

Kaji Eksperimental Termoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Alternatif

Bowo Yuli Prasetyo¹, Wirenda Sekar Ayu²

^{1,2}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : bowo_yuli@polban.ac.id

²E-mail : wirendasekar@polban.ac.id

ABSTRAK

Performa kompresi uap yang relatif tinggi menjadikannya umum digunakan sebagai sistem pendingin. Namun hal tersebut tidak membuatnya terlepas dari dampak yang dapat ditimbulkannya seperti pemanasan global serta penipisan ozon. Hal ini menjadi pemicu ditemukannya solusi alternatif, salah satunya termoelektrik. Studi ini bertujuan untuk mengkaji potensi termoelektrik sebagai sebuah pompa kalor melalui dua fluida kerja yang berbeda. Udara dan air digunakan dalam pengujian melalui pemanfaatan *heat sink* dan *waterblock* sebagai sarana penyerapan dan pelepasan kalor di kedua sisi termoelektrik. Pengujian dilakukan untuk menginvestigasi efisiensi alat penukar kalor serta implikasinya terhadap performansi termoelektrik. Hasil eksperimen menunjukkan variasi efisiensi kedua alat penukar kalor berbanding terbalik terhadap besar laju aliran masa fluida. *Heat sink* memiliki efisiensi yang relatif lebih tinggi dibanding *waterblock* dengan kisaran 0.37 hingga 0.45 dan 0.27 hingga 0.43 secara berurutan. Selain itu hasil pengujian juga menunjukkan variasi fluida kerja, temperatur masukan, dan laju aliran masa fluida memiliki pengaruh yang signifikan tidak hanya bagi temperatur keluran namun juga terhadap temperatur permukaan termoelektrik. Beda temperatur maksimum dihasilkan oleh *heat sink* sebesar 25.5°C dengan COP 0.58. Sementara COP tertinggi dihasilkan oleh *waterblock* sebesar 1.57 dengan beda temperatur 5°C. Sehingga diperoleh kesimpulan, termoelektrik dapat dimanfaatkan sebagai pompa kalor dengan rentang operasi yang ditunjukkan dalam penelitian ini.

Kata Kunci

Thermoelectric cooling, heat exchange, pompa kalor, termoelektrik

1. PENDAHULUAN

Disadari atau tidak, pendinginan sudah menjadi hal penting yang mendukung kehidupan manusia. Seluruh aktivitas manusia hampir tidak pernah lepas dari kebutuhan akan pendinginan. Mulai dari pengkondisian udara untuk kenyamanan di dalam hunian maupun transportasi, proses produksi, pertanian, hingga pendinginan bahan makanan untuk penyimpanan. Seluruh proses pendinginan tersebut melibatkan suatu mesin pendingin, apapun wujudnya.

Sistem kompresi uap adalah sistem yang sangat umum digunakan pada mesin-mesin pendingin. Hal tersebut dikarenakan performa dan efisiensi dari sistem kompresi uap yang lebih tinggi ketimbang sistem pendingin lainnya. Namun sistem ini membutuhkan refrigeran sebagai media penyerapan dan pelepasan kalor dari produk maupun ruangan. Ketika Refrigeran keluar dari sistem, ia akan berkontribusi besar pada penipisan lapisan ozon dan pemanasan global [1].

Akhir-akhir ini bermunculan banyak temuan yang memperbarui sistem pendinginan. Baik dari sisi refrigeran yang ramah lingkungan maupun sistem alternatif yang diyakini mampu menggantikan sistem kompresi uap. Salah satunya yaitu pemanfaatan termoelektrik. Termoelektrik merupakan sebuah komponen elektronika yang mampu menghantarkan kalor berdasarkan efek Peltier [2]. Yakni ketika dua buah logam yang disatukan dialiri oleh arus listrik akan

terjadi penyerapan kalor pada salah satu sisi dan pelepasan kalor pada sisi lainnya yang ditandai dengan perbedaan temperatur.

Pengujian efektivitas dan kelayakan termoelektrik sebagai pompa kalor telah dilakukan oleh Lim, et al. [3]. Dalam pengujian tersebut, fluida kerja berupa air digunakan secara simultan sebagai pendingin dan beban pendinginan pada masing-masing sisi termoelektrik. Hasil penelitian disimpulkan bahwa termoelektrik dapat digunakan sebagai pompa kalor dengan perbedaan suhu maksimum sebesar 30K pada kedua sisinya.

