

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/326811495>

Peningkatan Kinerja Termoelektrik Ganda pada Mesin Pendingin Air Minum sebagai Solusi Penghematan Energi

Article in *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)* · April 2018

DOI: 10.31884/jtt.v1i1.34

CITATION

1

READS

103

2 authors:



Amrullah Amrullah

4 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

SEE PROFILE



Zuryati Djafar

Universitas Hasanuddin

47 PUBLICATIONS 130 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Biomass material of capacitor [View project](#)

Penerapan Termoelektrik Ganda pada Mesin Pendingin Air Minum sebagai Solusi Penghematan Energi

Amrullah¹, Zuryati Djafar², Wahyu H. Piarah³

¹Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Bosowa, Jl. Kapasa Raya No.23 KIMA
Makassar 90245, Indonesia

^{2,3}Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, Indonesia
E-mail : amrullah.mansyur@yahoo.com¹, yydjafar@yahoo.com²

Abstract

Thermoelectric cooler module is an equipment that work to produce cool temperature using electrical energy. The choosing of module is based on heat load, different temperature, and absorbed heat. Thermoelectric cooler has some advantages including no noise, easy maintenance, does not require a lot of additional components and environmentally friendly. The application of thermoelectric with two levels are combined in the cooling machine is an important method to improve the performance of thermoelectric. This research used thermoelectric that is applied in water cooling dispenser used DC electricity. The model to be tested is a double module which is assembled in series and parallel by observing water, electricity that used thermoelectric and rate of cooling. The research reveals that the best thermoelectric module based on water temperature, rate of cooling and energy saving is double series assembly in the voltage of 10 V after 360 minutes where the water temperature reaches 12°C, temperature difference 28°C, absorbed heat by cold side is 19.5W and COP is 1.3.

Keywords : *double thermoelectric, cooling machine, COP*

I. PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan terhadap pendinginan, manusia berusaha untuk menemukan sumber energi alternatif baru yang efisien. Salah satu solusi penghematan energi yang bisa digunakan untuk pendingin dan ramah lingkungan adalah termoelektrik.

Termoelektrik merupakan alat yang bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin. Modul termoelektrik terdiri dari susunan material semikonduktor (biasanya *Bismuth Telluride*) yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek *Seebeck*, *Peltier* dan *Thomson*. Konstruksinya terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-P dan tipe-N yang membentuk termokopel dengan bentuk seperti sandwich antara dua keramik tipis (Riffat dan Ma X, 2003).

Thermoelectric cooler (TEC) atau yang dikenal dengan termoelektrik pendingin merupakan suatu rangkaian semikonduktor dengan memanfaatkan efek *Peltier* telah digunakan sebagai perangkat pendingin mini pada beberapa penerapan sistem pendingin. Dimana pendinginan sudah menjadi kebutuhan dalam masyarakat modern yang telah terbukti meningkatkan kualitas dari segi rasa dan kebersihan makanan serta minuman. Selain itu, dalam keseharian kita, mobilitas telah menjadi suatu cara hidup. Oleh karenanya, pengembangan perangkat pendingin minuman portabel mini merupakan suatu solusi untuk memenuhi kebutuhan pendinginan dan mobilitas pada saat yang sama (Riyanto dan Martowibowo, 2010:2)

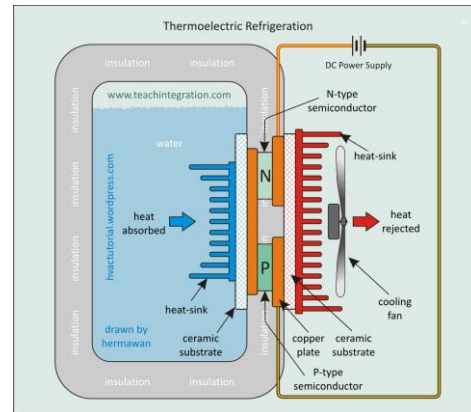
Pendingin termoelektrik telah diterapkan untuk berbagai perangkat elektronik, seperti *CCDs*, pendeteksi *multi-element IR* dan perangkat *opto-electronic* lainnya. Sistem elektronik memiliki permukaan relatif besar dan membutuhkan temperatur rendah untuk operasionalnya.

