

M6-024 Karakterisasi Modul Termoelektrik (Elemen Peltier) tanpa Spesifikasi sebagai Termoelemen Sistem Pendingin

Zuryati Djafar, Nandy Putra, Raldi A. Koestoeer

Laboratorium Perpindahan Kalor Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI, Depok, 16424- Jawa Barat Indonesia

Phone: +62-081355026518, Fax: 021-7270033, E-mail: ydjafar@yahoo.com

ABSTRAK

Elemen Peltier merupakan modul/peralatan termoelektrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi sebuah gradien temperatur. Sebagai sebuah sistem pendingin, elemen ini tidak bising, mudah perawatannya dan berdimensi relatif kecil, ringan serta ramah terhadap lingkungan karena tanpa refrigeran. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik modul elemen Peltier sebagai sebuah mesin pendinginan termoelektrik non branded (tidak disertai merk dan spesifikasi). Pengujian dilakukan dalam penelitian ini, dengan merancang/merakit sebuah dudukan pengujian yang menggunakan sepasang water block dengan menyisipkan modul termoelektrik di antara keduanya. Hasilnya menunjukkan Besar temperatur sisi dingin maksimum tertinggi pada tiap kondisi thermostatic bath 30, 27 dan 24°C, masing masing adalah 2.9 °C, 2.2°C dan 0.7°C dengan daya input optimum 16.8 W, 28 W dan 18.4 W; Perbedaan temperatur optimum tertinggi pada tiap kondisi Circulating thermostatic bath (CTB) 30, 27 dan 24°C, masing masing adalah 46.9 °C, 35.7°C dan 32.9°C dengan daya input optimum 36 W, 39.6 W dan 28 W.

Kata kunci: Karakteristik, modul termoelektrik, elemen Peltier, Sistem Pendingin

Abstrak

Elemen Peltier merupakan modul/peralatan termoelektrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi sebuah gradien temperatur. Sebagai sebuah sistem pendingin, elemen ini tidak bising, mudah perawatannya dan berdimensi relatif kecil, ringan serta ramah terhadap lingkungan karena tanpa refrigeran. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik modul elemen Peltier sebagai sebuah mesin pendinginan termoelektrik non branded (tidak disertai merk dan spesifikasi). Pengujian dilakukan dalam penelitian ini, dengan merancang/merakit sebuah dudukan pengujian yang menggunakan sepasang water block dengan menyisipkan modul termoelektrik di antara keduanya. Hasilnya menunjukkan Besar temperatur sisi dingin maksimum tertinggi pada tiap kondisi thermostatic bath 30, 27 dan 24°C, masing masing adalah 2.9 °C, 2.2°C dan 0.7°C dengan daya input optimum 16.8 W, 28 W dan 18.4 W; Perbedaan temperatur optimum tertinggi pada tiap kondisi Circulating thermostatic bath (CTB) 30, 27 dan 24°C, masing masing adalah 46.9 °C, 35.7°C dan 32.9°C dengan daya input optimum 36 W, 39.6 W dan 28 W.

Kata kunci: Karakteristik, modul termoelektrik, elemen Peltier, Sistem Pendingin

I. PENDAHULUAN

Mengingat besarnya pengaruh jenis refrigeran terhadap dampak lingkungan, telah berkembang sebuah sistem pendinginan alternatif yang tidak memerlukan refrigeran, sistem tersebut menggunakan efek listrik yang disebut sebagai *efek Peltier*, yaitu efek yang terjadi bila terdapat dua material yang berbeda dialiri tegangan pada bagian ujung yang disambungkan satu sama lainnya maka akan terjadi perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur ini sebanding dengan arus searah yang dialirkan dan di setiap sambungan akan terjadi pelepasan kalor dan/atau penyerapan kalor.

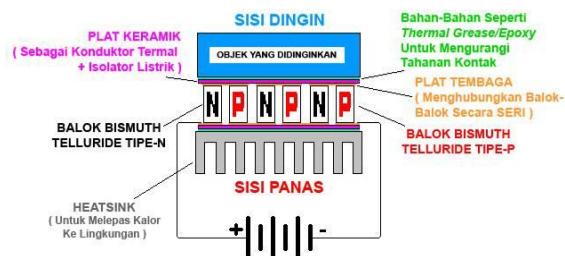
Sebagai sebuah peralatan termoelektrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi sebuah gradien temperatur, elemen Peltier lazim digunakan sebagai pendingin ataupun pemanas. Aplikasinya dalam hal ini, masih terbilang kecil sampai adanya perkembangan dari bahan semikonduktor [1]. Dengan adanya perkembangan bahan semikonduktor tersebut kemampuan termoelektrik pada beberapa aplikasi pendinginan telah dapat diperoleh.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan modul termoelektrik dalam skala laboratorium, dimulai dari **Putra** [2] telah melakukan penelitian pengujian modul termoelektrik untuk modul tunggal dan modul tumpuk ganda sebagai modul pendinginan. Dalam laporannya, Putra mengungkapkan bahwa modul termoelektrik tersebut akan bekerja optimal sebagai pendinginan bilamana menggunakan dua modul termoelektrik dibandingkan modul tunggal. **Imansyah** [3], mencoba menguji modul termoelektrik tunggal sebagai pendinginan pada komponen power IC mini Compo tape recorder, hasilnya hanya melaporkan mengenai keuntungan menggunakan modul termoelektrik dibandingkan dengan tanpa menggunakan modul termoelektrik. penelitian tentang pengembangan kotak *vaccine carrier* dengan modul termoelektrik tunggal (*single-stage*) [4] maupun *double-stage* [5], pendinginan *vaccine carrier* berbasis termoelektrik *heat-pipe* [6], pendinginan kotak *Blood Carrier* [7], pendinginan termoelektrik *heatsink-Fan* [8].

