

The Effect of Air Flow Rate on the Performance of Thermoelectric Cooling System

Mega Nur Sasongko^{1,*} dan Franz Jipri Fernando¹

¹Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Jl. MT Haryono 167 Malang

*Corresponding author: megasasongko@ub.ac.id

Abstract. This study aims to determine the effect of air flow rate on the coefficient of performance of the thermoelectric cooling. Five thermoelectric cooler types of TEC1-12706 are arranged in parallel in a wind tunnel channel. The flow rate of air flows into the wind tunnel channel of the thermoelectric cooling system was varied in 0.014 m³ / s, 0.017 m³ / s, and 0.02 m³ / s, while the thermoelectric electric power was kept constant at 24 volts. The results show that the greater the air discharge, the heat absorbed on the cold side of the thermoelectric will increase, so that the ideal and actual COP value will increase. The ideal COP and the actual COP are found in air flow rate of 0.02 m³ / s with values of 0.455 and 0.201, respectively. Increasing the flow rate of air in tunnel will increase the amount of heat carried from the room. This occurrence increase in the drop temperature between each thermoelectric and reduces the humidity of the air. The value of the highest air temperature decreased and the lowest relative humidity is at the variation of air flow rate of 0.02 m³/s with values of 2.85 °C and 86.16%, respectively.

Abstrak. Sistem pendingin termoelektrik adalah pendinginan yang memanfaatkan efek seebeck yang mampu mengkonversi energi listrik menjadi energi kalor yang terjadi pada titik temu antara dua jenis logam yang berbeda. Kelemahan dari sistem pendingin ini adalah koefisien kinerjanya yang masih sangat rendah dibandingkan dengan sistem konvensional. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh debit aliran udara masuk ke sistem pendingin terhadap koefisien performance pendingin termoelektrik. Lima buah termoelektrik cooler tipe TEC1-12706 disusun secara paralel di dalam sebuah saluran wind tunnel. Debit aliran udara masuk ke saluran wind tunnel sistem pendingin termoelektrik divariasikan dalam 0,014 m³/s, 0,017 m³/s, dan 0,02 m³/s, sedangkan daya listrik termoelektrik dijaga konstan pada 24 volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar debit udara maka kalor yang diserap pada sisi dingin termoelektrik akan meningkat, sehingga nilai COP ideal dan aktual akan meningkat. COP ideal dan COP aktual tertinggi terdapat pada variasi 0,02 m³/s dengan nilai berturut-turut 0,455 dan 0,201. Semakin besar debit udara yang mengalir pada saluran maka jumlah kalor yang dibawa dari ruangan akan semakin besar. Hal ini menyebabkan meningkatnya penurunan temperatur dan kelembaban udara yang terkandung akan semakin kering. Nilai dari penurunan temperatur udara tertinggi dan kelembaban relatif terendah berada pada variasi debit udara 0,02 m³/s dengan nilai berturut-turut 2,85 °C dan 86,16 %.

Keywords: Termoelektrik, COP, debit aliran, kelembaban

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Termoelektrik cooler merupakan solid state technology yang memanfaatkan efek Peltier dimana arus yang mengalir pada pertemuan dua kawat yang berbeda akan menghasilkan pendinginan pada titik pertemuannya ini digunakan sisi dinginnya sebagai cooler tambahan untuk mengurangi kelembaban udara dengan memberikan tambahan heat sink pada kedua sisi dingin dan panas untuk memaksimalkan perpindahan panas pada udara dan sebagai tempat air terkondensasi dari udara. Termoelektrik bisa menjadi alternatif teknologi pendingin selain pendingin dengan vapor compression yang masih memanfaatkan refrigeran. Dibandingkan dengan teknologi kompresi uap yang menggunakan refrigeran sebagai media penyerap kalor, teknologi

pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala besar dan kecil [1]. Teknologi termoelektrik telah digunakan pada beberapa bidang aplikasi seperti, peralatan militer, peralatan ruang angkasa, produk – produk industri yang memanfaatkan modul termoelektrik sebagai pendingin.

