



METALIK

JURNAL MANUFAKTUR, ENERGI, MATERIAL TEKNIK



ISSN 2828-3899



0 772828 389001

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA

METALIK

VOL: 4

No: 2

PAGE
58-97

9/25

E-ISSN:
2828-3899

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik Vol 4 No 2; Sep 2025

Susunan Team Editor
METALIK : Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik

PENANGGUNG JAWAB:

Delvis Agusman S.T., M.Sc. (Ketua Program Studi Teknik Mesin UHAMKA)

KETUA EDITOR:
Yos Nofendri, S.Pd., MSME

DEWAN EDITOR:
Rifky, S.T. M.M.
Drs. Mohammad Yusuf D., M.T.
Agus Fikri S.T., M.T.
Pancatatva Hesti Gunawan, S.T., M.T.

MITRA BESTARI:
Prof. Dr. Erry Yulian Triblas Adesta (International Islamic University Malaysia)
Prof. Dr. Muhamad Yahya, M.Sc. (Institut Teknologi Padang)
Dr. Gusri Ahyar Ibrahim, M.T. (Universitas Lampung)
Dr. Yovial, M.T. (Universitas Bung Hatta)
Dr. Dan Mugisidi S.T., M.Si. (Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka)

ADMINISTRASI:
Herman

PENERBIT:
FT-UHAMKA Press
Fakultas Teknik – Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah PROF. DR. HAMKA
Telepon: +62-21-7873711 / +62-21-7270133
Email: jurnal.metalik@uhamka.ac.id
Website: <https://journal.uhamka.ac.id/index.php/metalik/index>

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik

Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik Vol 4 No 2; Sep 2025

Daftar Isi

No	Judul / Penulis	Hal
1	Studi Eksperimentasi Posisi Pendingin Termoelektrik pada Kotak Pendingin terhadap Kinerja Sistem Pendingin bertenaga Panel Surya Rifky, Eki Hadi Setiawan, Delvis Agusman, Mohammad Mujirudin, Arry Avorizano	58-65
2	Perancangan dan Simulasi Mesin Pengayak Tepung Kapasitas 10 Kg Leo Van Gunawan, Adi Kusmayadi, Ihsan Ade Yoga	66-71
3	Analisis Kekuatan Rangka Pompa Seri Paralel Menggunakan Ffynite Element Method Dengan Software CATIA V5 Fatur Rohim, Wilarso	72-81
4	Rancang Bangun dan Pengujian Mesin Penggiling dan Pengaduk Bumbu Soto Mie Kapasitas 10 kg Candra Irawan, Claudha Alba Pradhana, Ahmad Farhan1, Tito Endramawan, Sukroni, Emin Haris	82-88
5	Kajian Polimer Biodegradable Dari Pati Biji Nangka Dengan Penambahan Gliserol Dan Asam Asetat Khairul Amal, Yovial Mahyoedin, Edi Septe, Firdaus	89-93
6	Analisa Dampak Emisi Gas Buang Pada Kualitas Udara Adi Nugroho, Johan Wirayudatama, Dan Mugsidi, Agus Fikri	94-97



Jurnal Artikel

Studi Eksperimentasi Posisi Pendingin Termoelektrik pada Kotak Pendingin terhadap Kinerja Sistem Pendingin bertenaga Panel Surya

Rifky^{1*}, Eki Hadi Setiawan¹, Delvis Agusman¹, Mohammad Mujirudin², Arry Avorizano³

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

³Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

*Corresponding author – Email: rifky@uhamka.ac.id

Artikel Info - : Received : 14 oktober 2025 ; Revised : 14 Oktober 2025 ; Accepted: 15 Oktober 2025