Potensi termoelektrik sebagai sistem pendingin dikemukakan pula oleh beberapa studi. Salah satunya yakni pengkombinasian termoelektrik kedalam sistem pendingin evaporatif secara tidak langsung [4]. Udara masukan dilewatkan pada sisi dingin termoelektrik dengan tujuan menurunkan temperatur dan menghasilkan air melalui proses kondensasi. Sebagian besar udara masukan dijadikan media pendingin ruangan dan sisanya menjadi media pendingin sisi panas termoelektrik bersama dengan air yang terbentuk dari hasil kondensasi. Pemanfaatan termoelektrik pada sistem ini mampu meningkatkan performa sistem hingga 62.2% dibanding sistem pendingin evaporatif konvensional.

Termoelektrik juga mampu diintegrasikan dengan saluran udara (*ducting*) layaknya *air handling unit* sebagai pengkondisi iklim mikro, seperti pada penelitian

yang dilakukan oleh irshad, et al. [5]. Sejumlah 15 orang subjek penelitian direkrut untuk tidur di dalam ruangan yang terkondisikan dan diukur kualitas tidurnya berdasarkan beberapa variabel pengujian. Beberapa variabel pengujian yang digunakan diantaranya kenyamanan thermal yang dinilai menggunakan skala *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD). Hasil dari studi tersebut menunjukkan ketercapaian kenyamanan thermal pada subjek penelitian layaknya sistem pendingin konvensional. Penggunaan termoelektrik juga diklaim dapat mereduksi emisi CO₂ sebesar 38% dibanding pengkondisi udara konvensional.

Pemanfaatan termoelektrik tidak hanya terhenti pada pengkondisian udara. Dengan memanfaatkan efek pendinginan pada termoelektrik, Riahi et al. menggunakan 18 buah termoelektrik untuk menyediakan air dari udara secara kontinu melalui proses pengembunan [6]. Melalui purwarupa yang diberi nama *Medium-Scale Atmospheric Water Generator* (MSAWG), mampu dihasilkan air bersih dari udara Malaysia yang beriklim tropis dengan biaya produksi sebesar USD 0.466 per liter. Selain itu, uji laboratorium dengan standar *World Health Organization* (WHO) pun menunjukkan bahwa hasil produksi dari MSAWG memenuhi kriteria air yang layak konsumsi.

Hal serupa juga dilakukan oleh Casallas, et al. dengan membuat purwarupa yang lebih portabel [7]. Pada purwarupa tersebut dilakukan pula pengaturan faktor-faktor yang mempengaruhi produksi air, seperti tegangan kerja termoelektrik dan kipas pendingin. Hasil uji eksperimen diperoleh nilai produksi air maksimal sebesar 0.33mL/h. Sementara itu, dengan mengedepankan faktor performansi dari purwarupa didapatkan pula nilai produksi air sebesar 0.22mL/h.

Melihat aplikasi dari termoelektrik yang dapat dimanfaatkan layaknya pompa kalor, maka perlu

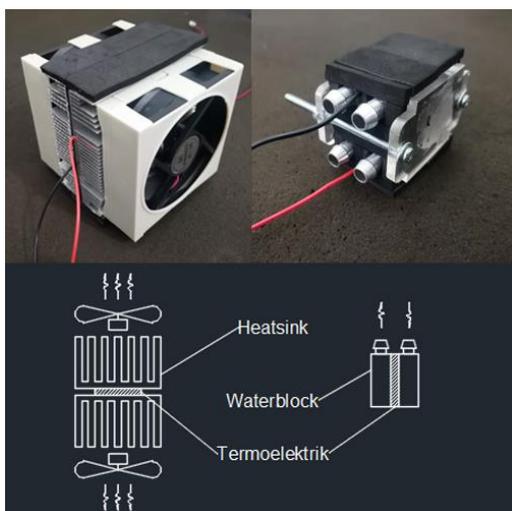
dilakukan eksperimen untuk mengkaji besar performansi yang mampu dihasilkan. Oleh karena itu didalam penelitian ini akan dilakukan pengujian performansi termoelektrik sebagai sistem pendingin beserta efisiensi alat penukar kalornya melalui dua buah fluida kerja yang berbeda yakni udara dan air.