Saat ini elemen Peltier (modul termoelektrik) banyak beredar di pasaran. Modul termoelektrik yang beredar bebas tersebut mempunyai harga yang jauh lebih murah dibanding harga termoelektrik dari industri semikonduktor, akan tetapi modul tersebut tidak mencantumkan spesifikasi yang dimiliki. Oleh karena itu dipandang perlu untuk melakukan uji spesifikasi sehingga dapat diketahui kemampuan sebenarnya yang dapat dihasilkan dari modul termoelektrik tersebut. Dengan mengetahui karakteristik yang sebenarnya pembeli dapat yang sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Apakah pertimbangan secara ekonomi atau kualitas yang akan digunakan.

Oleh karenanya, dalam penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik modul termoelektrik (elemen Peltier) *non branded* tersebut.

Modul Termoelektrik



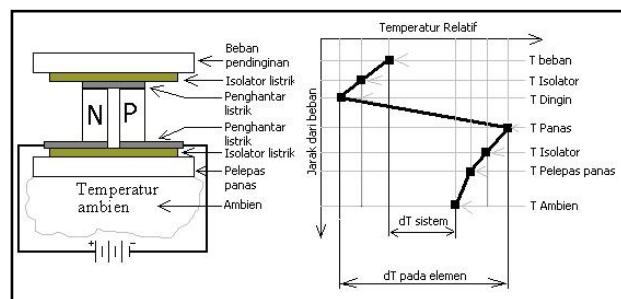
Gambar 1. Skema Modul Termoelektrik
Sumber: Melcor Industries, (www.melcor.com)

Pada teknologi termoelektrik, yang berkembang pesat sejalan dengan kemajuan pengembangan bahan-bahan termokopel semikonduktor. Bahan yang lazim digunakan adalah bahan semikonduktor tipe-N dan tipe-P Bismuth Telluride. Termokopel-termokopel tersebut disusun secara kelistrikan dihubungkan seri dan secara termal dihubungkan paralel menjadi satu modul (gambar 1.), modul ini disusun di antara dua pelat keramik dengan metal sirkuit dengan tujuan mengisolasi listrik dan menghantarkan panas secara optimal. Sebuah modul elektrik (Elemen Peltier) bisa terdiri dari 3-127 termokopel, dan beroperasi dengan perbedaan temperatur sisi dingin dan panas mencapai 70°C , dan dapat mencapai temperatur sampai -20°C pada sisi dinginnya [1].

Konsep pendinginan Peltier mendayagunakan modul termoelektrik dan sumber-daya arus DC. Pada permukaan/sisi dingin elektron-elektron menyerap energi kalor saat bergerak dari tingkat energi rendah pada elemen semikonduktor tipe-P menuju tingkat energi yang lebih tinggi pada elemen semikonduktor tipe-N. Sumber daya arus DC memberikan energi kepada elektron untuk mengalir ke dalam sistem.

Pada permukaan/sisi panas, elektron melepaskan kalor ke lingkungan yang lebih luas saat bergerak dari tingkat energi tinggi pada elemen semikonduktor tipe-N menuju tingkat energi yang lebih rendah pada elemen semikonduktor tipe-P [2].

Dalam perencanaan pendinginan termoelektrik, ada tiga parameter khusus yang perlu diperhatikan, yaitu T_c sebagai temperatur sisi dingin modul ($^{\circ}\text{C}$), T_h adalah temperatur sisi panas modul ($^{\circ}\text{C}$) dan Q_c adalah beban kalor yang diserap pada sisi dingin modul (Watt).



Gambar 2. Skematik rangkaian sistem pendinginan Peltier dan profil temperatur termoelektrik [5].

Temperatur sisi dingin ditentukan oleh temperatur sampel yang akan didinginkan. Apabila sampel berkontak langsung dengan sisi modul, maka T_c akan sama dengan temperatur sampel yang didinginkan. Sedangkan bila sampel tidak berkontak langsung dengan modul, maka T_c lebih dingin dari tempertur sampel yang didinginkan.