Karena itu penggunaan dari pendingin termoelektrik memiliki keuntungan dari segi menghasilkan kondisi *steady* dan temperatur lingkungan yang rendah. Secara umum termoelektrik pendingin dapat menghasilkan perbedaan temperatur antara 60-70K dengan sisi panas berada pada temperatur ruangan (Cheng dan Shih, 2006).

Pemilihan spesifikasi modul termoelektrik didasarkan pada beban kalor, beda suhu dan parameter listrik yang digunakan. Untuk pendingin termoelektrik memiliki beberapa kelebihan diantaranya tidak berisik, mudah perawatan, ramah lingkungan dan tidak memerlukan banyak komponen tambahan. Selain itu manfaat lain dari termoelektrik sebagai mesin pendingin adalah dapat mengurangi polusi udara dan Ozone Depleting Substances (ODSs) karena tidak lagi menggunakan *Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs)* dan *Chlorofluorocarbons (CFC)* yang dikenal sebagai *Ozone Depleting Substances (ODSs)* (Tellurex, 2010).

Elemen *Peltier* atau lebih dikenal dengan *thermoelectric cooler* pertama kali digunakan sebagai elemen pendingin IC (*Integrated Circuit*). Ukuran dari elemen *Peltier* yang sangat compact memungkinkan perkembangan yang lebih luas dalam penggunaannya. Aplikasi pendinginan oleh elemen *Peltier* ini sekarang telah digunakan dalam berbagai bidang antara lain medis yaitu sebagai pendingin pada *vaccine carrier* dan *blood carrier*, pendingin *picnic box*, pendingin processor komputer, aksesoris otomotif yaitu pendingin pada *coolbox* mobil dan pendingin pada dispenser air minum (Imaduddin, 2007).

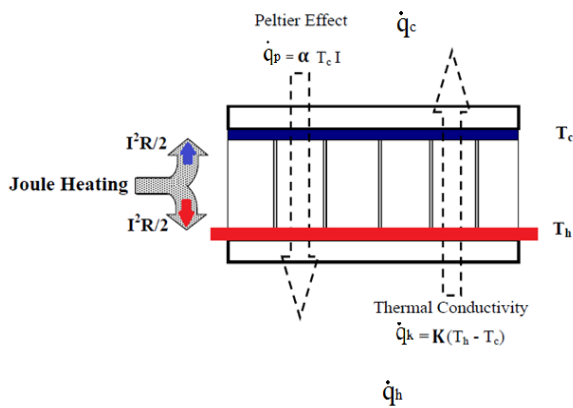
Model sederhana pendingin adalah dengan menggunakan satu perangkat termoelektrik seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Namun, karena batas-batas kinerja bahan termoelektrik, satu tingkat termoelektrik pada mesin pendingin hanya dapat dioperasikan dengan *range* suhu yang kecil. Jika rasio suhu antara heatsink dan ruang pendingin besar, maka mesin pendingin dengan satu tingkat termoelektrik akan kehilangan efektivitasnya. Dengan demikian, penerapan termoelektrik dengan dua tingkat atau lebih yang dikombinasikan pada mesin pendingin merupakan metode penting untuk meningkatkan kinerja termoelektrik (Chen dkk, 2002:286).



Gambar 1. Model sederhana pendingin menggunakan termoelektrik

Pengujian menggunakan modul termoelektrik pendingin yang merupakan pengaplikasian dari efek *Peltier* untuk memindahkan kalor. Termoelektrik pendingin yang digunakan terdiri dari sejumlah pasangan semikonduktor tipe P dan tipe N yang dihubungkan secara seri termal dan paralel listrik. Kalor yang dipompakan secara langsung dapat diubah dengan mengubah kutub yang dialiri arus DC. Material semikonduktor pada termoelektrik tersusun dari tipe N yang terbuat dari campuran bismuth-telluride-selenium (BiTeSe) dan tipe P yang terbuat dari campuran *bismuth-telluride-antimony (BiTeSb)*. Penggunaan *bismuth telluride* pada termoelektrik pendingin didasarkan pada beberapa penelitian yang menyimpulkan bahwa *bismuth telluride* merupakan material yang memiliki hasil terbaik meskipun memiliki keterbatasan pada temperatur sisi panasnya. (Jaworski, 2007:7)