2. METODOLOGI

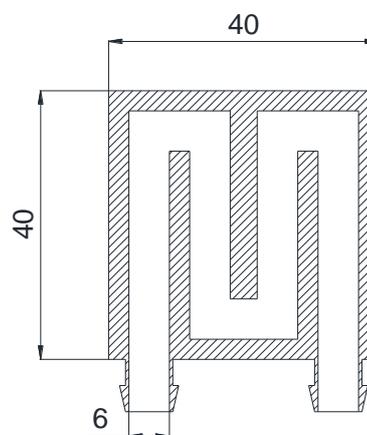
Gambar 1 menunjukkan perangkat yang digunakan dalam penelitian. Perangkat pertama memanfaatkan fluida kerja berupa udara yang menggunakan *heat sink* sebagai media pertukaran panas di kedua sisi termoelektrik. Sementara perangkat kedua menggunakan dua buah *waterblock* sebagai media pertukaran panas dengan fluida kerja berupa air.

Heat sink yang digunakan pada perangkat pertama memiliki dimensi panjang dan lebar sebesar 10cm x 10cm dan tinggi 2.5cm. Diantara kedua *heat sink*, terdapat sebuah termoelektrik berukuran 4cm x 4cm. Disamping itu, terpasang pula insulasi pada sisa area diantara kedua *heat sink* guna menghindari pertukaran panas secara langsung antara sisi dingin dan panas. Udara sebagai fluida kerja pada perangkat pertama dialirkan oleh sebuah kipas dc dengan ukuran yang sama seperti *heat sink*. Udara dihisap oleh kipas dari arah samping menuju ke tengah *heat sink* kemudian ke luar.

Waterblock merupakan balok alumunium berdimensi 4cm x 4cm x 1.2cm dengan rongga didalamnya seperti yang tampak pada gambar 2. Rongga tersebut berbentuk seperti pipa sebagai lintasan aliran air dengan diameter 6mm. Fluida kerja dialirkan menuju *waterblock* menggunakan pompa dc melalui pipa *polyurethane*. Pipa dan *waterblock* pada perangkat kedua dilapisi pula oleh insulasi guna meminimalisir pertukaran panas dengan lingkungan.



Gambar 1. Perangkat pengujian.



Gambar 2. Potongan melintang *waterblock*

Tabel 1. Karakteristik termoelektrik

Deskripsi	Nilai
Dimensi	4cm x 4cm x 0.39cm
I_{max} (A)	6.4
V_{max} (V)	14.4 ($T_H = 25^\circ\text{C}$) 16.4 ($T_H = 50^\circ\text{C}$)
$Q_{c,max}$ (W)	50 ($T_H = 25^\circ\text{C}$) 57 ($T_H = 50^\circ\text{C}$)
$\Delta T_{hc,max}$ ($^\circ\text{C}$)	66 ($T_H = 25^\circ\text{C}$) 75 ($T_H = 50^\circ\text{C}$)

Pasta termal diaplikasikan pada kedua sisi termoelektrik sebelum perangkat dirakit guna meminimalisir resistansi termal antara alat penukar kalor dan termoelektrik. Serta sumber daya listrik berupa *switch-mode power supply* (SMPS) dihubungkan pada kedua perangkat agar dapat menjalankan fungsinya.

Pada penelitian ini digunakan termoelektrik dengan material penyusun berupa bismuth tin (BiSn) yang mudah ditemukan dipasaran dan sangat umum digunakan. Spesifikasi termoelektrik secara lengkap dapat dilihat pada tabel 1 [8]. Kapasitas pendinginan maksimum ($Q_{c,max}$) diperoleh ketika termoelektrik diukur pada kondisi selisih temperatur sisi dingin dan panas (ΔT_{hc}) nol. Sementara $\Delta T_{hc,max}$ diperoleh ketika kondisi Q_c adalah nol.

