

UNJUK KERJA COOL BOX BERBASIS THERMOELEKTRIK COOLER DENGAN SINGLE DAN MULTI-STAGE THERMOELEKTRIK

Munawir^{1*}, Mega Nur Sasongko², Nurkholis Hamidi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Jl. M.T. Haryono 167 Malang

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Jl. M.T. Haryono 167 Malang

Email: *Munawirlaco28@gmail.com

ABSTRACT

Thermoelectric technology works by converting thermal energy into electricity directly or preferably. Thermoelectric technology works by converting thermal energy into electricity directly or preferably. The use of thermoelectric as a cooler in cool box systems has been extensively studied. The thermoelectric cool ability can be achieved depending on the design of a good system. Therefore, this study aims to determine the performance of thermoelectric cooler cool box based on single and multi stage. Tests carried out using cool boxes of dimensions of 31 cm x 19 cm x 24 cm with a thickness of 3 cm and with the TEC1 12706 module. The voltage used in each configuration is 12 Volts. Temperature data readings on laptops using DAQNavi_SDK data logger connected to type K thermocouples. The result showed the multi stage configuration reached a room temperature of around 19.3 oC and 21.8 oC for single stage. Meanwhile, the multi stage configuration COP value is 1.36 and with a single stage configuration is 0.88. It can be concluded that the thermoelectric configuration has an influence on the performance of the cool box system.

Keywords: Cool box, Thermoelectric module, Multi stage, single stage, COP

PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap teknologi semakin berkembang pesat salah satunya yaitu mesin pendingin seperti domestik refrigerasi (kulkas) untuk mengawetkan maupun menjaga makanan dan minuman tetap segar. Kelemahan kulkas yang konvensional adalah ukuran besar, membutuhkan daya yang besar, dan refrigeran yang digunakan masih berbasis *Chloro Fluoro Carbon* (CFC) , yang apabila terlepas ke udara bisa berdampak pada pemanasan global karena zat tersebut dapat merusak lapisan ozon [1].

Untuk mengatasi hal ini, perlu mesin pendingin yang tidak memakai CFC, misalnya menggunakan termoelektrik. Pendingin termoelektrik lebih unggul dibandingkan dengan mesin konvensional yang menggunakan kompresi uap. Keunggulannya adalah tahan lama, mudah dioperasikan, kompak, ringan dan perawatan mudah [2,3].

Meskipun pendingin ini memiliki keunggulan, tapi pendingin termoelektrik juga memiliki kelemahan yaitu tidak cocok untuk mesin pendingin berkapasitas besar, dan *Coefficient of performance* atau unjuk kerjanya masih sangat rendah. Penerapan sistem pendingin bertingkat pada kotak pendingin berbasis termoelektrik dan heat pipe. Nilai COP yang

diperoleh sekitar 0,14-0,29 [4]. Sedangkan, unjuk kerja kulkas termoelektrik dengan rangkaian seri dan paralel dengan diberi air 1500 ml pada ruangan kulkas telah diteliti. Nilai COP yang dihasilkan masih rendah masing-masing yaitu 0,45 untuk rangkaian seri dan 0,43 untuk rangkaian paralel [3].

Kemudian, modul sederhana adalah dengan menggunakan satu perangkat termoelektrik namun karena batas-batas kinerja bahan termoelektrik pada mesin pendingin hanya dapat dioperasikan dengan range suhu yang kecil, dengan demikian jumlah modul termoelektrik memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap pendinginan. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian lebih intensif untuk menaikkan COP, beberapa penelitian yang dilakukan untuk memperbaiki COP mesin pendingin termoelektrik. Namun COP yang didapatkan masih di bawah karena daya yang digunakan terlalu besar. Oleh sebab itu, penelitian ini mencoba memvariasikan susunan termoelektrik yaitu susunan ganda dengan harapan kemampuan serap kalornya lebih baik dibandingkan dengan susunan tunggal.

METODOLOGI PENELITIAN

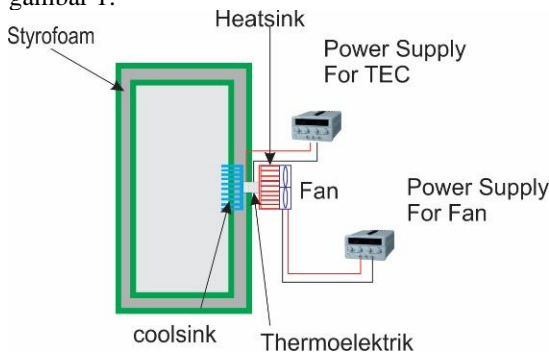
Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu fasilitas penelitian dan data reduksi.