Dalam menganalisa kinerja modul termoelektrik dapat diamati pada gambar 2, perpindahan panas yang terjadi dari beban kalor menuju sisi dingin modul termoelektrik dapat diketahui dari jumlah kalor yang dipompa oleh efek *Peltier*, panas yang berpindah dari sisi panas ke sisi dingin karena konduktivitas termal material termoelektrik dan sebagian dari total efek Joule heating yang ditimbulkan oleh arus listrik terhadap tahanan termal (Noor :3).



Gambar 2. Perpindahan kalor pada termoelektrik
Kalor yang dipompa oleh efek Peltier

Kalor yang dihasilkan oleh efek Peltier (q_p) adalah energi listrik yang diberikan yang dapat diketahui dengan menentukan nilai koefisien Seebeck (α), temperatur sisi dingin (T_c), serta arus listrik yang diberikan pada termoelektrik (I).

$$\dot{q}_p = \alpha \cdot T_c \cdot I \tag{1}$$

Kalor yang berpindah karena konduktivitas termal

Besarnya kalor yang berpindah karena konduktivitas termal (q_k) dipengaruhi oleh besarnya konduktivitas termal (K) dan nilai beda temperatur (ΔT).

$$\dot{q}_k = K \cdot \Delta T \tag{2}$$

Efek Joule heating yang ditimbulkan oleh arus listrik

Efek Joule heating (q_j) merupakan rugi kalor yang terjadi akibat arus listrik yang dapat diketahui dari besarnya nilai kuadrat arus listrik (I) dan tahanan elektrik (R) serta diasumsi terbagi ke arah sisi dingin dan sisi panas.

$$\dot{q}_j = \frac{I^2 \cdot R}{2} \tag{3}$$

Kalor yang diserap pada sisi dingin modul termoelektrik

$$\dot{q}_c = \alpha \cdot T_c \cdot I - K \cdot \Delta T - \frac{I^2 \cdot R}{2} \tag{4}$$

Kalor yang dilepas pada sisi panas modul termoelektrik

$$\dot{q}_h = \alpha \cdot T_c \cdot I - K \cdot \Delta T + \frac{I^2 \cdot R}{2} \tag{5}$$

Untuk mengetahui nilai kalor yang diserap (q_c) dan kalor yang dilepas (q_h) pada termoelektrik dapat dituliskan pada persamaan (4) dan (5), dimana suku pertama adalah energi listrik yang diberikan, suku kedua adalah energi panas yang berpindah secara konduksi dan suku ketiga merupakan rugi-rugi kalor akibat arus listrik.

Tipe modul termoelektrik yang digunakan adalah TEC1-12706 dengan jumlah sambungan elemen (N) adalah 127 sehingga jumlah elemen modul termoelektrik adalah dua kali jumlah sambungan elemen ($2N$).

Nilai koefisien Seebeck elemen (α_m), konduktivitas termal elemen (K_m), dan tahanan termal elemen (ρ) biasanya dapat diketahui dari data pabrik pembuat atau dari bentuk persamaan sesuai material termoelektrik, dalam hal ini material yang digunakan adalah *Bismuth Telluride*.

Koefisien Seebeck

Nilai koefisien Seebeck (α) ditentukan oleh nilai koefisien Seebeck elemen (α_m) dan banyaknya jumlah elemen pada modul termoelektrik.

$$\alpha = 2 \cdot \alpha_m \cdot N \tag{6}$$

Koefisien Seebeck Elemen

$$\alpha_m = \alpha_0 + \alpha_1 T_{ave} + \alpha_2 T_{ave}^2 \tag{7}$$

$$\alpha_0 = 2.2224 \times 10^{-5}; \alpha_1 = 9.306 \times 10^{-7}; \alpha_2 = -9.905 \times 10^{-10}$$