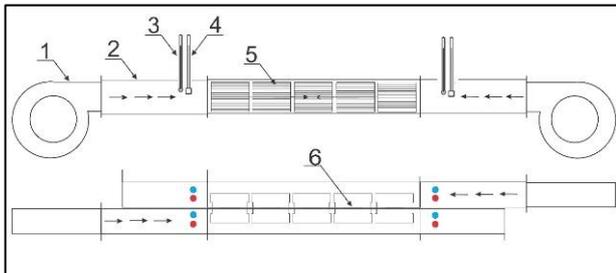
Salah satu kelemahan dari sistem pendingin termoelektrik ini adalah koefisien performancenya yang masih sangat rendah dibandingkan dengan sistem pendinginan kompresi uap [2,3]. Jenny dkk [4] melakukan penelitian tentang aplikasi modul termoelektrik sebagai sistem pendingin portable. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa temperatur box pendingin mampu mencapai 5 C pada daya listrik 9 W. Beban pendinginan

berpengaruh besar terhadap performansi dari sistem pendingin termoelektrik ini [5].

Berdasarkan latar belakang, penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi beban pendinginan menggunakan prototype termoelektrik terhadap unjuk kerja sistem pendingin termoelektrik. Variasi beban pendinginan yang diuji dalam penelitian ini adalah besarnya debit aliran udara yang masuk ke sistem pendingin.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental (experimental research). Jenis penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh dari desain baru atau suatu perlakuan terhadap suatu proses atau peristiwa. Dengan cara ini akan diketahui pengaruh variasi debit udara terhadap unjuk kerja mesin pendingin termoelektrik.



Keterangan:

1. Blower
2. Ducting
3. Termometer bola kering
4. Termometer bola basah
5. Heatsink
6. Thermoelectric Cooler

Gambar 1. Instalasi penelitian

Gambar 1 diatas menunjukkan instalasi mesin pendingin termoelektrik cooler yang bekerja dengan efek peltier. Pada instalasi diatas, power input dari power supply dengan DC output bertegangan 24 volt dan arus listrik 4,5 ampere, menggerakkan dua blower yang dipasang secara paralel dengan daya sebesar 45 watt dan tegangan yang masuk 6-24 volt. Untuk mengatur seberapa besar rpm atau kecepatan pada blower yaitu dengan menggunakan potensiometer dengan cara membagi atau mengatur tegangan yang masuk. Masing-masing blower disambungkan dengan saluran udara stream line berbahan akrilik dengan tebal 2 mm yang berukuran 100 cm x 8 cm x 6 cm. Saluran stream line sepanjang 100 cm masing-masing disambungkan dengan saluran heat sink berukuran 50 cm x 8 cm x 6 cm. Di dalam saluran heat sink dipasang 10 buah heat sink dengan material

aluminium, sirip berjumlah 15 dan berukuran 90 mm x 72 mm x 37 mm. Kemudian, setiap 2 heat sink dipasang thermoelectric cooler pada bagian bawahnya.

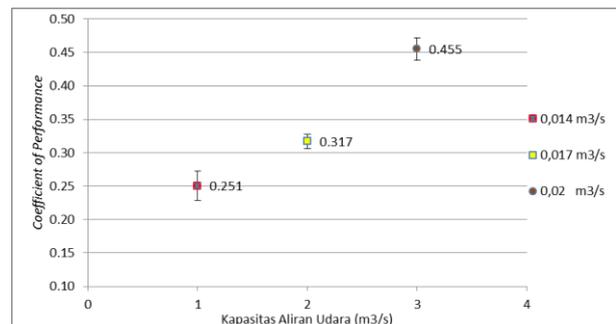
Thermoelectric cooler dengan spesifikasi yaitu tipe TEC1-12706, tegangan 12 volt, arus listrik 4 ampere dan berukuran 40 mm x 40 mm 3,9 mm mendapatkan daya dari power supply dengan DC output sebesar 12 volt dan arus listrik 30 ampere. Thermoelectric cooler diampit diantara dua buah heat sink sisi panas dan sisi dingin menggunakan pasta sebagai perekat. Dengan adanya pasta, kalor dari thermoelectric cooler mampu dilepas maupun diserap dengan baik melalui perantara heat sink.

