



Analisis perancangan *cooler box* berbasis termoelektrik terhadap varian penggunaan *termal paste*, faktor lingkungan dan *heatsink*

Imron Rosyadi^{1*}, Haryadi¹, Novreza Pratama¹, M Haikal Fasya¹, Ade Irman², Aswata¹, Yusvardi¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jend. Sudirman KM.3 Cilegon, Banten, 42435, Indonesia.

²Jurusan Teknik Industri, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jend. Sudirman KM.3 Cilegon, Banten, 42435, Indonesia.

*Corresponding author: imron_jtm@untirta.ac.id

ARTICLE INFO

Received: 13 November 2021

Revision: 14 November 2021

Accepted: 15 November 2021

Keywords:

Thermoelectric

Cooler box

Thermal paste

Heat sink

ABSTRACT

Thermoelectric is a semi-conductor module that is commonly used in portable cooler box because it is light, saves electricity and does not require a large space. This thermoelectric based on cooling technology design is expected to provide data and analysis results that help cooler box designers to produce the best performance. The purpose of this research is to study the effect of using thermal paste, environmental factors and heatsink. The results of the study show that testing with thermal paste obtained the best conditions with the average temperature of the cold side being -1.17°C with the best temperature being -6.05°C . In the test conditions in the box if proven better than the open temperature conditions with a temperature difference of 7.4°C . In the heatsink test, there was a decrease in performance caused by the influence of the conductivity of the heatsink material, which was 4.87°C .

1. PENDAHULUAN

Cooler box atau boks pendingin merupakan merupakan alat yang biasa digunakan untuk menyimpan material yang memerlukan temperatur dingin pada ruangnya selama waktu tertentu untuk menyimpan makanan, minuman, vaksin, *blood carrier*, dan lainnya. Modul termoelektrik merupakan sirkuit terintegrasi dalam bentuk solid yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek Seebeck, Peltier dan Thompson [1]. Ketika arus DC dialirkan ke elemen Peltier, akan mengakibatkan salah satu sisi elemen Peltier menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan). Elemen Peltier dapat dimanfaatkan sebagai pemanas dan pendingin bergantung pada arah arus yang diberikan. Pemanfaatan elemen peltier banyak diaplikasikan dalam sistem kontrol temperatur, terutama pada proses pendinginan seperti untuk sistem kontrol temperatur udara [2] dan temperatur air [3]. Elemen peltier memiliki bentuk yang compact dengan daya yang kecil, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai alat pendingin *cool box*.

Perangkat termoelektrik juga dapat mengubah energi panas dari gradien suhu menjadi energi listrik-- fenomena ini ditemukan pada tahun 1821 dan disebut "efek Seebeck". Seperti disebutkan di atas, ketika perbedaan suhu dibuat antara ujung panas dan dingin

dari bahan semikonduktor, tegangan dihasilkan, yaitu tegangan Seebeck. Sebenarnya efek Seebeck merupakan kebalikan dari efek Peltier. Berdasarkan efek Seebeck ini, perangkat termoelektrik juga dapat bertindak sebagai pembangkit listrik [4].

Konstruksi termoelektrik terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk termokopel. Modul ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas dan dingin di masing-masing sisinya jika arus listrik digunakan biasanya diaplikasikan sebagai sistem pendingin [4], [5], misalnya kotak pendingin vaksin [6], [7], [8], [9] atau untuk menghasilkan listrik ketika panas dan dingin digunakan sebagai perbedaan temperaturnya [4], [10].

Penyebab sisi dingin elemen Peltier adalah adanya aliran elektron dari tingkat energi yang lebih rendah pada semikonduktor tipe-P, ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu semikonduktor tipe-N. Supaya elektron tipe-P yang mempunyai tingkat energi yang lebih rendah dapat mengalir maka elektron menyerap energi yang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin.

Pada sambungan sisi panas, elektron mengalir dari tingkat energi yang lebih tinggi (semikonduktor tipe-N) ke tingkat energi yang lebih rendah (semikonduktor tipe-P). Dengan tingginya tingkat energi yang dimiliki semikonduktor tipe-N, maka kelebihan energi pada

semikonduktor tipe-N dilepas ke lingkungan, sehingga sisi termoelektrik tersebut menjadi panas.