Didalam penelitian ini terdapat beberapa variabel yang diatur guna melihat pengaruhnya terhadap kinerja termoelektrik dan alat penukar kalornya. Beberapa variabel tersebut meliputi daya masukan termoelektrik (P), temperatur input fluida kerja pada sisi panas dan dingin (T_i), serta laju aliran masa fluida kerja pada sisi panas dan dingin (\dot{m}). Guna melihat kinerja termoelektrik pada kondisi yang bervariasi, maka ditentukanlah parameter operasi yang berbeda-beda pada setiap variabel. Parameter operasi tersebut mewakili nilai minimum dan maksimum pada kisaran operasi perangkat, sehingga peralatan pengujian masih dapat bekerja dengan normal. Diantara kedua nilai tersebut diambil pula nilai tengah untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya ketidaklinieran pada hasil eksperimen. Tabel 2 menampilkan variasi parameter operasi yang digunakan dalam penelitian ini.

Input daya termoelektrik diatur menggunakan regulator tegangan dan arus pada setiap pengujian. Sementara pengaturan laju aliran masa fluida kerja dilakukan dengan mengubah input tegangan kipas maupun pompa. Temperatur input fluida kerja dikondisikan terlebih dahulu menggunakan pemanas listrik hingga sesuai. Pengaturan daya input, laju aliran masa, serta temperatur dijaga pada kondisi yang stabil selama proses pengukuran berlangsung.

Tabel 2. Parameter penelitian

Deskripsi	Nilai		
	Min.	Med.	Maks.
P (W)	20	35	50
T_i ($^\circ\text{C}$)	25	30	35
\dot{m} (kg/s)	0.008	0.01	0.013

Pada setiap eksperimen, temperatur output fluida kerja diukur guna melihat perubahan yang terjadi baik pada sisi panas ($T_{o,h}$) maupun dingin ($T_{o,c}$). Selain itu, dilakukan juga pengukuran temperatur input (T_i) serta temperatur permukaan penukar kalor baik sisi panas ($T_{s,h}$) dan dingin ($T_{s,c}$). Sehingga total terdapat 5 titik pengukuran. Pengukuran dilakukan menggunakan *data logger* dengan akurasi sensor sebesar $\pm 0.5^\circ\text{C}$ pada kisaran suhu -10°C hingga 85°C (Maxim Integrated Products, Inc., San Jose, California, Amerika). Serta disetiap prosesnya, pengukuran dilakukan setiap detik selama 5 menit guna mengamati setiap perubahan yang terjadi. Kemudian data temperatur yang stabil dipilih untuk dianalisa.

Dari data yang diperoleh kemudian dapat ditentukan efisiensi alat penukar kalor melalui persamaan (1) dan (2) bagi sisi dingin maupun sisi panas.

$$\varepsilon_c = \frac{T_i - T_{o,c}}{T_i - T_{s,c}} \quad (1)$$

$$\varepsilon_h = \frac{T_{o,h} - T_i}{T_{s,h} - T_i} \quad (2)$$

Kemudian besar efek pendinginan yang dihasilkan termoelektrik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Q_c = \dot{m} \times C_p \times (T_{o,c} - T_i) \quad (3)$$

atau

$$Q_c = \frac{T_{a,c} - T_{s,c}}{R_s} \quad (4)$$

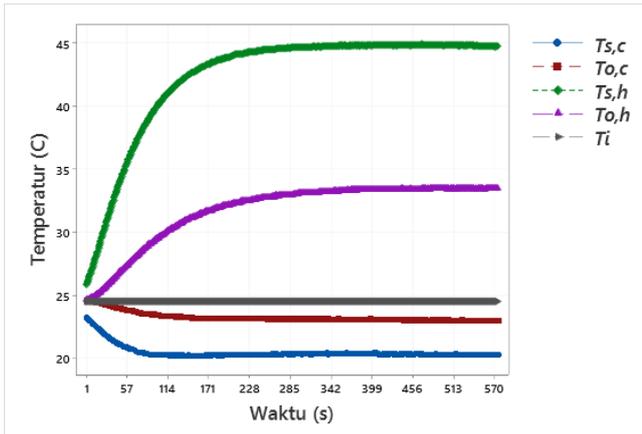
$$T_{a,c} = \frac{T_i - T_{o,c}}{2} \quad (5)$$