Konduktivitas termal

Besarnya konduktivitas termal (K) ditentukan oleh konduktivitas termal elemen (K_m), faktor geometri (G), dan banyaknya jumlah elemen pada modul termoelektrik.

$$K = 2 \cdot K_m \cdot N \cdot G \tag{8}$$

Konduktivitas termal elemen

$$K_m = K_0 + K_1 T_{ave} + K_2 T_{ave}^2 \tag{9}$$

$$K_0 = 6.2605 \times 10^{-2}; K_1 = -2.777 \times 10^{-4}; K_2 = 4.131 \times 10^{-7}$$

Tahanan elektrik

Besarnya tahanan elektrik (R) ditentukan oleh tahanan elektrik elemen (ρ), faktor geometri (G), dan banyaknya jumlah elemen pada modul termoelektrik.

$$R = \frac{2 \cdot \rho \cdot N}{G} \tag{10}$$

Tahanan elektrik elemen

$$\rho = \rho_0 + \rho_1 T_{ave} + \rho_2 T_{ave}^2 \tag{11}$$

$$\rho_0 = 5.112 \times 10^{-5}; \rho_1 = 1.634 \times 10^{-6};$$

$$\rho_2 = 6.279 \times 10^{-9}$$

Dengan mensubstitusi persamaan (6), (8),(10) ke persamaan (4) dapat diperoleh nilai kalor yang diserap pada sisi dingin modul termoelektrik :

$$\dot{q}_c = 2N \left[\alpha_m \cdot I \cdot T_c - K_m \cdot \Delta T \cdot G - \left(\frac{I^2 \rho}{2G} \right) \right] \tag{12}$$

Dengan mensubstitusi persamaan (6), (8),(10) ke persamaan (5) dapat diperoleh nilai kalor yang dilepas pada sisi panas modul termoelektrik:

$$\dot{q}_h = 2N \left[\alpha_m \cdot I \cdot T_c - K_m \cdot \Delta T \cdot G + \left(\frac{I^2 \rho}{2G} \right) \right] \tag{13}$$

Daya listrik yang diberikan pada modul termoelektrik

Besarnya daya listrik yang diberikan pada modul termoelektrik dipengaruhi dari besarnya arus listrik (I) dan besarnya tahanan elektrik (R).

$$P_{in} = I^2 \cdot R \tag{14}$$

Kesetimbangan energi

Sesuai dengan prinsip kerja termoelektrik berdasarkan efek *Peltier*, kalor diserap dari sisi dingin sebesar q_c dan kalor dilepas ke lingkungan sebesar q_h . Selisih antara dua kalor tersebut adalah besarnya daya listrik yang dibutuhkan atau $P_{in} = q_h - q_c$ (Çengel dan Boles, 2006:635) sehingga kesetimbangan energi pada termoelektrik dapat dituliskan pada persamaan berikut :

$$\dot{q}_h = \dot{q}_c + P_{in} \tag{15}$$

Coefficient of Performance (COP)

COP merupakan ukuran efisiensi dari suatu termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari

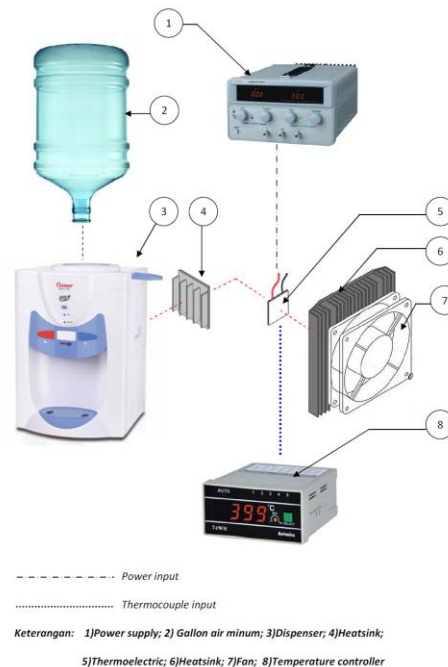
perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin (q_c) terhadap besarnya daya listrik yang masuk (P_{in}) (Imaduddin, 2007).