Efek Thomson hadir dengan koefisien Seebeck yang bergantung pada suhu. Koefisien Thomson positif meningkatkan kinerja pendinginan termoelektrik sebesar 5-7% [11], sedangkan koefisien Thomson negatif mengurangi kinerja pendinginan [12]. Namun, untuk pendingin termoelektrik yang tersedia secara komersial, efek Thomson seringkali kecil dan dapat diabaikan. G. J. Snyder dkk mengembangkan konsep 'pendingin Thomson' dan memperkirakan bahwa dengan ZT yang setara, perbedaan suhu sisi panas/dingin yang lebih tinggi dapat dicapai daripada pendingin Peltier tradisional [13].

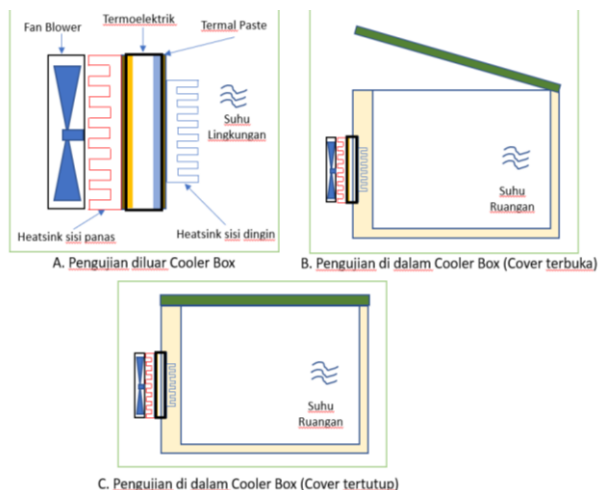
Biasanya permasalahan pada pembuatan cooler box berbasis termoelektrik adalah pada saat proses manufaktur di cooler box. Temperatur pada sisi dingin meningkat diatas kondisi saat belum terinstal cooler box.

Penelitian ini ingin mempelajari pengaruh thermal paste dan heatsink pada pembuatan cooler box berbasis termoelektrik dan efek heat sink pada sisi dingin terhadap performa alat secara keseluruhan. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi tentang perancangan cooler box secara baik dan menghasilkan efek pendinginan yang optimal.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Variabel pengujian

Pengujian dilakukan dengan beberapa metode. Pengujian yang pertama dilakukan dengan membandingkan TEC dengan menggunakan termal paste, tanpa termal paste dan menggunakan heatsink.



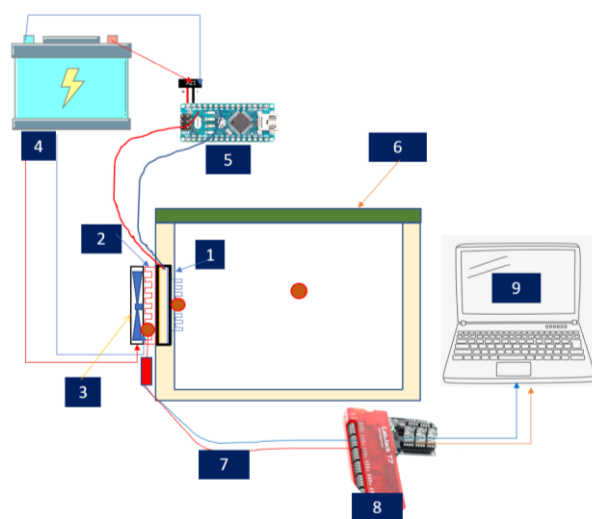
Gambar 1. Gambar beberapa metode pengujian

Untuk melihat pengaruh udara luar, maka pengujian dilakukan pada waktu siang dan malam dalam kondisi belum terpasang di cooler box. Selanjutnya pengujian juga dilakukan pada kondisi terinstal di cooler box dan diuji dalam keadaan terbuka dan tertutup dari tutup cooler box nya. Ini bertujuan agar dapat diketahui apakah faktor udara luar juga berpengaruh pada kondisi temperatur TEC di dalam box.

2.2. Alat dan bahan.

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah cooler box berbahan polyethylene dengan ukuran 34 x 21 x 23 cm dan tebal 3 cm, berkapasitas 8L. Sedangkan thermoelectric yang digunakan adalah tipe TEC1-12706. Kalor yang dihasilkan motor listrik pada fan tidak diperhitungkan. Isolator yang digunakan adalah Cutton Pad pada sisi dingin elemen peltier. Batere 18650, 12V 50Ah digunarik arus DC untuk menggerakkan dan blower dan termoelektrik.