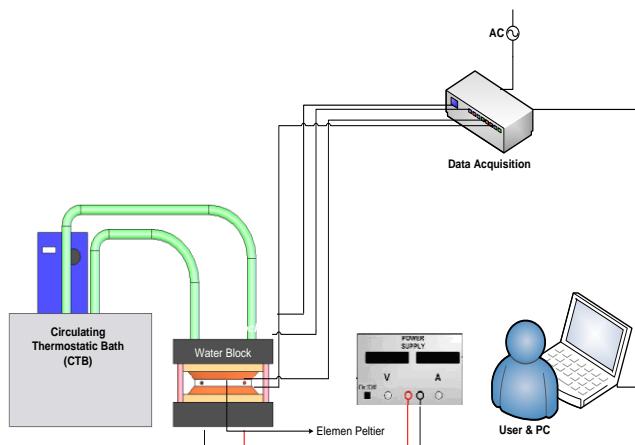
Temperatur sisi panas tergantung dua faktor, yaitu: temperatur ambien (lingkungan), dan efisiensi *heat exchanger* yang digunakan pada sisi/permukaan panas modul. Gambar 2, memberikan gambaran umum skematik rangkaian sistem pendinginan Peltier dan profil temperatur termoelektrik.

Pada elemen Peltier proses yang terjadi dapat bersifat reversibel dimana saat polaritas arus diubah dari positif ke negatif atau sebaliknya maka arah pemompaan kalor dari elemen ini juga berubah menjadi pengemisi kalor.

Elemen Peltier menggunakan sumber daya arus DC dikarenakan arah tegangan tidak boleh bolak balik untuk menciptakan efek Peltier [5].

II. METODE PENELITIAN

Sesuai dengan tujuan penelitian yang akan dilakukan untuk menentukan karakteristik modul termoelektrik (elemen Peltier) *non branded* (modul tanpa spesifikasi), maka penelitian ini dibuat instalasi pengujian seperti gambar 3 berikut:



Gambar 3. Instalasi Pengujian

Mekanisme Pengambilan Data

Lama Pengamatan pengujian 900 detik untuk setiap pemberian variasi tegangan 4,6 8, 10,12,14 dan 16 Volt. Temperatur air pendingin ke dalam *water block* diupayakan se konstan mungkin dengan menggunakan *Circulating Thermostatic Bath (CTB)* yang divariasikan pada 3 kondisi temperatur, yaitu: 24, 27 dan 30°C.

Modul termoelektrik disusun di antara dua *water block*, dikedua sisi modul (sisi panas dan sisi dingin) diletakkan masing-masing sebuah kabel termokopel tipe K, termokopel ini disambungkan ke alat ukur ADAMtech khusus pengukuran temperatur yang dihubungkan ke komputer sebagai sebuah data akuisisi; Kabel termokopel lainnya ditempatkan pada saluran air masuk dan keluar ke *water block*. Dua buah kabel termokopel pada fluida dalam CTB dan untuk lingkungan (ambien).

Data pengukuran beberapa temperatur pada ke 6 kabel termokopel tercatat langsung dalam bentuk file notepad dan secara visual dapat dibaca dalam layar computer dengan bantuan *software* Advantech yang akan digunakan. Data yang terbaca adalah T_{hot} dan T_{cold} sisi elemen Peltier, T_{air} masuk *Water Block*, T_{air} keluar *Water Block*, Temp. *Circulating Termostatik Bath* (CTB), Besar arus dan tegangan dari listrik DC. Data arus, tegangan dan temperatur-temperatur ini selanjutnya digunakan untuk menghitung besar daya input yang diberikan dan besar selisih temperatur pada kedua sisi elemen Peltier.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian karakteristik terhadap beberapa buah modul termoelektrik Tunggal (elemen Peltier) telah dilakukan dengan variasi 3 kondisi temperatur CTB yakni 30, 27 dan 24°C dan diasumsikan sebagai temperatur fluida pendingin pada permukaan sisi Panas elemen Peltier.

Tabel 1. Daya Input pada Temperatur Sisi Dingin Minimum($T_{c\min}$)

No .	TCB- 30°C		TCB- 27°C		TCB- 24°C	
	Day a (wat t)	$T_{cmi\ n}$ (°C)	Day a (wat t)	T_{cmin} (°C)	Day a (wat t)	T_{cmin} (°C)
P0 1	17.6	6.8	28.8	2.2	18.4	0.7
P0 2	17.6	7.5	17.6	4.8	27.0	2.6
P0 3	17.6	5.7	17.6	4.6	---	
P0 4	16.8	2.8	---		---	
P0 5	8.4	15.7	---		---	
P0 6	16.0	14.5	9.0	11.6	---	
P0 7	9.6	14.1	10.2	12.2	17.6	9.3
P0 8	4.0	19.0	9.0	17.1	4.0	15.7

P0 9	18.4	8.8	10.2	10.0	10.8	8.2
P1 0	10.8	15.8	10.2	14.5	9.6	14.1

Tabel 1 di atas memperlihatkan data hasil pengukuran pada Temperatur Sisi Dingin Minimum ($T_c \text{ min}$) Daya Input elemen Peltier, untuk masing-masing kondisi temperatur CTB 30, 27 dan 24°C.