a. Fasilitas penelitian

Untuk pembuatan dan pengujian keduanya dilakukan di Laboratorium Pendingin dan Pemanas Jurusan teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan juli 2019 - agustus 2019. Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut : Kotak styrofoam ukuran 310 mm x 190 mm x 240 mm, Modul termoelektrik TEC1 12706, Data Logger DAQNav_i_SDK, Termokopel Tipe-K, Multimeter digital, Power Supply output DC 12 Volt, Heatsink, Kipas DC, Termal Pasta, dan Laptop Asus A455L

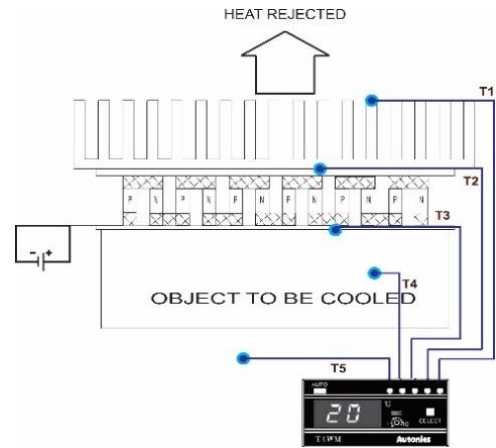
Instalasi Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu Bagian kotak styrofoam, termoelektrik, heatsink dan kipas dirangkai menjadi kotak pendingin yang utuh. Termokopel pertama dimasukkan ke dalam kotak styrofoam untuk mengukur temperatur dalam kotak pendingin. Termokopel kedua dipasang antara sisi dingin modul termoelektrik dan coolsink. Termal pasta dioleskan secukupnya pada sisi dingin dan panas termoelektrik dengan tujuan mendapatkan kontak permukaan yang lebih baik. Termokopel ketiga dipasang antara heatsink (pembuang kalor) dan sisi panas termoelektrik. Memasang dan mengencangkan baut yang ada antara heatsink dan coolsink. Memasang kipas di bagian heatsink untuk mempercepat pembuangan kalor disisi panas. Ujung termokopel dihubungkan ke data logger yang sudah terhubung dengan laptop. Menghidupkan power supply dan siap untuk melakukan pengambilan data.

Skema instalasi penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema instalasi penelitian

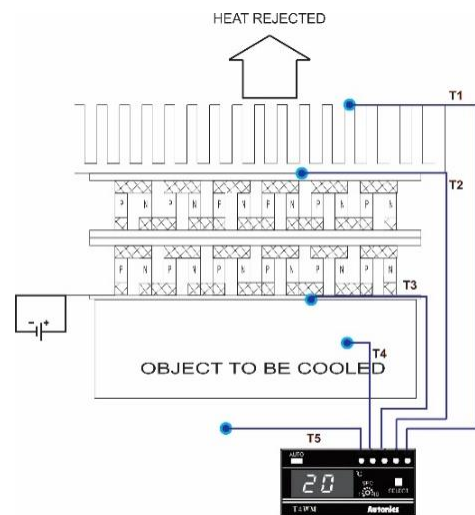
Adapun titik pengambilan data temperatur untuk susunan tunggal dan ganda ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Single stage

Keterangan:

- T₁ adalah temperatur ujung heatsink,
- T₂ temperatur sisi panas termoelektrik,
- T₃ Temperatur sisi dingin termoelektrik,
- T₄ temperatur ruang kotak pendingin
- T₅ Temperatur ambient.



Gambar 3. Multi Stage

b. Data reduksi

Data reduksi pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis hasil percobaan atau eksperimen. Perpindahan panas dari dalam ruangan cooler box dan panas yang masuk ke dalam cooler box merupakan beban panas yang harus dipindahkan dari dalam ruangan cooler box ke lingkungan. Performa dari termoelektrik [4], [5] dan [6].

Koefisien seebeck

$$\alpha = 2 \cdot \alpha_m \cdot N \tag{1}$$

Koefisien Seebeck elemen

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

Dimana:

$$\alpha_m = \text{Koefisien seebeck elemen [V/K]}$$

$$\alpha_0 = 2.2224 \times 10^{-5}$$

$$\alpha_1 = 9.306 \times 10^{-7}$$

$$\alpha_2 = -9.905 \times 10^{-10}$$

$$T_{ave} = (T_c + T_h)/2$$

Konduktifitas termal

$$K = 2 \cdot K_m \cdot N \cdot G \quad (3)$$

Dimana :

K_m = Konduktivitas termal elemen (W/cmK)

G = Faktor Geometri

Dalam penelitian ini, factor geometri di dapatkan melalui pengukuran tegangan dan arus listrik TEC yang kemudian dengan menggunakan AZTEC software; Version 4.0, Laird Technologies, didapatkan factor geometri yang sesuai dengan TEC1 12706 yang digunakan adalah 0,077.