$$COP = \frac{q_c}{P_{in}} \tag{16}$$

II. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Pengujian prestasi termoelektrik dilakukan dengan variasi pemberian tegangan listrik DC yaitu 8 V, 10 V, 12 V serta variasi rangkaian yaitu dengan menggunakan termoelektrik pendingin ganda yang dirangkai secara seri dan paralel listrik pada perangkat dispenser air minum dengan lama pengujian hingga parameter temperatur mencapai kondisi konstan yaitu 360 menit. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur temperatur sisi dingin, temperatur sisi panas, temperatur air dan temperatur ambient menggunakan termokopel dan *temperature controller* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Penentuan nilai faktor geometri elemen (G) dengan menggunakan AZTEC software; version 3.1. (Laird Technologies, 2010).

Pengolahan data dilakukan dengan menghitung nilai kalor yang diserap, kalor yang dilepas, daya listrik yang digunakan dan COP.



Gambar 3. Instalasi pengujian termoelektrik

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada pendingin dispenser air minum telah dilakukan untuk termoelektrik ganda dengan beberapa variasi tegangan. Pada saat pengujian, temperatur ambient berkisar 29°C. Data hasil pengujian ditampilkan dalam tabel 1 dan tabel 2.

Tegangan	Ganda Seri		
	q_c (W)	P_{in} (W)	COP
8V	16.2	10.5	1.6
10V	19.5	15.6	1.3
12V	23.9	21.9	1.1

Tabel 1. Nilai q_c , P_{in} dan COP setelah 360 menit pada rangkaian ganda seri

Tegangan	Ganda Paralel		
	q_c (W)	P_{in} (W)	COP
8V	17.4	32.6	0.5
10V	19.0	46.3	0.4
12V	20.6	61.0	0.3

Tabel 2. Nilai q_c , P_{in} dan COP setelah 360 menit pada rangkaian ganda paralel

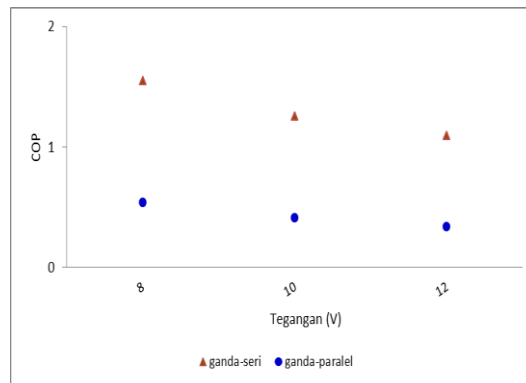
Pengujian yang telah dilakukan menggunakan modul termoelektrik pendingin yang merupakan pengaplikasian dari efek *Peltier* untuk memindahkan kalor yang secara langsung dapat diubah dengan mengubah kutub yang dialiri arus DC. Material semikonduktor pada termoelektrik tersusun dari tipe N yang terbuat dari campuran *bismuth-telluride-selenium* (BiTeSe) dan tipe P yang terbuat dari campuran *bismuth-telluride-antimony*(BiTeSb). Penggunaan *bismuth telluride* pada termoelektrik pendingin didasarkan pada beberapa penelitian yang menyimpulkan bahwa *bismuth telluride* merupakan material yang memiliki *performance* terbaik meskipun memiliki keterbatasan pada temperatur sisi panasnya (Jaworski, 2007:7)

Pengamatan pada sisi panas, sisi dingin dan beda temperatur bertujuan untuk melihat bagaimana kinerja termoelektrik ketika pemberian tegangan yang berbeda dengan variasi rangkaian. Semakin tinggi tegangan listrik yang diberikan maka temperatur sisi panas akan semakin

tinggi dan akan mendekati kondisi konstan setelah pengujian selama 360 menit. Begitu juga untuk temperatur sisi dingin akan semakin menurun dengan penambahan tegangan dan akan mendekati kondisi konstan setelah pengujian selama 360 menit. Hal ini disebabkan karena pada pengoperasiannya, arus listrik DC mengalir pada modul termoelektrik sehingga kalor ditransfer dari satu sisi ke sisi yang lain dan menyebabkan terjadinya panas dan dingin (Alaoui, 2011).