Sedangkan tabel 2 memperlihatkan hasil pengukuran daya input optimum pada selisih temperatur (sisi panas dan sisi dingin elemen Peltier) maksimum untuk masing-masing temperatur CTB seperti terlihat berikut:

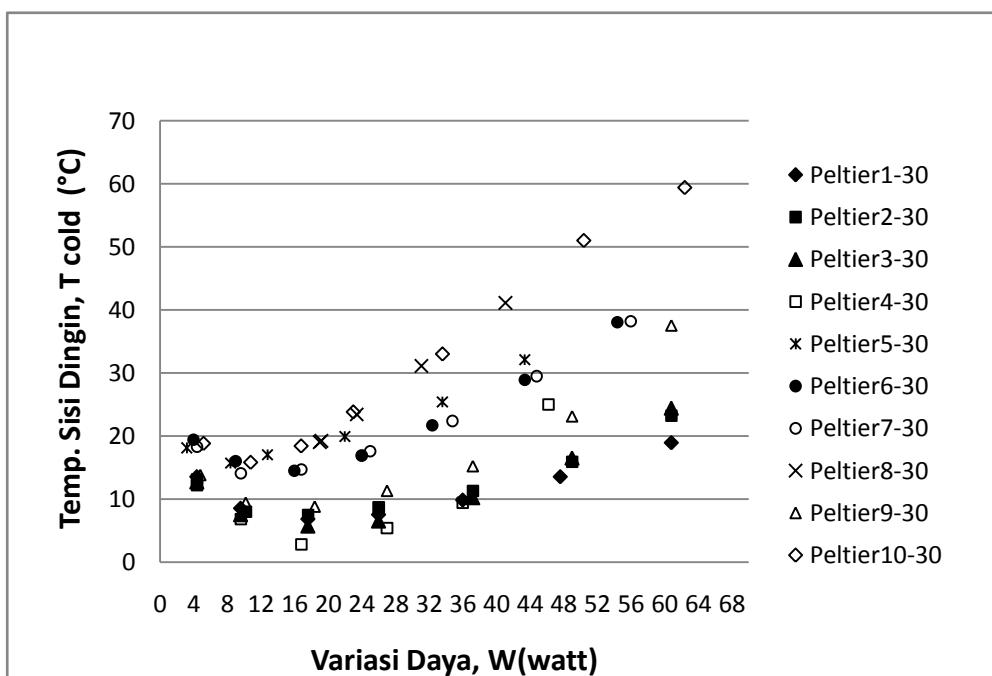
Tabel 2. Daya Input Optimum pada Perbedaan Temperatur Maksimum (ΔT_{max})

No.	TCB- 30°C		TCB- 27°C		TCB- 24°C	
	Daya (watt)	ΔT_{max} (°C)	Daya (watt)	ΔT_{max} (°C)	Daya (watt)	ΔT_{max} (°C)
P01	17.6	24.4	39.6	35.7	28.0	32.9
P02	26.0	31.8	37.2	30.9	27.0	29.8
P03	26.0	30.2	27.0	27.5	---	---
P04	36.0	46.9	---	---	---	---
P05	22.0	28.7	---	---	---	---
P06	24.0	30.2	16,0	26.6	---	---
P07	44.8	30.6	33.6	30.1	44.8	32.6
P08	14.4	16.3	9.0	16.0	16.0	13.1
P09	18.4	24.0	17.6	20.8	18.4	20.3
P10	16.8	24.1	17.6	22.1	24.0	18.4

Data pada table 1 dan 2 di atas diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 4 dan 5, untuk kondisi temperatur 30 °C.

1. Pada penelitian ini daya input optimum bervariasi antara 4 watt sampai 18.4 watt dengan temperatur sisi dingin minimum yang dihasilkan berada dalam interval 19°C sampai 2.8°C.

2. Gambar 4, memperlihatkan kecendrungan yang sama untuk setiap elemen bahwa semakin besar daya input optimum maka pencapaian temperatur sisi dingin minimum (T_{cold}) akan semakin besar pula hingga pada suatu daya input tertentu, temperatur sisi dinginnya berbalik mendekati temperatur sisi panas.
3. Besar penurunan Temperatur Sisi Dingin minimum yang terendah adalah 2.8°C pada daya input 16.8 W (elemen Peltier no.4).
4. Terdapat dua (3) elemen Peltier (Peltier no. 1, 2 dan 3) yang mempunyai daya input optimum yang sama (17.6 W), namun mempunyai temperatur sisi dingin minimum yang sedikit berbeda (sekitar $1-2^{\circ}\text{C}$).



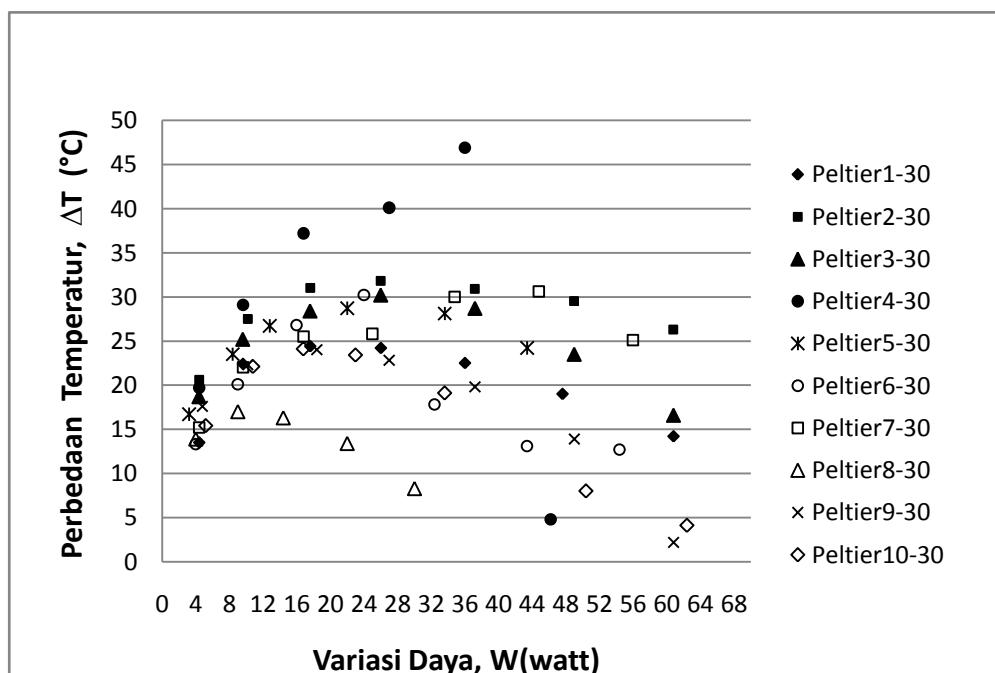
Gambar 4. Variasi Daya Vs T_{cold} minimum, CTB 30°C