Heat sink pada sisi luar digunakan untuk membuang panas dan menciptakan efek pendinginan pada peltier sisi dingin. Data akusisisi labjack tipe T7 digunakan untuk mengukur besarnya temperatur pada sisi termoelektrik, udara lingkungan dan udara ruang. Secara lebih detail dapat digambarkan pada Gambar 2 untuk skema lat pengujian.



1. Termoelektrik (TEC)
2. Heat Sink
3. Fan Blower
4. Batere DC 12 V
5. Step down DC
6. Cooler Box
7. Termocouple
8. Labjack T7 (Data akuisisi)
9. Komputer

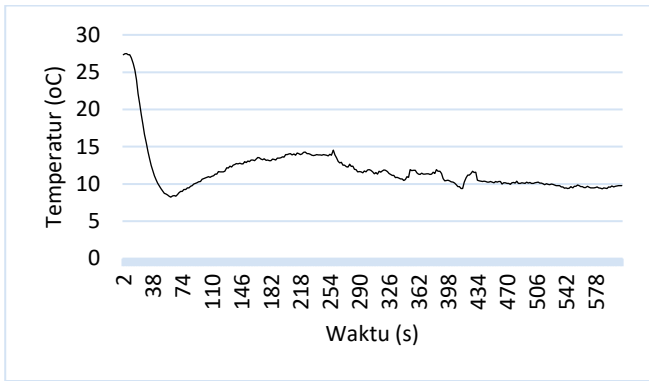
Gambar 2. Skema alat uji cooler box berbasis termoelektrik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

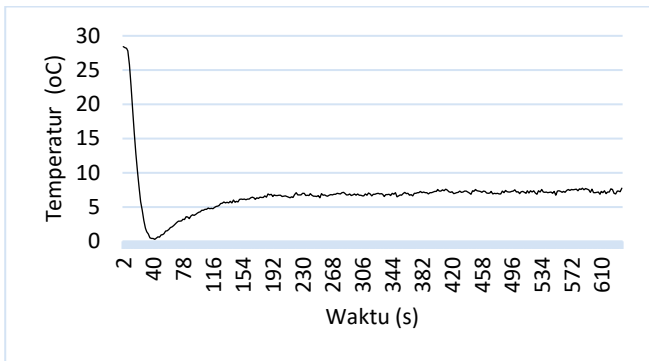
3.1. Pengaruh termal paste pada performance TEC

Pada Gambar 3 disajikan tentang hasil pengujian termoelectric dalam keadaan terbuka tanpa termal paste dan Gambar 4 disajikan tentang hasil pengujian termoelectric dalam keadaan terbuka dengan termal paste, waktu pengambilan data dilakukan selama 10 menit (600 detik). Dengan tanpa diberikan thermal paste, temperatur rata rata sisi dingin 11,25°C, sedangkan pada hasil pengujian menggunakan thermal paste didapatkan temperatur rata-rata pada sisi dingin yang lebih rendah yaitu 6,22°C.

Hal ini menunjukkan bahwa adanya thermal paste berpengaruh terhadap pembacaan temperature pada alat ukur. Udara sebagai fluida yang memiliki konduktifitas thermal yang sangat rendah [14] merupakan isolator thermal yang menghambat terjadinya perpindahan kalor.



Gambar 3. Grafik hubungan waktu dan temperatur pada termoelektrik dalam keadaan terbuka tanpa termal paste



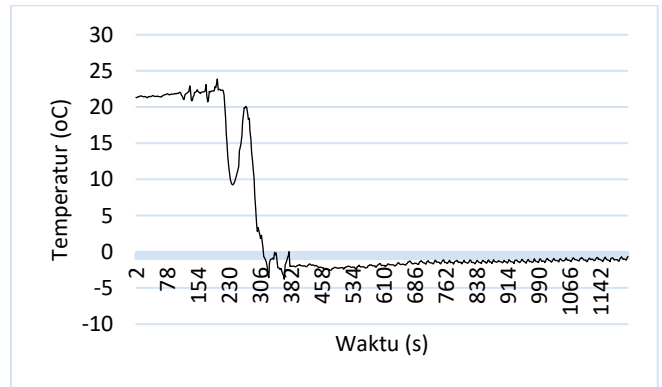
Gambar 4. Grafik hubungan waktu dan temperature pada termoelektrik dalam keadaan terbuka dengan termal paste

Tabel 1. Sifat konduktifitas *thermal* beberapa zat [14]