Dengan R_s adalah resistansi termal dari alat penukar kalor serta $T_{a,c}$ adalah temperatur rata-rata fluida kerja pada sisi dingin [9]. Sementara performansi termoelektrik sebagai sistem pendingin dihitung menggunakan persamaan (6)

$$COP = Q_c / P \quad (6)$$

3. HASIL DAN DISKUSI

Dari hasil pengujian didapatkan 27 set data pada masing-masing perangkat. Gambar 3 menunjukkan sampel grafik temperatur yang diperoleh pada eksperimen ke-11. Dari grafik tersebut terlihat temperatur sisi panas maupun dingin termoelektrik berubah dengan cepat ketika menerima daya masukan hingga kemudian mulai menunjukkan kondisi stabil.



Gambar 3. Sampel data eksperimen ke-11

Gambar 4 memperlihatkan kurva efisiensi alat penukar kalor pada kondisi laju aliran masa yang berbeda-beda. Hasil eksperimen menunjukkan efisiensi alat penukar kalor yang bervariasi, bergantung pada besar laju aliran masa fluida. Semakin rendah laju aliran masa fluida, maka efisiensi alat penukar kalor menjadi relatif lebih besar. Sebaliknya, semakin tinggi laju aliran masa fluida, maka efisiensinya menjadi rendah. Rata-rata efisiensi tertinggi diperlihatkan oleh *heat sink* dengan kisaran 0.41 hingga 0.45 pada sisi panas dan 0.37 hingga 0.42 pada sisi dingin. Sementara efisiensi *waterblock* berkisar antara 0.31 hingga 0.43 pada sisi panas dan 0.27 hingga 0.33 pada sisi dingin.

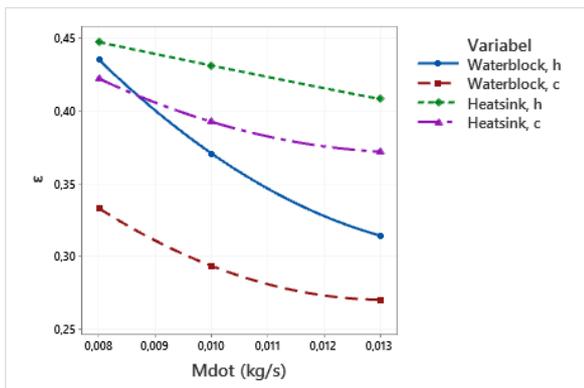
Sementara itu, perbedaan fluida kerja memiliki dampak yang signifikan terhadap variasi temperatur output seperti yang terlihat pada gambar 5. Gambar tersebut menunjukkan rata-rata selisih T_i dan T_o pada berbagai kondisi P dan \dot{m} . Perbedaan yang signifikan ini disebabkan oleh nilai kalor spesifik kedua fluida yang tidak sama. Air memiliki kalor spesifik 4.2 kJ/kg.K sedangkan udara hanya 1 kJ/kg.K. Dengan demikian, pada kondisi T_i , P , dan \dot{m} yang sama, udara akan lebih

mudah ditingkatkan/diturunkan temperatur keluarnya dibandingkan dengan air.

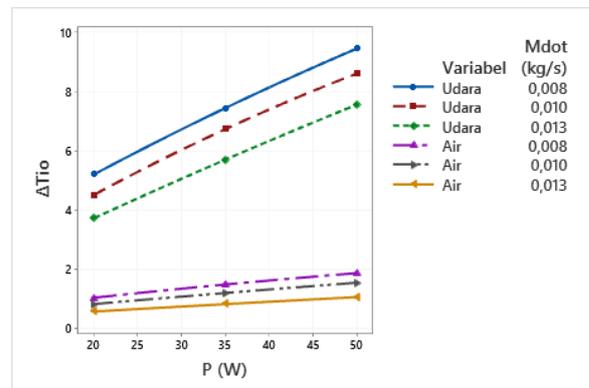
Pemanfaatan fluida kerja yang berbeda ternyata tidak hanya berdampak pada perbedaan temperatur keluaran saja. Hasil pengujian juga menunjukkan terjadinya perbedaan temperatur permukaan penukar kalor yang signifikan pada kedua perangkat. Gambar 6 menampilkan sampel kontur temperatur sisi panas pada kedua perangkat. Pada kondisi parameter pengujian yang sama, $T_{s,h}$ perangkat 1 memiliki nilai yang cukup tinggi dengan kisaran temperatur 40°C hingga 52°C, sementara perangkat 2 hanya berkisar antara 32°C hingga 34°C.

Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai T_o diantara kedua perangkat yang berdampak pada nilai T_a . Nilai T_a yang relatif tinggi pada perangkat 1 mengakibatkan kisaran nilai $T_{s,h}$ yang besar. Sementara nilai T_a yang relatif rendah membuat kisaran $T_{s,h}$ relatif lebih kecil seperti yang terjadi pada perangkat 2 [9]. Hal ini membuat pemahaman akan perbedaan proses serta efek penyerapan maupun pelepasan kalor pada termoelektrik dan kompresi uap. Pada evaporator dan kondenser, penyerapan maupun pelepasan kalor idealnya memanfaatkan perubahan fasa refrigeran (panas laten). Sehingga tidak terdapat pengaruh perubahan temperatur evaporasi maupun kondensasi didalamnya. Sementara dengan tidak adanya perubahan fasa pada termoelektrik membuat pelepasan maupun penyerapan kalor sangat mempengaruhi temperatur permukaannya (panas sensibel).

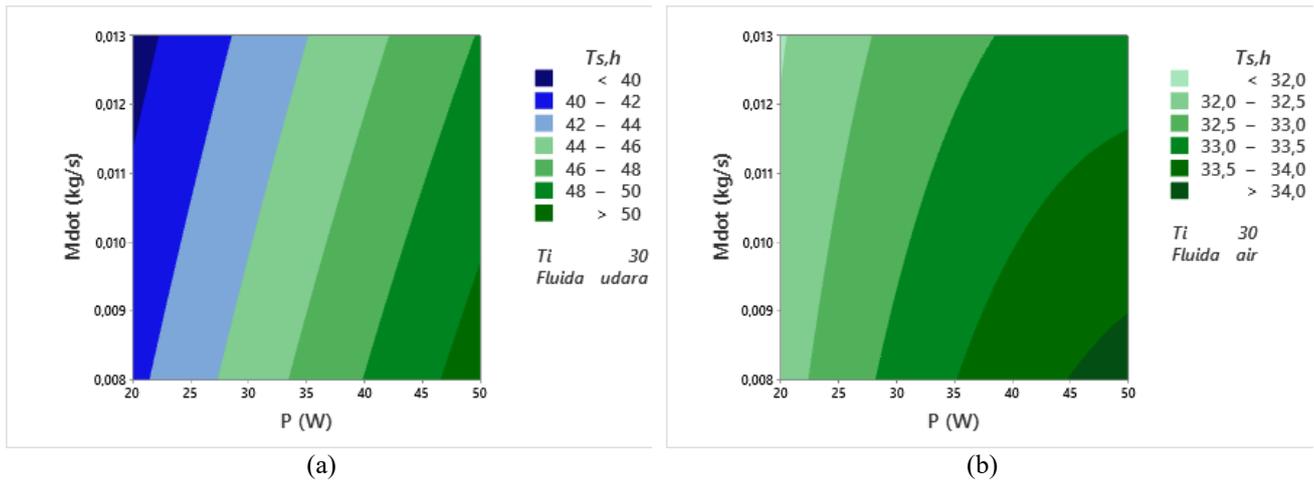
Namun, kedua perangkat pengujian menunjukkan sifat yang relatif sama, yaitu dengan kondisi P yang tetap, $T_{s,h}$ pada kedua perangkat mengalami penurunan apabila \dot{m} diperbesar. Laju aliran masa yang tinggi membuat pelepasan kalor menjadi lebih baik sehingga berimbas pada penurunan $T_{s,h}$.