Gambar 5 memperlihatkan karakteristik seperti berikut:

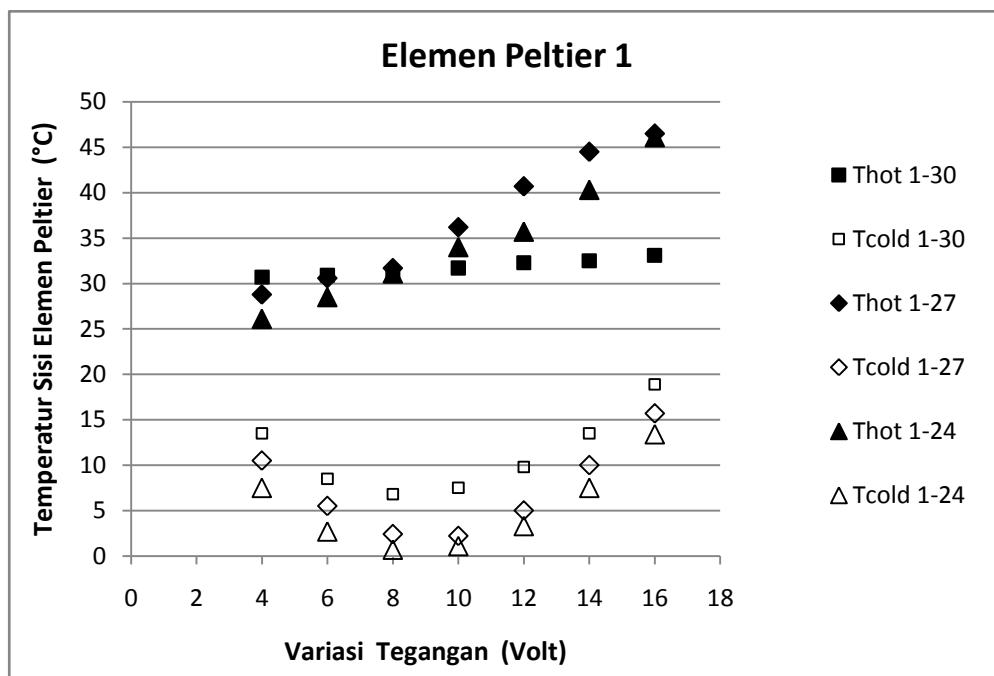
1. Dari setting terdapat dua (2) elemen Peltier (Peltier 2 dan 3) yang mempunyai daya input optimum yang sama (26 W), namun mempunyai perbedaan temperatur maksimum yang sedikit berbeda (sebesar 1.6°C). Sementara itu terdapat pula 2 buah peltier (Peltier 3 dan 6) memiliki perbedaan temperatur maksimum yang sama walaupun dengan pemberian daya input optimum yang berbeda sebesar 2 watt .
2. Dari grafik di atas, terlihat kecendrungan yang sama untuk setiap elemen Peltier, bahwa semakin besar daya input yang diberikan, memberikan perbedaan temperatur yang meningkat. Namun pada daya input tertentu akan menurun. pada Pada penelitian ini daya input optimum bervariasi antara 14.4 watt sampai 44.8 watt dengan perbedaan temperatur maksimum yang dihasilkan berada dalam interval 16.3°C sampai 30.6°C .

3. Gambar 5, memperlihatkan bahwa semakin besar daya optimum maka perbedaan temperatur maksimumnya akan semakin besar pula hingga pada suatu daya tertentu kemudian akan berkurang. Hal ini disebabkan karena temperatur sisi dingin
4. elemen Peltier berubah mendekati temperatur sisi panas elemen, dimana perubahan temperatur (ΔT) merupakan selisih antara temperatur sisi panas(T_h) dan sisi dingin (T_c) elemen Peltier.
5. Perbedaan temperatur maksimum yang tertinggi adalah $46,9^{\circ}\text{C}$ pada daya input optimum 36 W, namun setelah daya input tersebut terjadi penurunan (*drop*) perbedaan temperatur yang cukup besar, hal ini disebabkan temperatur pada sisi panas permukaan elemen menurun drastis dan ini terjadi pada elemen Peltier No.4.