Sesuai dengan prinsip kerja termoelektrik berdasarkan efek *Peltier*, kalor diserap dari sisi dingin sebesar q_c dan kalor dilepas ke lingkungan sebesar q_h . Selisih antara dua kalor tersebut adalah besarnya daya listrik yang dibutuhkan, $P_{in} = q_h - q_c$.

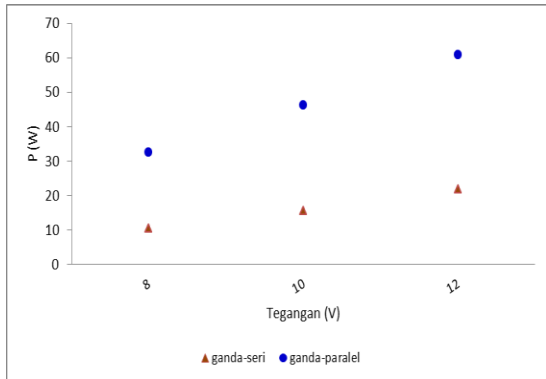
Nilai COP merupakan ukuran efisiensi dari suatu termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin (q_c) terhadap besarnya daya listrik yang masuk (P_{in}). Sesuai hasil yang diperoleh, hubungan antara nilai COP dengan variasi tegangan dapat dilihat pada gambar 4. Untuk saat ini termoelektrik pendingin memiliki nilai COP yang masih rendah sehingga belum bisa bersaing dengan sistem pendingin konvensional yang menggunakan prinsip kompresi uap (Çengel dan Boles, 2006:635).



Gambar 4. Grafik pengaruh tegangan terhadap COP setelah 360 menit.

Perhitungan kalor yang diserap, kalor yang dilepas dan daya listrik berhubungan dengan besarnya arus listrik yang ditimbulkan dari tegangan DC yang diberikan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5, pengaruh tegangan terhadap daya listrik setelah 360 menit. Besarnya arus listrik dipengaruhi dari hambatan yaitu modul termoelektrik. Semakin besar tegangan listrik maka arus

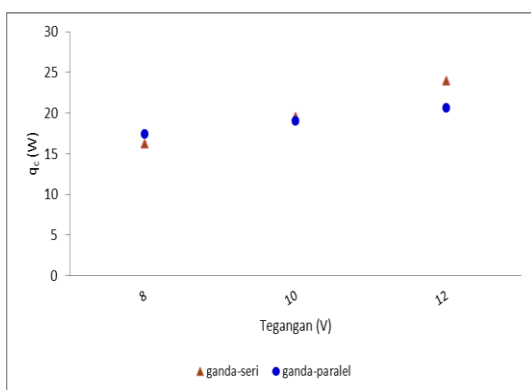
listrik yang ditimbulkan juga semakin besar. Akan tetapi jika hambatan listrik semakin besar maka arus listrik yang ditimbulkan akan semakin kecil. Penentuan besarnya hambatan listrik tergantung dari jumlah elemen penyusun modul termoelektrik. Untuk termoelektrik ganda, jumlah elemen modul adalah dua kali dari jumlah elemen modul tunggal.



Gambar 5. Grafik pengaruh tegangan terhadap daya listrik setelah 360 menit

Pada gambar 6 menunjukkan pengaruh tegangan terhadap kalor yang diserap. Pada termoelektrik ganda yang dirangkai secara seri, kinerja terbaik dihasilkan dengan pemberian tegangan sebesar 10 V, nilai beda temperatur sebesar 28°C, nilai kalor yang diserap sebesar 19.5 W dan COP sebesar 1.3.

Untuk termoelektrik ganda yang dirangkai secara paralel, kinerja terbaik dihasilkan dengan pemberian tegangan sebesar 8 V. Hal ini dapat dilihat setelah 360 menit, nilai beda temperatur sebesar 29°C, kalor yang diserap sebesar 17.4 W dan COP sebesar 0.5.