Abstrak

Sel surya merupakan teknologi yang berdayaguna untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik secara langsung, sedangkan termoelektrik dapat mengkonversi energi listrik (perbedaan potensial) menjadi energi kalor (perbedaan temperatur). Sistem sel surya dan termoelektrik digabungkan (PV+TEC) digunakan sebagai pendingin ruangan. Penelitian dilakukan dengan membuat sistem pendingin dalam bentuk kotak pendingin dengan sumber pendingin pada sisi atap dan sisi dinding. Sumber pendingin dalam penelitian ini adalah sistem pendingin termoelektrik yang terdiri dari rangkaian modul-modul termoelektrik. Adapun tujuan penelitian ini adalah mendapatkan bahwa posisi TEC berpengaruh terhadap hasil pendinginan pada kotak pendingin serta menentukan capaian temperatur terendah dan kinerja sistem pendingin pada kotak pendingin tersebut. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan model adalah kotak pendingin dengan dimensi kotak pendingin: 520mm x 370mm x 440mm. Sel surya sebagai pemasok energi listrik diletakkan ke hadapan cahaya matahari sepanjang hari dan daya luaran dari sel surya di distribusikan pada sistem pendingin termoelektrik yang dirangkai seri. sehingga berlangsung perubahan energi termal pada sisi- sisinya. Sisi dingin termoelektrik akan menyerap kalor dari dalam kotak pendingin, sedangkan sisi panas termoelektrik akan melepas kalor ke lingkungan diluar kotak pendingin. Hasil penelitian mendapatkan bahwa penempatan posisi pendingin termoelektrik di sisi atap dan sisi dinding ruang kotak pendingin berpengaruh terhadap perpindahan kalor dan capaian temperatur di ruang tengah kotak pendingin. Temperatur rata-rata ruang tengah yang dicapai pada pendingin di sisi atap sebesar 23,70 °C dan sebesar 24,75 °C pada sisi dinding. Sementara koefisien kinerja sistem pendingin pada kotak pendingin dengan pendingin termoelektrik di sisi atap sebesar 2,17 dan pada pendingin termoelektrik di sisi dinding sebesar 1,86.

Kata kunci: panel surya, termoelektrik, PV+TEC, CoP

Abstract

Solar cells are a powerful technology to convert solar energy into electrical energy directly, while thermoelectrics can convert electrical energy (potential difference) into heat energy (temperature difference). The combined solar cell and thermoelectric system is used as an air conditioner. The research was conducted by making a cooling system in the form of a cooling box with a cooling source on the roof side and wall side. The cooling source in this study is a thermoelectric cooling system consisting of a series of thermoelectric modules. The purpose of this study is to find that the position of the TEC affects the cooling results in the cooling box and determine the lowest temperature and performance of the cooling system in the cooling box. The method used is an experimental method with the model is a cooler box with cooler box dimensions: 520mm x 370mm x 440mm. Solar cells as electrical energy suppliers are placed in the presence of sunlight throughout the day and the output power from solar cells is distributed to the thermoelectric cooling system in series. so that thermal energy changes take place on its sides. The cold side of the thermoelectric will absorb heat from inside the cooling box, while the hot side of the thermoelectric will release heat to the environment outside the cooling box. The results showed that the positioning of the thermoelectric cooler on the roof side and the wall side of the cooler box affected the heat transfer and temperature achievement in the center of the cooler box. The average center room temperature achieved by the cooler on the roof side is 23.70 °C and 24.75 °C on the wall side. While the coefficient of performance of the cooling system in the cooler box with thermoelectric cooler on the roof side amounted to 2.17 and in the thermoelectric cooler on the wall side amounted to 1.8.

Keywords: solar panel, thermoelectric, PV+TEC, CoP



Pendahuluan

Seiring bertambahnya penduduk dunia yang semakin hari kian meningkat dan teknologi yang semakin berkembang pesat dan mengakibatkan peningkatan kebutuhan energi, sementara itu tidak semua permintaan dapat dipenuhi karena keterbatasan sumber energi konvensional yang semakin hari kian menipis [1]. Oleh sebab itu, penggunaan energi terbarukan terutama energi surya menjadi alternatif dan solusinya.

Indonesia termasuk negara yang memiliki iklim tropis karena terletak pada garis khatulistiwa [2], sehingga pemanfaatan teknologi pendingin menggunakan tenaga surya sangat cocok untuk dikembangkan [3]. Alat pendingin sudah tidak asing bagi manusia modern sekarang ini, bahkan sudah menjadi bagian dari kegiatan hidup sehari-hari. Alat-alat pendingin tersebut, misalnya Air Conditioner (AC), kulkas, dan freezer. Peralatan tersebut digunakan sebagai tempat penyimpanan makanan, minuman, sayuran, buah-buahan, kue dan juga termasuk es batu supaya bertahan lama dan membuat makanan tetap fresh [4].