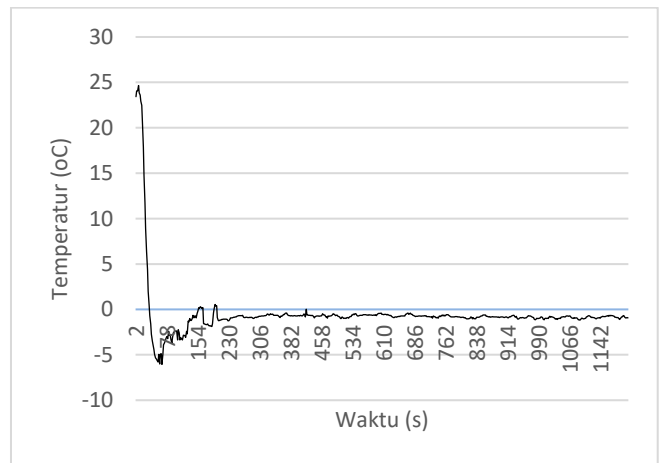
No	Komposisi	Konduktifitas Thermal (k) [W/m.K]	Panas Jenis (Cp) [J/kg.K]
1	Udara	$26,3 \times 10^{-3}$	1,1614
2	Thermal paste	70	385
3	Aluminium	237	903
4	Polyethylene Terephthalate (PET)	0.15 - 0.24	1200-1350
5	Polypropylene (PP)	0,1-0,22	1700-1900
6	Polyethylene (PE)	0,45-0,52	1900

Secara lebih detail dapat dilihat pada Tabel 1 untuk nilai konduktifitas thermal pada beberapa material yang dipakai pada pengujian ini. Kemampuan daya hantar panas dari thermal paste kurang lebih 20-30 % kemampuan material konduktor berbasis logam dengan konduktifitas thermal tinggi seperti Aluminium oxide, boron nitride, zinc oxide dan aluminum nitride. Material ini terdiri dari 70-805 material *filler adhesive*. Dengan kemampuannya ini diharapkan dapat mengurangi gap kesalahan pengukuran karena disebabkan oleh interaksi udara sebagai isolator sehingga terjadi noise pada pembacaan alat ukur.

Pengujian selanjutnya adalah membandingkan antara termoelektrik dalam kondisi tertutup menggunakan thermal paste dan tidak menggunakan thermal paste seperti disajikan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Grafik hubungan waktu dan temperatur pada termoelektrik dalam keadaan tertutup tanpa termal paste



Gambar 6. Grafik hubungan waktu dan temperature pada termoelektrik dalam keadaan tertutup dengan termal paste.

Hasil pengujian untuk rata-rata temperatur pada sisi dingin untuk pengujian *cooler box cover* tertutup dengan termal paste adalah $-1,17^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada pengujian tanpa termal paste temperatur rata-rata pada sisi dingin adalah $8,26^{\circ}\text{C}$, perhitungan ini dilakukan pada detik ke 30 sampai detik ke 1200 (20 menit).

Perbedaan ini terjadi karena adanya noise akibat adanya udara yang terjebak diantara termoelektrik dan alat ukur *thermocouple*. Hal ini menyebabkan waktu yang digunakan untuk mencapai temperature dingin yang diinginkan membutuhkan waktu yang lebih lama. Temperatur dibawah 8°C digunakan sebagai indicator temperature rendah didasarkan pada temperatur maksimal yang digunakan untuk alat penyimpan vaksin pada *cooler box*.

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur tersebut adalah 294 detik (4,9 menit). Sampai pada detik ke 1200 (20 menit), temperatur yang terendah dicapai pada pengujian dengan termal paste adalah $-6,05^{\circ}\text{C}$ sedangkan pada pengujian tanpa termal *paste* adalah $-3,7^{\circ}\text{C}$.