Untuk grafik kondisi temperatur CTB 27 dan 24°C tidak ditampilkan, karena mempunyai kencendrungan karakteristik yang sama, hanya berbeda dalam nilai/ harga yang dicapai.



Gambar 5. Variasi Daya Vs ΔT_{max} pada CTB 30°C



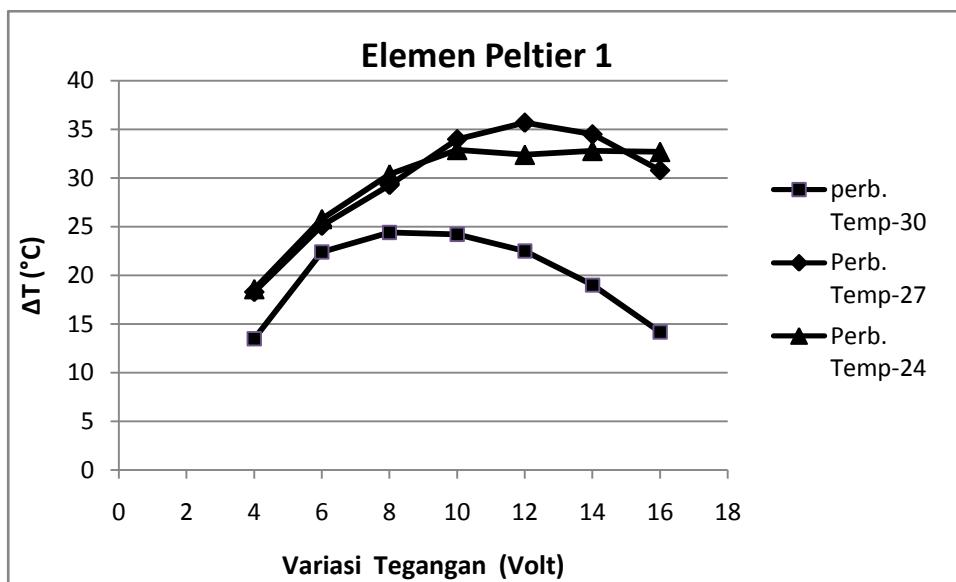
Gambar 6. Variasi Tegangan Vs Thot & Tcold elemen Peltier pada 3 kondisi temp. CTB

- **Karakteristik Elemen Peltier 1**

Dari 10 buah elemen peltier yang telah diuji, karakteristik dari elemen Peltier 1 ditunjukkan untuk mewakili karakteristik elemen peltier lainnya yang mempunyai kecenderungan karakter yang sama.

Gambar 6 dan 7 menunjukkan karakteristik elemen Peltier 1 pada 3 kondisi temperatur CTB, yaitu sebagai berikut:

1. Besar penurunan temperatur sisi dingin (T_{cold}) pada setiap elemen Peltier yang terjadi seiring penurunan temperatur kondisi CTB, mempunyai interval rata-rata $0.7-6.8^{\circ}\text{C}$.
2. Penurunan temperatur sisi dingin terjadi seiring penambahan tegangan yang terjadi namun pada tegangan 8 Volt (optimum), penurunan temperatur sisi dingin tidak terjadi lagi, akan tetapi berbalik mendekati temperatur sisi panas elemen. Hal ini terjadi, oleh karena efek Peltier (pendingin) pada modul tidak ada lagi dan berubah menjadi efek pemanasan.
3. Temperatur sisi panas elemen meningkat seiring penambahan tegangan yang diberikan.
4. Perbedaan temperatur pada kedua sisi elemen Peltier meningkat seiring penurunan temperatur kondisi CTB, namun pada input tegangan tertentu berbalik menurun. Kecenderungan ini terjadi seperti pada kecenderungan penurunan temperatur sisi dingin.
5. Besar interval perbedaan temperatur pada 3 kondisi temperatur CTB sebesar $24.4^{\circ}\text{C}-35.7^{\circ}\text{C}$ dengan interval tegangan 8-12 Volt.