Perkembangan teknologi pendingin pada peralatan rumah tangga perlu mengikuti regulasi dari Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Republik Indonesia terkait penyimpanan pangan, sebagaimana diuraikan dalam panduan praktik ritel pangan yang efektif pada bagian VII. Direkomendasikan untuk menyimpan pangan kering seperti daging, buah, sayur yang dikeringkan, biji-bijian dan produk olahannya, lemak, minyak, serta makanan kaleng pada temperatur berkisar antara 10°C hingga 20°C [5].

Teknologi pendingin pada saat ini yang digunakan mengandung bahan kimia berbahaya dan tidak ramah lingkungan yaitu freon. Kulkas atau lemari es adalah pendingin untuk menjaga kesegaran makanan dan membekukan minuman [6].

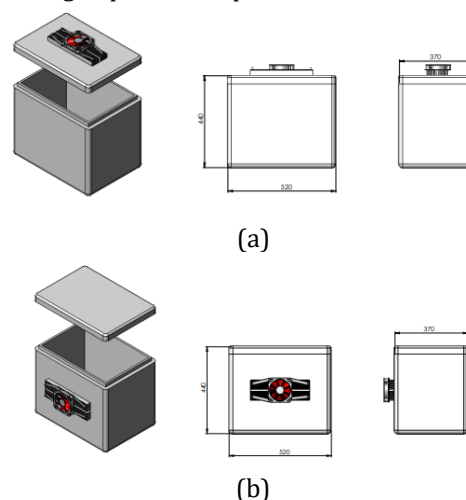
Kulkas memiliki kekurangan, yakni berpotensi bahaya terhadap lingkungan karena menggunakan freon atau chlorofluorocarbon (CFC) yang bersifat merugikan bagi ekosistem, menyebabkan penipisan lapisan ozon di atmosfer bumi, dan berkontribusi pada perubahan iklim global. Disamping itu kulkas banyak memakan daya listrik yang besar dan harganya mahal. Oleh sebab itu diperlukan sumber energi alternatif untuk pengganti energi listrik dan bahan kimia pengganti pendingin dari Freon [3].

Untuk mengurangi efek dari penggunaan CFC, maka dilakukan alternatif solusi yang potensial untuk dikembangkan yaitu dengan memanfaatkan energi surya yang menggunakan perangkat panel surya atau fotovoltaik (PV) sebagai sumber energi listrik, sedangkan teknologi

pendingin yang ramah lingkungan, membutuhkan daya kecil. Selain itu, dapat digerakkan oleh perangkat produk energi bersih seperti panel surya [7] yang diintegrasikan dengan teknologi pendingin termoelektrik (TEC), sehingga menjadi sistem terpadu panel surya-pendingin termoelektrik (PV+TEC). TEC adalah teknologi yang mengkonversi energi listrik menjadi energi termal dengan memanfaatkan perbedaan temperatur diantara bagian dingin dan bagian panasnya. merupakan teknologi yang mengubah energi listrik menjadi energi termal dengan memanfaatkan perbedaan suhu antara bagian dingin dan bagian panasnya. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh posisi penempatan pendingin termoelektrik di atap dan di dinding terhadap perpindahan kalor dan temperatur ruang pada kotak pendingin bertenaga surya 50Wp.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan kotak yang digunakan sebagai ruang pendingin, kotak ini terbuat dari styrofoam dengan ukuran 52 cm x 44 cm x 37 cm. Desain kotak pending dapat dilihat pada Gambar 1.