Gambar 4. Kurva efisiensi alat penukar kalor



Gambar 5. Kurva beda temperatur masukan dan keluaran



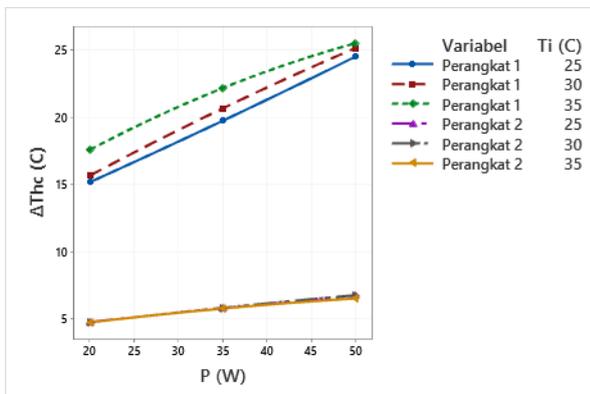
Gambar 6. Kontur temperatur $T_{s,h}$ pada (a) *heat sink* (b) *waterblock*

Hal ini terus berlanjut pada variasi ΔT_{hc} diantara kedua perangkat, karena pengaruh yang sama juga terjadi pada sisi dingin. Temperatur air yang lebih ‘sulit’ diturunkan ketimbang udara membuat $T_{o,c}$ air lebih tinggi dibandingkan udara. Sehingga rata-rata nilai ΔT_{hc} pada perangkat 2 jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan perangkat 1. Gambar 7 menampilkan rata-rata ΔT_{hc} kedua perangkat pada kondisi P dan T_i yang bervariasi. ΔT_{hc} tertinggi dihasilkan oleh perangkat 1 dengan nilai 25.5°C. Sementara pada perangkat 2 nilai ΔT_{hc} tertinggi sebesar 6.76°C

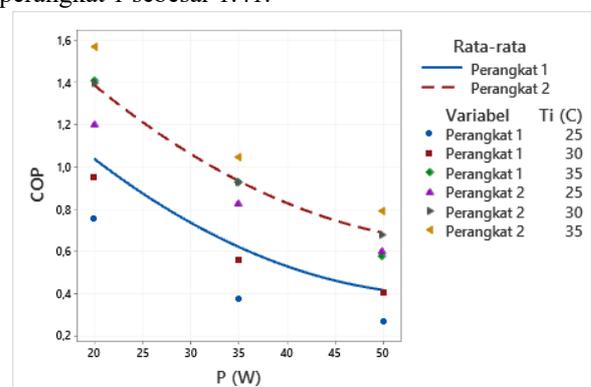
Hasil eksperimen juga menunjukkan variasi COP kedua perangkat pada berbagai kondisi seperti yang ditampilkan oleh gambar 8. Gambar tersebut memperlihatkan peningkatan nilai COP kedua perangkat yang berbanding lurus terhadap nilai T_i . Dengan demikian nilai performansi sebuah termoelektrik cenderung lebih besar ketika berada di lingkungan yang bertemperatur tinggi ketimbang rendah. Namun perlu diperhatikan kembali bahwa kondisi temperatur sangat mempengaruhi nilai $T_{s,h}$ dan $T_{s,c}$, yang pada akhirnya akan berdampak pada ketercapaian target temperatur pendinginan.

Di sisi lain daya masukan juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap performansi termoelektrik. Hal ini dibuktikan oleh kedua perangkat yang mengalami perubahan nilai COP ketika diberikan daya input yang bervariasi. Semakin tinggi daya input yang diberikan akan menghasilkan peningkatan efek pendinginan. Namun peningkatan efek pendinginan tersebut tidak sebanding dengan masukan yang diberikan sehingga membuat nilai COP menjadi turun.

Gambar 8 juga menunjukkan perbedaan rata-rata COP dari kedua perangkat. Perangkat 1 yang menggunakan fluida kerja udara menghasilkan nilai performansi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan perangkat 2. Hal ini sangat berkaitan erat dengan nilai ΔT_{hc} pada keduanya. Variasi ΔT_{hc} memiliki dampak terhadap besar Q_c yang dihasilkan oleh termoelektrik. Dengan P yang tetap, termoelektrik akan memberikan Q_c yang besar ketika nilai ΔT_{hc} kecil, sebaliknya ketika ΔT_{hc} besar maka Q_c yang dihasilkan akan lebih rendah [8]. Oleh karena itu, ΔT_{hc} perangkat 2 yang relatif lebih kecil menghasilkan rata-rata nilai performansi yang lebih tinggi dibanding perangkat 1. COP tertinggi dihasilkan oleh perangkat 2 dengan nilai 1.57 sedangkan pada perangkat 1 sebesar 1.41.