Udara dan uap air dari lingkungan yang sudah bertukar kalor dengan heat sink pada sisi dingin maupun sisi panas akan keluar melalui saluran keluar dengan ukuran 20 cm x 8 cm x 6 cm. Pada setiap 5 pasang thermoelectric cooler dipasang digital termometer untuk mengetahui perubahan temperatur pada setiap penambahan jumlah thermoelectric cooler yang dipakai. Selain itu, temperatur bola basah dan bola kering dipasang sebelum dan sesudah melewati saluran heat sink untuk mengukur perubahan temperatur dan kelembaban relatif udara baik di sisi dingin maupun sisi panas.

Pada penelitian ini, variabel bebas penelitian adalah debit udara yang divariasikan dalam 0.014 m³/s; 0.017 m³/s; 0.02 m³/s. Sedangkan variabel terikatnya adalah Coefficient of Performance (COP), penurunan temperatur dan kelembaban relatif.

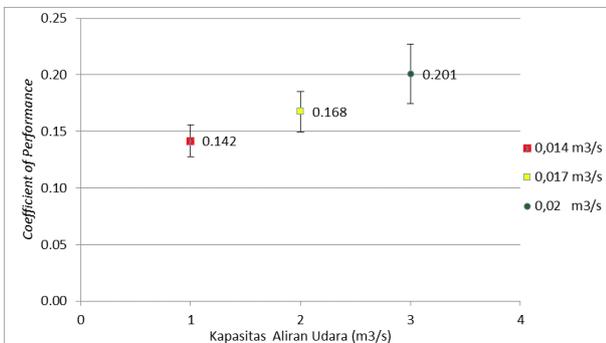
Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan pada tekanan atmosfer yang terukur pada Barometer yaitu 729 mmHg dan kelembaban relatif 86 %. Data diambil setiap sepuluh menit selama enam puluh menit dengan keadaan steady state. Hasil penelitian dapat dijelaskan pada beberapa gambar dibawah ini.



Gambar 3. Grafik hubungan antara COP terhadap debit aliran udara

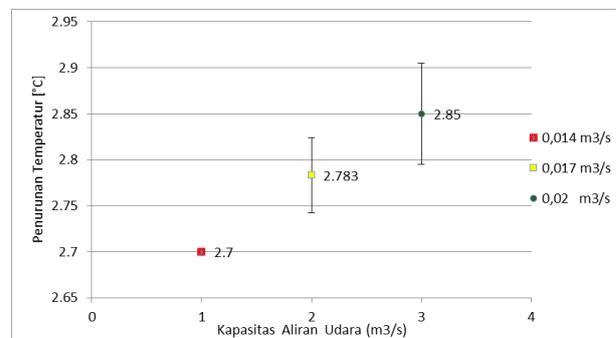
Gambar 3 memperlihatkan pengaruh variasi debit udara dengan COP ideal dari mesin pendingin termoelektrik. Dapat dilihat pada gambar tersebut bahwa nilai COP ideal tertinggi berada pada variasi debit udara 0,02 m³/s dengan rata-rata COP ideal sebesar 0,455, dibawahnya diikuti pada variasi debit udara 0,017 m³/s dengan rata-rata COP ideal sebesar 0,317. Kemudian COP ideal terendah berada pada variasi debit udara 0,014 m³/s dengan rata-rata COP ideal sebesar 0,251. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin besar debit udara, maka akan meningkatkan COP ideal. Hal tersebut disebabkan karena semakin besar debit udara yang mengalir pada saluran ducting dengan luas penampang yang tetap, maka akan meningkatkan kecepatan fluida udara tersebut. Semakin meningkatnya kecepatan udara, maka akan menurunkan temperatur udara sehingga laju perpindahan kalor konveksi juga akan meningkat. Temperatur udara yang rendah akan mempercepat perpindahan kalor pada temperatur surface termoelektrik. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya beda temperatur surface antara sisi dingin termoelektrik dan sisi panas termoelektrik, sehingga kalor yang diserap pada sisi dingin termoelektrik akan meningkat pada saat kalor konduksi pada termoelektrik menurun