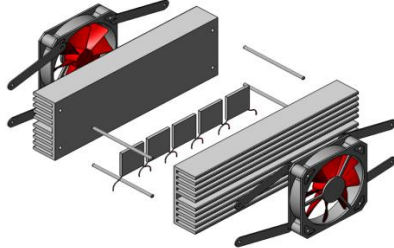
Gambar 1. Kotak pendingin, (a) posisi atap, (b) Posisi dinding

Kotak pendingin ini dilapisi dengan material tambahan untuk meminimalisir panas yang masuk ke dalam kotak pendingin. Setiap material pada lapisan pending box memiliki nilai konduktivitas termal, luas material, dan juga ketebalan material, seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Material *properties* kotak pendingin

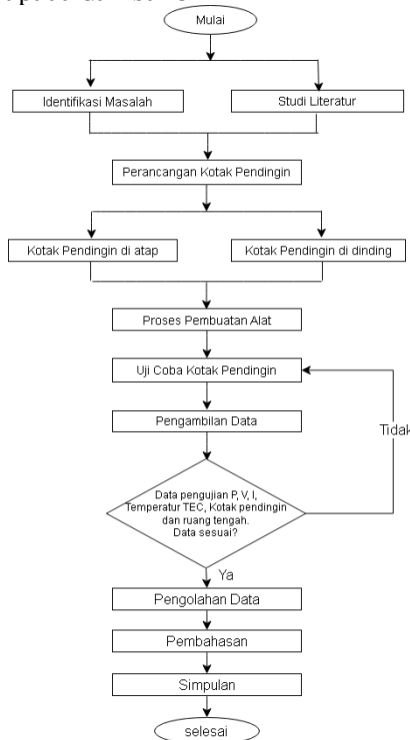
Material dinding	k [W/m.K] *)	A [m ²]	Δx [m]
Alum. Foil	0,038000	0,847600	0,000350
Styrofoam	0,033000	1,144000	0,030000
Lakban coklat	0,170000	1,144000	0,000044

Sistem pendingin ditempatkan pada bagian atas dan dinding kotak pendingin. Komponen yang digunakan untuk sistem pendingin antara lain, termoelektrik sebagai komponen utama dan heatsink yang menjadi objek penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan penggunaan posisi pendingin pada sistem pendingin termoelektrik. TEC digunakan dengan tujuan untuk sumber pendingin dalam sistem pendingin. Susunan sistem pendingin yang dibuat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



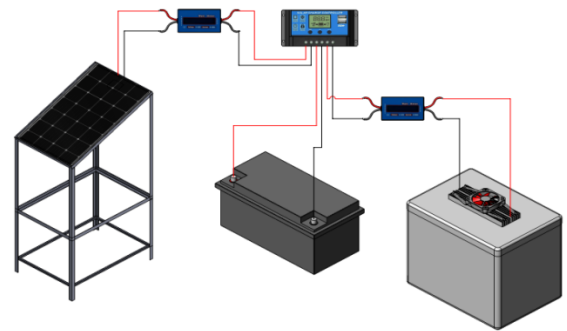
Gambar 2. Susunan TEC

Dalam melakukan penelitian, ada prosedur yang perlu dilakukan agar hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diinginkan. Tahapan atau prosedur dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

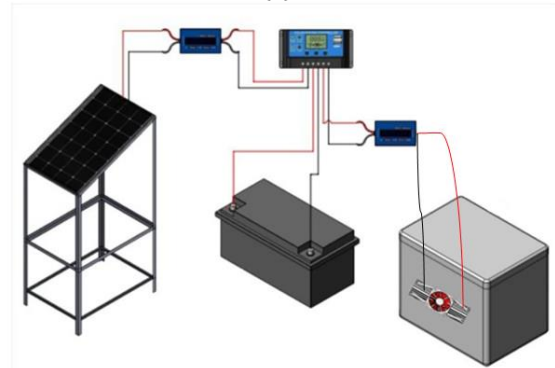


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Alat dan mekanisme yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.



(a)



(b)

Gambar 4. Mekanisme kerja sistem pendingin, (a) Di atap, (b) Di dinding.

