comsol Multiphysics. repository.telkomuniversity.ac.id, 1-6.
- [3] Theodore L. Bergman, A. S. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition*. United States: John Wiley & Sons.
- [4] Michael J. Moran, H. N. (2004). *Termodinamika Teknik Edisi ke-4*. PENERBIT ERLANGGA.
- [5] Ben-Yaakov, S. L. (2007). *Modelling and Analysis of Thermoelectric Modules*. *IEEE*.
- [6] Ajiwiguna, T. A. (2014, June 15). *Dasar Perhitungan Termoelektrik (Thermoelectric)/Elemen Panas Dingin*. Retrieved from T-Lab: <http://catatan-teknik.blogspot.co.id/2014/06/dasar-perhitungan-termoelektrik.html>