Gambar 4. Grafik hubungan antara COP terhadap debit aliran udara

Gambar 4 menampilkan pengaruh variasi debit udara dengan COP aktual pada mesin pendingin termoelektrik. Terlihat pada gambar tersebut bahwa nilai COP aktual tertinggi berada pada variasi debit udara 0,02 m³/s dengan rata-rata COP aktual sebesar 0,201, dibawahnya diikuti pada variasi debit udara 0,017 m³/s dengan rata-rata COP aktual sebesar 0,168. Kemudian COP aktual terendah berada pada variasi debit udara 0,014 m³/s dengan rata-rata COP aktual sebesar 0,142. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa semakin besar massa alir yang mengalir pada saluran maka nilai COP aktual akan semakin meningkat. Kenaikan nilai massa alir yang mengalir pada saluran dipengaruhi oleh

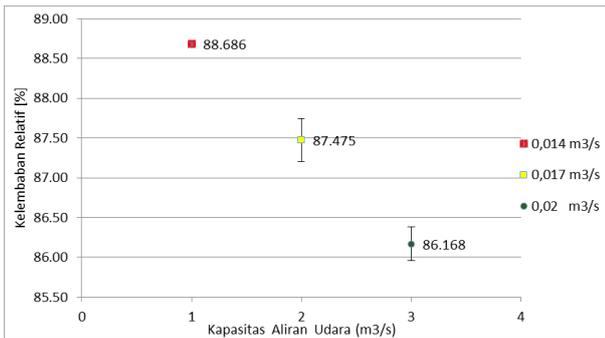
kenaikan debit udara dengan volume spesifik udara yang terbilang konstan di setiap variasi. Akan tetapi kenaikan COP aktual yang kurang signifikan juga dipengaruhi semakin bertambahnya arus termoelektrik yang mengalir. Hal ini dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya debit udara, maka beban pendinginan atau jumlah kalor yang dibawa dari ruangan akan semakin besar, sehingga termoelektrik membutuhkan arus yang besar juga untuk menyerap kalor dari sisi dingin. Selain itu, perbedaan nilai COP ideal dan aktual disebabkan karena pada COP aktual, nilai arus yang membagi penyerapan kalor lebih besar. Hal ini disebabkan karena daya input termoelektrik didapat dari tegangan dari power supply sebesar 12 volt. Sedangkan pada COP ideal, tegangan termoelektrik pada efek seeback ditentukan koefisien seeback dan beda temperatur sisi dingin dan panas



Gambar 5. Grafik hubungan antara Penurunan temperatur terhadap debit aliran udara

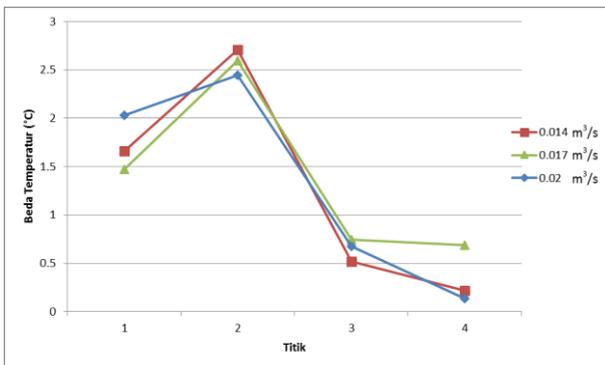
Pada gambar 5 memperlihatkan pengaruh variasi debit udara dengan penurunan temperatur pada mesin pendingin termoelektrik. Terlihat pada gambar tersebut bahwa nilai penurunan temperatur tertinggi berada pada variasi debit udara 0,014 m³/s dengan rata-rata penurunan temperatur sebesar 2,85 °C, dibawahnya diikuti pada variasi debit udara 0,017 m³/s dengan rata-rata penurunan temperatur sebesar 2,783 °C. Kemudian penurunan temperatur terendah berada pada variasi debit udara 0,02 m³/s dengan rata-rata penurunan temperatur sebesar 2,7 °C.

Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa semakin besar debit udara yang mengalir pada saluran maka beban pendinginan atau jumlah kalor yang dibawa dari ruangan akan semakin besar, sehingga menyebabkan meningkatnya temperatur bola kering. Selain itu kenaikan debit udara akan meningkatkan arus termoelektrik yang mengalir, sehingga jumlah kalor yang diserap di sisi dingin juga akan meningkat



Gambar 6. Grafik hubungan antara kelembaban relatif terhadap debit aliran udara

Gambar 6 menunjukkan pengaruh variasi debit udara dengan kelembaban relatif mesin pendingin termoelektrik. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa nilai kelembaban relatif tertinggi berada pada variasi debit udara 0,014 m³/s dengan rata-rata kelembaban relatif sebesar 88,68 %, dibawahnya diikuti pada variasi debit udara 0,017 m³/s dengan rata-rata kelembaban relatif sebesar 87,47 %. Kemudian kelembaban relatif terendah berada pada variasi debit udara 0,02 m³/s dengan rata-rata kelembaban relatif sebesar 86,16 %. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa semakin besar debit udara yang mengalir pada saluran maka beban pendinginan atau jumlah kalor yang dibawa dari ruangan akan semakin besar. Hal ini menyebabkan udara akan semakin kering sehingga kelembaban udara yang terkandung akan semakin kering.



Gambar 7. Grafik hubungan antara beda temperatur terhadap debit aliran udara

Gambar 7 memperlihatkan pengaruh beda temperatur dengan titik temperatur terhadap debit aliran udara pada mesin pendingin type termoelektrik. Titik 1 adalah selisih pada temperatur surface sisi dingin termoelektrik nomor 1 dengan termoelektrik nomor 2, titik 2 adalah selisih pada temperatur surface sisi dingin termoelektrik nomor 2 dengan termoelektrik nomor 3, titik 3 adalah selisih pada temperatur surface sisi dingin termoelektrik nomor 3 dengan termoelektrik nomor 4 dan titik 4 adalah selisih pada temperatur

surface sisi dingin termoelektrik nomor 4 dengan termoelektrik nomor 5.