Gambar 7. Variasi Tegangan Vs ΔT elemen Peltier 1 pada 3 kondisi temp. CTB

- **Tegangan optimal dari grafik tegangan 8 Volt**

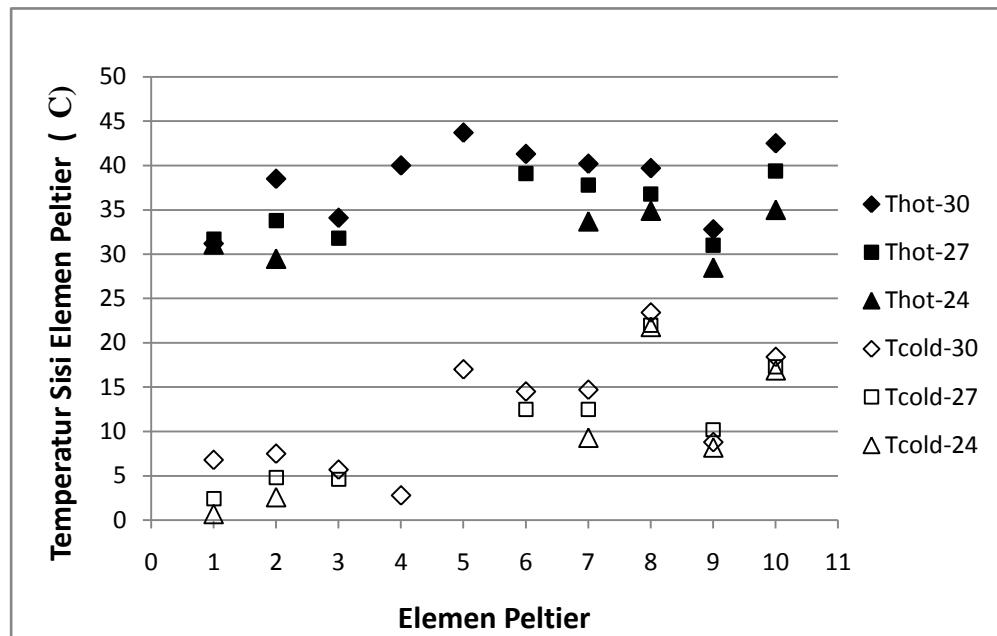
Dari kesepuluh elemen Peltier yang teruji, tegangan yang optimal rata-rata adalah berada pada daerah tegangan 8 Volt.

Gambar 8 dan 9 memperlihatkan karakteristik kesepuluh elemen Peltier yang telah diuji, yang mempunyai kecenderungan yang sama pada masing-masing elemen. Perbedaan yang terjadi pada tiap elemen, terletak pada besar interval temperatur dan daya input yang diperoleh.

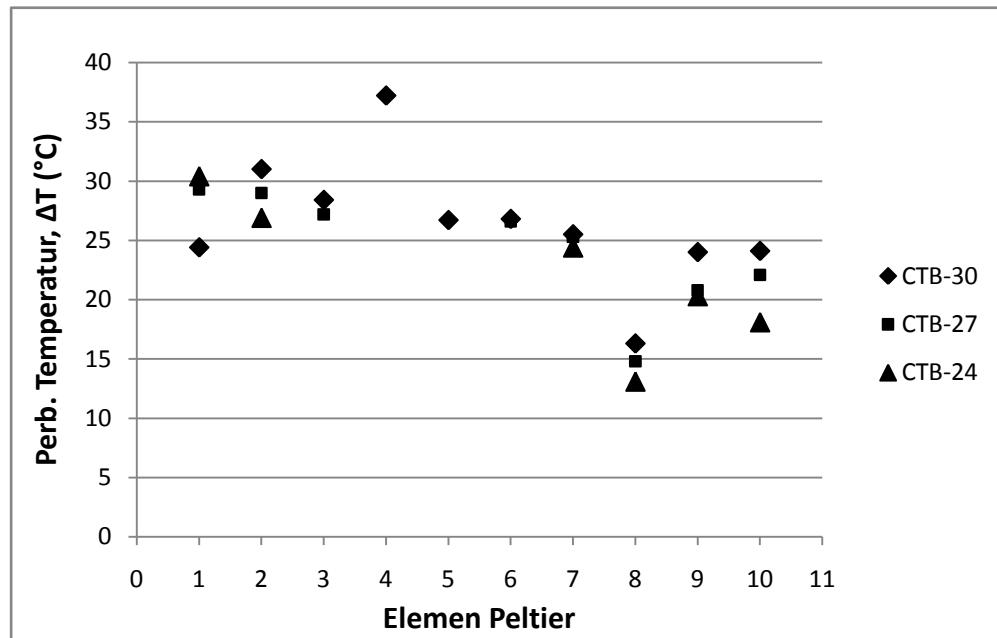
- Terlihat dari gambar 8, bahwa temperatur sisi panas (Thot) untuk setiap elemen Peltier pada 3 kondisi temperatur CTB berada dalam interval besar temperatur **31.2-43.7°C, 31-39.1°C dan 28.5-35°C**.
- Besar penurunan temperatur sisi panas (Thot) pada setiap elemen Peltier yang terjadi seiring penurunan temperatur kondisi CTB, mempunyai interval rata-rata 0.6-4.7°C.
- Penurunan besar temperatur sisi dingin (Tcold) untuk setiap elemen Peltier pada 3 kondisi temperatur CTB berada dalam interval besar temperatur **23.4-2.8°C, 22-2.4°C dan 21.8-0.7°C**.
- Besar penurunan temperatur sisi dingin (Tcold) pada setiap elemen Peltier yang terjadi seiring penurunan temperatur kondisi CTB, mempunyai interval rata-rata 0.2-4.4°C.

Dalam gambar 9, memperlihatkan karakteristik Perbedaan Temperatur pada setting tegangan 8 Volt terhadap 10 elemen Peltier yang diuji pada 3 kondisi temperatur (30, 27 dan 24 °C) CTB, seperti berikut:

- Interval perbedaan temperatur pada setiap elemen Peltier untuk masing-masing kondisi temperatur CTB adalah **16.3-37.2°C, 14.8-29.3°C dan 13.1 -30.4°C** dengan interval daya input masing-masing adalah **12.8-18.4 W, 15.2-18.4 W dan 16-18.4 W** dimana arus yang mengalir masing-masing juga bervariasi antara **1.6-2.3 Ampere, 1.9-2.3 Ampere dan 2-2.3 Ampere**.
- Kecenderungan yang juga diperlihatkan dalam grafik adalah dengan adanya penurunan temperatur CTB terjadi penurunan besar perbedaan temperatur yang cukup signifikan antara kedua sisi (gambar 8) setiap elemen Peltier tersebut, yaitu antara 0.2-4.9°C.