Konduktifitas termal elemen

$$K_m = K_0 + K_1 T_{Ave} + K_2 T_{Ave}^2 \quad (4)$$

Dimana ;

K_m =Konduktivitas termal elemen[W/cmK]

$$K_0 = 6.2605 \times 10^{-2}$$

$$K_1 = -2.777 \times 10^{-4}$$

$$K_2 = 4.131 \times 10^{-7}$$

$$T_{Ave} = (T_c + T_h)/2$$

Tahanan Elektrik

$$R = \frac{2 \cdot \rho \cdot N}{G} \quad (5)$$

Tahanan Elektrik elemen

$$\rho = \rho_0 + \rho_1 T_{Ave} + \rho_2 T_{Ave}^2 \quad (6)$$

Dimana ;

$$\rho_0 = 5.112 \times 10^{-5}$$

$$\rho_1 = 1.634 \times 10^{-6}$$

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

$$T_{Ave} = (T_c + T_h)/2$$

Kalor yang dilepaskan pada sisi panas TEC

$$\dot{q}_c = 2N \left[\alpha_m \cdot I \cdot T_c - K_m \cdot \Delta T + \left(\frac{I^2 \rho}{2G} \right) \right] \quad (7)$$

Kalor yang diserap pada sisi dingin

$$\dot{q}_h = 2N \left[\alpha_m \cdot I \cdot T_h - K_m \cdot \Delta T - \left(\frac{I^2 \rho}{2G} \right) \right] \quad (8)$$

Figure of merit, (Z) merupakan parameter gabungan dari tiga jenis sifat pada termoelektrik dan sangat berpengaruh besar terhadap pendinginan yang terjadi. Pendinginan

termoelektrik sangat dipengaruhi oleh nilai Z. Semakin besar nilai Z maka nilai ΔT semakin tinggi pula. Nilai Z dapat menunjukkan kualitas dari elemen termoelektrik

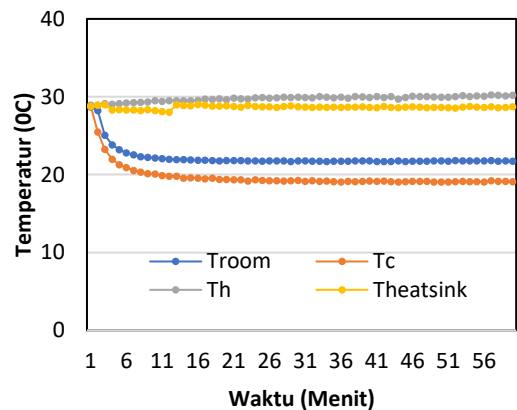
$$Z = \frac{\alpha_m^2}{\rho \cdot K_m} \quad (9)$$

Coefficient of performance

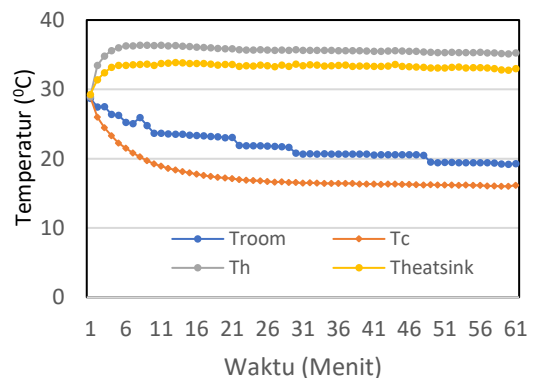
$$COP = \frac{q_c}{P_{in}} \quad (10)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik. Sebelum menampilkan hasil-hasil penelitian yang berupa jawaban dari pertanyaan dan tujuan penelitian, maka perlu disajikan terlebih dahulu perilaku temperatur seiring bertambahnya waktu pengamatan. Gambar 5 menampilkan temperatur variabel terikat yang diperoleh pada eksperimen yaitu temperatur ruangan, temperatur sisi dingin termoelektrik, temperatur sisi panas termoelektrik, temperatur heatsink, dan temperatur lingkungan.