Gambar 7. Kurva variasi ΔT_{hc}



Gambar 8. Kurva COP

4. KESIMPULAN

Pengujian telah berhasil dilakukan terhadap kedua perangkat yang memanfaatkan perbedaan fluida kerja. Dari hasil pengujian ditemukan variasi nilai efisiensi diantara kedua alat penukar kalor. Efisiensi tertinggi dihasilkan oleh *heat sink* dengan kisaran nilai 0.37 hingga 0.45. Sementara *waterblock* menghasilkan efisiensi dengan kisaran 0.27 hingga 0.43. Variasi efisiensi kedua alat penukar kalor ini berbanding terbalik terhadap besar laju aliran masa fluida.

Selain itu ditemukan pula pengaruh perbedaan fluida kerja, temperatur masukan, dan laju aliran masa terhadap temperatur keluaran serta temperatur permukaan termoelektrik baik sisi panas maupun sisi dingin. Hal ini memunculkan konsep pemahaman yang berbeda antara evaporator dan kondenser pada sistem kompresi uap dan termoelektrik.

Perbedaan temperatur sisi panas dan dingin pada termoelektrik merupakan salah satu faktor yang penting, karena tidak hanya mempengaruhi ketercapaian target temperatur pendinginan namun juga besar pendinginan dan performansi yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan nilai maksimal beda temperatur yang diperoleh sebesar 25.5°C pada perangkat 1 dengan nilai *COP* 0.58. Sementara nilai performansi maksimal dihasilkan oleh perangkat 2 sebesar 1.57 pada kondisi beda temperatur 5°C.

Melalui temuan-temuan ini, diperoleh kesimpulan bahwa termoelektrik dapat dimanfaatkan sebagai pompa kalor dengan batasan rentang operasi yang ditunjukkan dalam penelitian. Namun, penelitian yang lebih banyak lagi tentu diperlukan guna memperluas rentang kisaran operasi ataupun ketika spesifikasi termoelektrik yang digunakan berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya atas dukungan finansial dari Politeknik Negeri

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. M. Calm, "Emissions and environmental impacts from air conditioning and refrigeration systems," *Int. J. Refrig.* Vol. 25, pp. 293-305, 2002.
- [2] H. Lim, S-Y. Cheon, J-W. Jeong, "Empirical analysis for the heat exchange effectiveness of a thermoelectric liquid cooling and heating unit," *Energies*, vol. 11, no. 3:580, 2018.
- [3] *Thermoelectrics: Design and Materials*, H. Lee,: Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2016, ch. 1, pp. 1-5.
- [4] Y. Zhou, Z. Yan, M. Gao, Q. Dai, Y. Yu, "Numerical investigation of a novel plate-fin indirect evaporative cooling system considering condensation," *Processes*, vol. 9: 332, 2021.
- [5] K. Irshad, S. Algarni, M. T. Ahmad, S. A. Irfan, K. Habib, M. A. H. Abdelmohimen, Md. H. Zahir, G. M. S. Ahmed, "Microclimate thermal management using thermoelectric air-cooling duct system operated at five incremental powers and its effect on sleep adaptation of the occupants," *Energies*, vol. 12, no. 19:3695, 2019.
- [6] A. Riahi, N. A. Zakaria, N. M. Noh, M. Z. M. Amin, A. M. Jusoh, Azman, M. M. Ideris, M. Z. Muhammad, M. A. Ramli, M. R. R. M. A. Zainol, S. Shahrudin, M. F. Yusof, "Performance investigation of 18 thermoelectric cooler (tec) units to supply continuous daily fresh water from malaysia's atmosphere," *Sustainability*, vol. 13, no. 3:1399, 2021.
- [7] I. Casallas, M. Pérez, A. Fajardo, C-I. Paez-Rueda, "Experimental parameter tuning of a portable water generator system based on a thermoelectric cooler," *Electronics*, vol. 10, no. 2:141, 2021.
- [8] Data teknis TEC 12706, diperoleh melalui: <https://peltiermodules.com/peltier.datasheet/TEC1-12706.pdf>, 10 Mei 2021
- [9] P.Chennakesavarao, P. Srihari, "A thesis on design optimization of heat sink in power electronic," *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, issue 10, pp. 83-94, Oktober 2014.