Dapat dilihat bahwa nilai beda temperatur di titik 1 mengalami kenaikan beda temperatur hingga titik 2 pada variasi yang berbeda, sedangkan pada titik 3 dan titik 4, beda temperatur mengalami penurunan dari titik 2 pada variasi yang berbeda juga. Kenaikan beda temperatur hingga titik 2, disebabkan karena pada penelitian ini aliran udara yang digunakan adalah counterflow. Hal ini mengakibatkan temperatur udara sekitar yang memasuki sisi panas akan melewati heatsink pada termoelektrik nomor 5, sedangkan pada sisi dingin, temperatur udara sekitar akan melewati heatsink pada termoelektrik nomor 1. Oleh karena itu, dengan kondisi arus masuk termoelektrik dan beda temperatur yang sama, temperatur udara sekitar pada sisi panas akan terus meningkat dari heatsink termoelektrik nomor 5 dan mengalami kenaikan yang maksimal hingga heatsink termoelektrik nomor 1. Hal ini akan menyebabkan, pelepasan kalor pada heatsink termoelektrik nomor 5 akan sangat sulit karena temperatur udara sekitar hampir sama dengan temperatur surface sisi panas pada termoelektrik nomor 5. Pada saat temperatur surface termoelektrik pada sisi panas meningkat, hal ini akan menyebabkan beda temperatur sisi panas dan sisi dingin pada termoelektrik nomor 1 memiliki nilai yang besar. Sehingga, untuk mempertahankan beda temperatur, temperatur surface termoelektrik pada sisi dingin nomor 1 akan meningkat dan memiliki nilai temperatur yang tinggi mendekati temperatur udara sekitar pada sisi dingin, sehingga heatsink termoelektrik nomor 1 pada sisi dingin akan sulit untuk menyerap kalor. Temperatur surface termoelektrik nomor 2 pada sisi panas memiliki nilai lebih rendah dari temperatur surface termoelektrik nomor 1, karena dengan aliran counterflow, heatsink termoelektrik nomor 2 lebih mudah melepas kalor dibandingkan pada heatsink pada termoelektrik nomor 1. Hal ini akan menyebabkan, beda temperatur pada termoelektrik nomor 2 akan menurun dibandingkan pada beda temperatur termoelektrik nomor 1. Dengan menurunnya beda temperatur maka nilai dari temperatur surface termoelektrik nomor 2 pada sisi dingin akan menurun, Hal ini mengakibatkan, heatsink termoelektrik nomor 2 akan lebih mudah menyerap kalor dari temperatur udara sekitar dibandingkan dengan heatsink termoelektrik nomor 1. Kemudian, hal serupa juga terjadi pada termoelektrik nomor 3, dimana temperatur surface termoelektrik pada sisi panas mengalami pelepasan kalor yang optimal dibandingkan dengan temperatur surface termoelektrik nomor 1 dan 2. Hal ini akan mengakibatkan beda temperatur

menurun sehingga nilai temperatur surface termoelektrik nomor 3 pada sisi dingin akan menurun sehingga penyerapan kalor akan sangat optimal. Sehingga dapat dituliskan, bahwa nilai titik temperatur akan meningkat hingga titik 2.

Akan tetapi penurunan beda temperatur pada titik 3 dan titik 4 disebabkan karena pada saat temperatur udara sekitar melewati termoelektrik 4 dan 5, temperatur udara sudah diserap sebelumnya pada termoelektrik nomor 1,2 dan 3 sehingga temperatur udara yang sudah rendah akan menurunkan laju perpindahan kalor konveksi. Sebaliknya pada termoelektrik 1,2 dan 3, temperatur udara yang tinggi akan mempercepat laju perpindahan kalor konveksi.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar debit udara maka kalor yang diserap pada sisi dingin termoelektrik akan meningkat, sehingga nilai COP ideal dan aktual akan meningkat.
2. Semakin besar debit udara yang mengalir pada saluran maka jumlah kalor yang dibawa dari ruangan akan semakin besar, sehingga menyebabkan meningkatnya penurunan temperatur.
3. Semakin besar debit udara yang mengalir pada saluran maka jumlah kalor yang dibawa dari ruangan akan semakin besar. Hal ini menyebabkan udara akan semakin kering sehingga kelembaban udara yang terkandung akan semakin kering.

Referensi

- [1] Xiao, Z, Zhao L., 2015, Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity, Journal of Materiomics 1, hal 92-105
- [2] Kanatzidis MG., 2010, Nanostructured thermoelectrics: the new paradigm? Chemical Mater Vol 22, hal 648-59.
- [3] LaLonde AD, Pei YZ, Wang H, Snyder GJ., 2011, Lead telluride alloy thermoelectric. Mater Today Vol. 14, hal 526-32
- [4] Jenny D, M. Hasbi, Indra FA., 2016. Studi Penggunaan Modul Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Portable. Entalphy Vol. 1 No 1
- [5] Swapnil S. Khode. 2015. Review an Application of Thermoelectric Peltier Module in Cooling and Power Generation Technology,