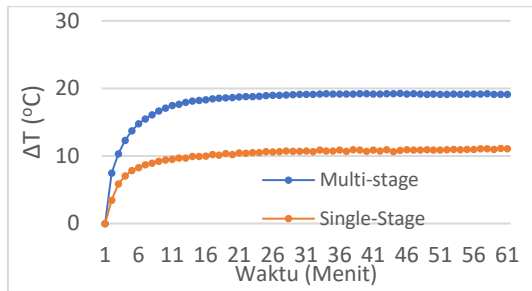
(a) Single stage



(b) Multi stage

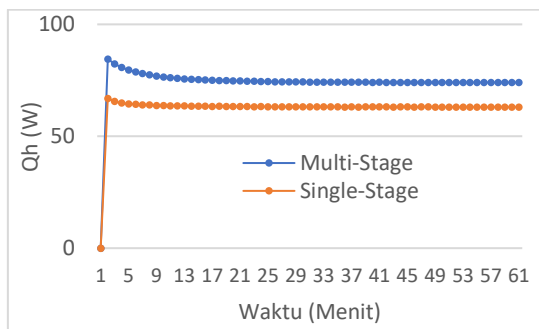
Gambar 5. Tren temperatur terhadap waktu; (a) termoelektrik *single-stage*, (b) termoelektrik *multi-stage*, pada tegangan 12V

Gambar 5 menunjukkan bahwa temperatur ruang, sisi dingin termoelektrik, sisi panas dan heatsink masing-masing turun seiring dengan bertambahnya waktu. Penurunan paling signifikan adalah dari nol hingga 21 menit. Setelah itu temperatur tetap menurun tetapi sangat kecil penurunannya dan bahkan hampir konstan. Fenomena seperti ini terjadi karena termoelektrik tidak seketika menjadi dingin, artinya memerlukan waktu untuk mencapai temperatur minimum yang mampu diraihinya. [2,3,7,8,9,10].



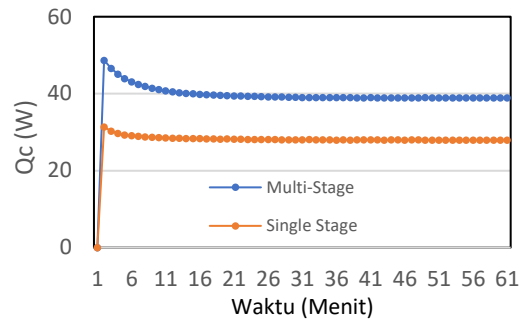
Gambar 6. Hubungan ΔT dengan waktu untuk kedua konfigurasi, pada tegangan 12V

Gambar 6. menunjukkan bahwa MS memiliki beda temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan SS. Dimana perbedaan temperatur (ΔT) antara sisi dingin modul termoelektrik dan sisi panas termoelektrik MS mencapai 20°C sedangkan perbedaan temperatur (ΔT) SS mencapai 10°C Perbedaan temperatur dapat digunakan dalam menghitung kapasitas pendinginan seperti pada persamaan 7, [4]



Gambar 7. Laju pelepasan Kalor (Q_h) terhadap waktu

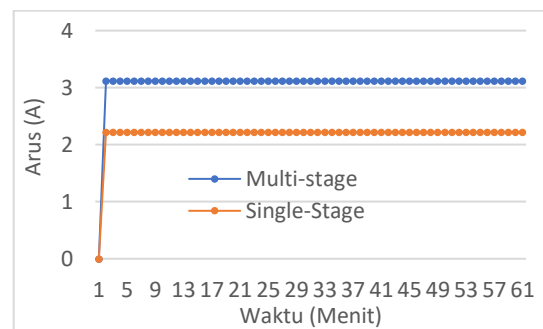
Gambar 7 memperlihatkan laju pelepasan kalor MS lebih tinggi dibandingkan dengan SS. Dimana Q_h MS tertinggi mencapai 84,51 Watt pada menit pertama dan terendah 74 Watt di menit 58. Sedangkan SS mencapai 66,93 Watt di menit pertama dan terendah sebesar 63,04Watt dimenit 60. Selain itu juga dapat diamati bahwa laju pelepasan kalor dimasing masing konfigurasi mengalami penurunan terhadap waktu.



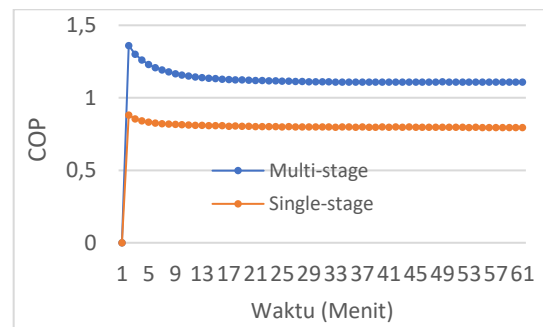
Gambar 8. Laju Serapan kalor (Q_c) terhadap waktu

Gambar 8 memperlihatkan daya serap kalor MS lebih tinggi dibandingkan dengan SS. Dimana Q_c MS tertinggi mencapai 48,71 Watt dimenit ke 1 dan terendah 38,93 Watt di menit 60. Sedangkan daya serap kalor SS tertinggi 31,36 Watt di menit ke 1 dan terendah 27,93 Watt di menit 60. Selain itu juga dapat diamati bahwa laju penyerapan kalor di masing masing konfigurasi mengalami penurunan terhadap waktu.