Gambar 8. Thot dan Tcold setiap Elemen Peltier pada Tegangan 8 Volt



Gambar 9. ΔT setiap Elemen Peltier pada tegangan 8 Volt

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari pengujian ketiga kondisi temperatur CTB (30, 27 dan 24°C) dengan selang waktu pengamatan selama 900 detik (15 menit) adalah sebagai berikut:

- Besar temperatur sisi dingin maksimum tertinggi pada tiap kondisi *thermostatic bath* **30, 27** dan **24°C**, masing masing adalah **2.9 °C, 2.2°C** dan **0.7°C** dengan daya input optimum **16.8 W, 28 W** dan **18.4 W**, yang terjadi pada **elemen Peltier No. 4, 1** dan **1**.
- Perbedaan temperatur optimum tertinggi pada tiap kondisi temperatur *circulating thermostatic bath* (CTB) **30, 27** dan **24°C**, masing masing adalah **46,9 °C, 35,7°C** dan **32,9°C** dengan daya input optimum **36 W, 39,6 W** dan **28 W**, yang terjadi pada **elemen Peltier 4, 1** dan **1**.
- Penurunan temperatur CTB memperlihatkan penurunan pada perbedaan temperatur maksimum dan temperatur sisi dingin maksimum untuk setiap elemen Peltier.
- Besar Daya input optimum yang sama, tidak dapat dijadikan acuan sebagai sebuah parameter yang akan menghasilkan besar perbedaan temperatur maksimum dan temperatur sisi dingin maksimum yang sama pada tiap elemen Peltier.
- Kecenderungan yang terlihat dari setiap grafik perbedaan temperatur maksimum terhadap daya input optimum setiap elemen Peltier, adanya peningkatan daya input optimum akan menghasilkan perbedaan temperatur maksimum yang semakin besar, namun pada daya input tertentu akan kembali menjadi sebaliknya.
- Begitu pula halnya, pada grafik penurunan temperatur sisi dingin maksimum terhadap daya input optimum setiap elemen Peltier, semakin besar daya input optimum yang diberikan akan menghasilkan penurunan temperatur sisi dingin maksimum yang semakin besar, namun pada daya input tertentu justru akan menjadi sebaliknya.
- Disarankan, pemberian input tegangan optimum untuk setiap elemen Peltier tunggal tidak melebihi dari interval tegangan 8-10 volt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1].Riffat. S.B, Ma .Xiaoli. 2003. *Thermoelectrics: a review of Present and Potential Applications*. Applied Thermal Enginering 23 (2003) 913-935. Pergamon-Elsevier Science Ltd
- [2].Putra. Nandy, Siregar.Pattas P. 2004. Koestoer. RA. 2004. *Pengembangan “Vaccine Carrier” dengan Memanfaatkan Efek Peltier*. Prosiding Seminar Nasional tahunan III, 6-7 Desember 2004. ISBN 979-97158-0-6. Indonesia: Universitas Hasanuddin Makassar.
- [3].Imansyah I.H; Nandy.P; Burhanuddin. 2007. *Studi Eksperimen Elemen Peltier untuk Pendinginan Power IC pada Mini Compo*. Jurnal Teknologi, edisi No.1. Tahun XXI, maret 2007, 15-23 ISSN 0215-1685.

SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN (SNTTM) - VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-14 Agustus 2009

- [4]. Nandy Putra, Axel Hidayat, 2006. *Pengembangan Alat Uji Kualitas dan Karakteristik Elemen Peltier*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin V, Universitas Indonesia, 21-23 Nov. 2006, ISBN 979-977726-8-0.
- [5]. Nandy Putra, Haryo Tedjo, RA Koestoer. 2005. *Pemanfaatan Elemen Peltier Bertingkat Dua pada aplikasi Kotak Vaksin*, Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IV, 21-22 November 2005, ISBN 979-97158-0-6, Universitas Udayana, Bali, Indonesia.
- [6]. Nandy Putra, *Design, Manufacturing and Testing of a Portable Vaccine Carrier Box Employing Thermoelectric Module and Heat Pipe*, accepted for publication in Journal of Medical Engineering and Technology.(2009).
- [7]. Nandy Putra, Hibah Hardanu, Parlin Adi Sugiarto, Ferdiansyah, *The Development Of Portable Blood Carrier by Using Thermoelectrics and Heat Pipes*, 10th Quality in Research, 4-6 Dec 2007, FTUI Jakarta.
- [8]. Putra, Nandy; Oktrianto, Aziz; A Bariyanto Idam; Yusar Fery. 2007. *Penggunaan Heatsink-Fan sebagai Pendingin Sisi Panas Elemen Peltier pada pengembangan Vaccine Carrier*. Jurnal teknologi, edisi No.1 tahun 21, Maret 2007, hal. 24-31, ISSN:0215-1685.

www.melcor.com