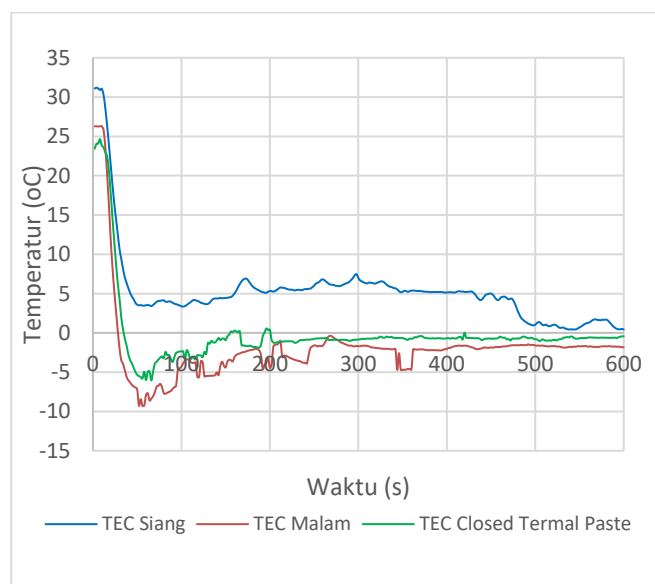
Jika dibandingkan dengan pengujian sebelumnya yaitu kondisi cooler box terbuka maka performa pada kondisi cooler box tertutup terbukti lebih baik, hal ini disebabkan kondisi temperatur didalam lebih stabil dan efek dari penurunan pada temperatur sisi dingin membantu mendinginkan kondisi temperatur lingkungannya. Apa bila kondisi cover terbuka, maka temperatur diluar yang kurang stabil dan terjadinya aliran udara sekitar mempengaruhi temperatur termoelektrik sisi dingin.

3.2 Pengaruh udara lingkungan

Pengujian selanjutnya membandingkan antara termoelektrik pada kondisi belum terpasang pada termoelektrik pada siang dan malam hari, dibandingkan dengan kondisi termoelektrik didalam cooler box yang tertutup (disebut *closed termal paste*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara siang dan malam.

Pada pagi hari temperatur lingkungan pada waktu 10.00 WIB temperatur lingkungan terukur adalah 30°C. Pada kondisi tersebut temperatur rata-rata terendah adalah 4,19°C. Pada kondisi malam hari dimana suhu lingkungan adalah 26°C, temperatur rata-rata sisi dingin adalah -1,9°C. Pada kondisi malam hari terbukti temperature yang dicapai adalah lebih rendah dibandingkan dengan pagi hari. Jika dibandingkan dengan pada kotak kondisi tertutup maka hasil pengujian malam hari juga lebih tinggi.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa faktor temperatur lingkungan sangat berpengaruh pada performa dari termoelektrik. Hal ini menjadi tantangan bagi seorang perancang yang ingin membuat *cooler box*, karena kebutuhan aktifitas terbesar adalah pada kondisi cuaca panas yakni pada pagi hari dan siang hari.



Gambar 7. Grafik hubungan waktu (s) dan Temperatur pada sisi peltier yang dingin (°C) dengan perbedaan waktu siang dan malam dan *closed termal paste*

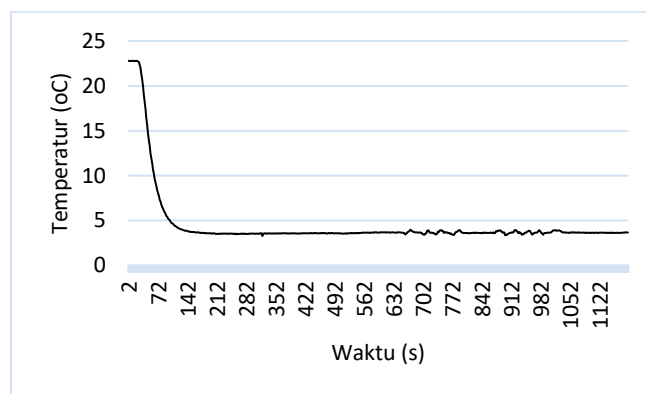
3.3 Pengaruh pemasangan heat sink

Pada Pengujian selanjutnya membandingkan antara termoelektriks pada sisi dingin dengan heat sink. Tujuan dari penambahan. Plat digunakan untuk membantu pembacaan pada thermocouple diletakkan pada sisi heatsink. Jika tanpa plat temperatur terbaca akan cenderung banyak noise karena udara sehingga temperature rerata sisi dingin adalah 8,99°C.

Dengan penambahan plat maka temperatur rerata sisi dingin adalah 3,7°C. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 8. Terjadi peningkatan temperatur setelah ditambahkan heatsink. Hal ini disebabkan karena panas yang dihantarkan melalui material heatsink memiliki konduktifitas thermal tertentu, dimana sesuai dengan tabel 1 aluminium memiliki konduktifitas termal sebesar 237 W/m.K. Panas yang melalui permukaan tersebut turun sesuai dengan persamaan yang dikenal dengan hukum Fourier.

$$q'_{cd} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \tag{1}$$

dimana A adalah luas pada arah perpindahan (m²) dan berbanding lurus dengan gradient temperature dT/dx pada arah perpindahan yang sama, dengan k adalah konduktivitas thermal (W/m.°C).