Gambar 6. Grafik pengaruh tegangan terhadap kalor yang diserap setelah 360 menit

Dari hasil penelitian termoelektrik dengan memberikan variasi terhadap rangkaian, dapat ditunjukkan bahwa penerapan termoelektrik dengan dua tingkat pada mesin pendingin merupakan metode penting untuk meningkatkan kinerja termoelektrik (Chen dkk, 2002:286).

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Dari ketiga variasi rangkaian, dapat diketahui kinerja modul terbaik adalah termoelektrik ganda yang dirangkai secara seri pada tegangan 10 V karena dapat mencapai temperatur air yang paling rendah, konsumsi daya listrik yang paling rendah, kecepatan pendinginan yang paling baik dan sebagai solusi penghematan energi listrik khususnya pada aplikasi pendingin.

. Hal ini dapat dilihat setelah 360 menit dengan temperatur air yang didinginkan 12°C, beda temperatur 28°C, kalor yang diserap 19.5 W dan COP 1.3.

Saran

Diharapkan penelitian termoelektrik pendingin selanjutnya menggunakan termoelektrik dengan tipe yang berbeda.

Nomenklatur

- C_p = Kalor spesifik air [J/kgK]
- G = Faktor Geometri [cm]
- I = Arus listrik [A]
- K = Konduktivitas termal [W/K]
- K_m = Konduktivitas termal elemen [W/cmK]
- m = massa air [kg]
- N = Jumlah elemen termoelektrik
- P_{in} = Daya listrik [W]
- \dot{Q}_c = Kalor yang diserap sisi dingin [W]
- \dot{Q}_h = Kalor yang dilepas sisi panas [W]
- \dot{Q}_{tw} = Kalor yang diserap dar air [W]
- R = Hambatan listrik [Ω]
- T_c = Temperatur sisi dingin [K]
- T_h = Temperatur sisi panas [K]
- V = Tegangan listrik [V]
- Z = *Figure of merit* [K^{-1}]
- α = Koefisien *Seebeck* [V/K]
- α_m = Koefisien *Seebeck* elemen [V/K]
- ρ = Hambatan listrik elemen [Ωcm]
- ΔT = Beda temperatur [K]
- ΔT_w = Beda temperature air [K]
- Δt = Selisih waktu [s]

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chakib Alaoui, "Peltier Thermoelectric Modules Modling and Evaluation," *International Journal of Engineering (IJE)*, vol. 5, no. 1, 2011.
- [2] Rehab Noor Mohammed Al-Kaby , "Study of Thermal Performance of Thermoelectric Cooling System,". Mechanical Department, Babylon University-College of Engineering.
- [3] Yi-Hasiang Cheng and Chunkuan Shih, "Maximizing The Cooling Capacity and COP of Two-Stage Thermoelectric Coolers Through Genetic Algorithm," *Elsevier-Applied Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 937-947, 2006.
- [4] <http://www.lairdtech.com>, "Thermoelectric Handbook ," 2010.
- [5] <http://www.tellurex.com>, "Introduction to Thermoelectric," *1462 International Drive*.
- [6] M.Kaisar Imaduddin, "Desain Coolbox dengan Pompa Kalor Elemen Peltier," 2007.
- [7] Christopher M Jaworski,,: The Ohio State University, Department of Mechanical Engineering, p. 7, 2007..
- [8] Yinghui Zhou, Hongjie Wang, Jin T Wang Jincan Chen, "Comparison of The Optimal Performance of Single and Two Stage Thermoelectric Refrigeration Systems," *Elsevier-Applied Energy*, vol. 73, pp. 285-298, 2002.
- [9] S.B Riffat and Ma X, "Thermoelectrics: A Review of Present and Potential Applications," *Elsevier-Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 913-935, 2003.
- [10] Hendi Riyanto and Sigit Y Martowibowo, "Modeling and Prototyping a Mini Portable Thermoelectric Beverage Cooling Dvice," *Proceeding of The 5th International Conference on Cooling and Heating Technologies (ICCHT)*, pp. 1-7, December 2010.
- [11] Yunus A Cengel and Michael A Boles, *Thermodynamics:An Engineering Approach 5th edition.*: McGraw-Hill, 2006.