Gambar 9 menunjukkan arus listrik yang mengalir di masing masing konfigurasi berbeda. Dimana arus listrik yang mengalir pada konfigurasi MS sebesar 3,12 A dan SS sebesar 2,22 A. Tetapi tidak mengalami perubahan terhadap waktu dikarenakan tegangan yang diberikan konstan di 12 Volt dan hambatannya tetap.



Gambar 9. Arus listrik TEC



Gambar 10. Coefficient of performance (COP)

Gambar 10. Menunjukkan bahwa COP pada masing masing konfigurasi menurun terhadap waktu. COP MS lebih tinggi dibandingkan COP SS dimana COP MS tertinggi sebesar 1,36 di menit 1 dan terendah 1,11 di menit 60 sedangkan COP SS tertinggi 0,88 di menit 1 dan terendah 0,80 di menit 60.

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}).

Kinerja termoelektrik didasarkan pada peninjauan daya listrik yang dikonsumsi dan kecepatan pendinginan yaitu kemampuan termoelektrik untuk mencapai temperatur ruang paling rendah selama 60 menit. Dari kedua variasi susunan termoelektrik dapat diketahui kinerja konfigurasi terbaik adalah termoelektrik multi-stage. Karena dapat mencapai temperatur ruang yang paling rendah, konsumsi daya listrik yang paling rendah dan kecepatan pendinginan yang paling baik. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan termoelektrik multi-stage yang dikombinasikan pada mesin pendingin merupakan metode penting untuk meningkatkan kinerja termoelektrik [10].

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa

1. Susunan termoelektrik sangat berpengaruh terhadap temperatur cool box dan nilai COP sistem termoelektrik.
2. Nilai COP konfigurasi MS lebih tinggi sebesar 1,36 dibandingkan dengan COP konfigurasi SS sebesar 0,88.
3. Kinerja termoelektrik multi-stage lebih baik dibandingkan konfigurasi single stage.

SARAN

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yaitu perlu adanya pengembangan penelitian khususnya untuk sistem pelepasan kalor dengan memvariasikan kecepatan putaran fan sehingga efisiensi termal lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Boyes E., Stanistreet M., "The ideas of secondary schoolchildren concerning ozone layer damage", *Global Environmental Change*, v. 4, n. 4, pp. 311-324, 1994
- [2] Abdul-Wahab S.A., Elkamel A., Al-Damkhi., Al-Habsi., "Design and Experimental investigation of the portable solar thermoelectric refrigerator", *Renewable Energy*, v. 34, pp. 30-34, 2009
- [3] Anantha H., Padang A.L., Mirmanto, "Unjuk kerja termoelektrik dengan rangkaian seri dan

paralel pada beban air 1500 ml", *Dinamika Teknik Mesin*, v. 7, n. 2, pp. 80-86, 2017

- [4] Al-kaby, Rehab N M., "Study of thermal performance of thermoelectric Cooling System". Mechanical departement, Babylon University-College of Engineering.
- [5] Diana Encsu, Elena Otilia Virjoghe, "A review on thermoelectric cooling parameters and performance" *ELSEVIER, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38 (2014) 903-916
- [6] Kuan Chen, Scott B.Gwilliam, "An Analysis of the heat transfer rate and efficiency of TE (thermoelectric) cooling system", in *international Journal of Energy Research* 20(5) :399-417, 1996
- [7] Rawat M.K., Chattopadhyay H., Neogi S., "A review on development of thermoelectric refrigeration and air conditioning system: anovel potential green refrigeration and air conditioning technology", *Int. J. Engineering Technologi and advanced Enginering*, V. 3, n. 3, pp. 362-367, 2013
- [8] Holman J.P., *Perpindahan Kalor*, Edisi ke VI, Erlangga Jakarta, 1995
- [9] Ramdhan G., *Sistem pendingin pada kulkas termoelektrik dengan variasi pembebanan*, Skripsi Teknik Mesin, Universitas Mataram, 2016
- [10] Chen, Jincan., Zhou., Yinghui., Wang, Hongjie., Wang, Jin T. 2002. *Comparison of the optimal performance of single and two-stage thermoelectric refrigeration System*