Gambar 8. Grafik hubungan waktu (s) dan Temperatur with sink dengan plat

4. KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan maka dapat ditarik bebrapa kesimpulan yaitu :

1. Pemberian thermal paste berpengaruh pada noise yang terjadi pada hasil pembacaan *thermocouple*. Hal ini disebabkan karena pengaruh udara yang memiliki konduktifitas thermal yang rendah dan bersifat isolator.
2. Faktor temperatur lingkungan berpengaruh pada kinerja termoelektrik, pengujian pada malam hari cenderung menghasilkan performa yang memuaskan pada malam hari
3. Adanya *heatsink* menyebabkan temperatur pada sisi dingin mengalami peningkatan dari -1,17°C menjadi 3,7°C atau terjadi beda temperature sebesar 4,87°C.

REFERENSI

- [1]. Astrain, David, and Álvaro Martínez (2012). Heat Exchangers for Thermoelectric Devices, Heat Exchangers- Basics Design Applications, Dr. Jovan Mitrovic (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/33464. Available from: <http://www.intechopen.com/books/heat-exchangers-basics-design-application/heat-exchangers-for-thermoelectric-devices>.
- [2]. Manoj Rautl, "Thermoelectric Air Cooling For Cars", International Journal of Engineering Science and Technology, Volume 4, Issue 5, May 2012, pp 2381-2394.
- [3]. Gandhi, Frima dan Yusfi, Meqorry. Perancangan Sistem Pendingin Air Menggunakan Elemen Peltier Berbasis Mikrokontroler ATmega8535, Jurnal Fisika Unand Vol. 5, No. 1 (2016), p.35-41.
- [4]. S. B. Riffat and X. Ma, "Thermoelectrics: A review of present and potential applications," Appl. Therm. Eng., vol. 23, no. 8, pp. 913-935, 2003, doi: 10.1016/S1359-4311(03)00012-7.
- [5]. S. B. Riffat, S. A. Omer, and X. Ma, "A novel thermoelectric refrigeration system employing heat pipes and a phase change material: An experimental investigation," Renew. Energy, vol. 23, no. 2, pp. 313-323, 2001, doi: 10.1016/S0960-1481(00)00170-1.
- [6]. S. Chatterjee and K. G. Pandey, "Thermoelectric cold-chain chests for storing/transporting vaccines in remote regions," Appl. Energy, vol. 76, no. 4, pp. 415-433, 2003, doi: 10.1016/S0306-2619(03)00007-2.
- [7]. N. Putra, R. A. Koestoer, M. Adhitya, A. Roekettino, and B. Trianto, "Kendaraan Hibrid," Makara Teknol., vol. 13, no. 2, pp. 53-58, 2009.
- [8]. S. Pourhedayat, "Application of thermoelectric as an instant running-water cooler; experimental study under different operating conditions," Appl. Energy, vol. 229, no. August, pp. 364-374, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.08.009.
- [9]. E. Cuce, T. Guclu, and P. M. Cuce, "Improving thermal performance of thermoelectric coolers (TECs) through a nanofluid driven water to air heat exchanger design: An experimental research," Energy Convers. Manag., vol. 214, no. February, p. 112893, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.112893.
- [10]. S. M. Pourkiaei et al., "Thermoelectric cooler and thermoelectric generator devices: A review of present and potential applications, modeling and materials," Energy, vol. 186, p. 115849, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.07.179.
- [11]. [W. H. Chen, C. Y. Liao, and C. I. Hung, "A numerical study on the performance of miniature thermoelectric cooler affected by Thomson effect," Appl. Energy, vol. 89, no. 1, pp. 464-473, 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.08.022.
- [12]. H. S. Lee, "The Thomson effect and the ideal equation on thermoelectric coolers," Energy, vol. 56, pp. 61-69, 2013, doi: 10.1016/j.energy.2013.04.049.
- [13]. G. J. Snyder, E. S. Toberer, R. Khanna, and W. Seifert, "Improved thermoelectric cooling based on the Thomson effect," Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys., vol. 86, no. 4, pp. 1-8, 2012, doi:
- [14]. Incropera. F. P, 1996, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Jhon Wiley and Sons, New York.