Gambar 4 menunjukkan mekanisme dari sistem pendingin, dimana pada saat panel surya terkena sinar matahari, panel surya akan mengubah sinar matahari menjadi listrik, kemudian listrik yang dihasilkan disimpan di dalam baterai yang dikontrol oleh SCC, setelah baterai diperbaiki maka listrik tersebut disimpan dan disalurkan ke termo listrik. Penggunaan watt meter untuk mengetahui daya yang dihasilkan panel surya dan daya yang disalurkan ke termo listrik. Metode yang digunakan untuk pengumpulan data dalam penelitian adalah pengukuran. Pengukuran yang dilakukan adalah mengukur intensitas cahaya matahari, kelembaban udara, kecepatan angin, temperatur sel fotovoltaik, temperatur lingkungan, temperatur sisi panas dan dingin pada TEC, temperatur ruangan, arus dan tegangan. Untuk melakukan pengukuran menggunakan alat yang dapat dilihat pada tabel spesifikasi alat di bawah ini.

Tabel 2. Spesifikasi alat sistem pendingin

No	Alat	Spesifikasi
1	Panel Surya	Bahan <i>Polycrystallin (Si)</i> , kapasitas 50 Wp (<i>Watt peak</i>) <ul style="list-style-type: none"> • TEC1-12706 • 6 Ampere , 14,4 Volt
2	<i>Thermoelectric Cooler</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran 40 mm x 40 mm • $k = 0,1391$ W/m.K • $\rho = 1,0 \text{ m}\Omega.\text{cm}$

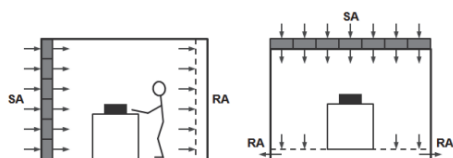
3	Hygrometer Digital	HTC-1
4	Solar power meter	Range pengukuran 13999 W/m ²
5	Anemometer digital	0 m/s – 30 m/s
6	Termometer digital	Range -50 °C ±180 °C
7	Watt meter	0-60 volt dan 0-100 Ampere
8	Solar charge controller / SCC	24 v dan 10 ampere, PWM
9	Baterai	12 V 18 Ah, arus DC

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimen. Pengambilan data dilakukan pada pagi hari mulai pukul 09.00 WIB sampai dengan pukul 14.00 WIB. pengambilan data dilakukan selama 30 menit sebanyak satu kali. Penelitian ini dilakukan di dalam dan di luar ruangan.

Termoelektrik adalah teknologi yang terbuat dari material zat padat yang dapat mengkonversi energi listrik (perbedaan potensial) menghasilkan energi kalor (perbedaan temperatur pemanasan dan pendinginan) tergantung arahnya atau dikenal juga sebagai efek Peltier, dan sebaliknya atau disebut efek Seebeck. Termoelektrik terdiri dari dua buah semikonduktor yang berbeda tipe, yaitu tipe N (negatif) dan tipe P (positif). Kedua semikonduktor dihubungkan seri atau paralel dengan menjepitnya [8] secara termal dan ujungnya digabungkan dengan lempeng pendingin, biasanya terbuat dari lempeng tembaga atau aluminium [9].

Pola aliran udara di dalam kotak pendingin dipengaruhi oleh sirkulasi udara masuk dan luar, konfigurasi sistem penghisap udara, laju aliran udara, serta tata letak proses peralatan. Pola peredaran udara dalam ruangan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu aliran laminar (*unidirectional flow*) dan aliran turbulen (*nonunidirectional flow*).

Pada Gambar 5 Pola aliran udara tipe *unidirectional flow* (aliran searah) dinding (a) dan atas (a). Tipe aliran udara searah berfungsi untuk menjaga pola aliran tetap sejajar untuk mengurangi turbulensi udara dalam ruangan. Pola aliran laminar menggunakan kecepatan udara, laju pertukaran udara dan filter udara yang lebih tinggi efisiensinya dibandingkan dengan *non unidirectional flow* [10].



Gambar 5. Pola aliran udara tipe *unidirectional flow* (aliran searah) di dinding (a) dan di atap (b)

Posisi pendingin yang berbeda dapat memberikan pola aliran udara yang lebih baik terhadap temperatur ruangan [11]. Pola aliran udara tipe *unidirectional flow* posisi atas berfungsi untuk menjaga pola aliran tetap sejajar untuk mengurangi turbulensi udara dalam ruangan [10].

Pada sistem pendingin di atap menggunakan AC *central* [11] dengan metode distribusi udara dengan cara mengatur kondisi udara dari ketinggian langit-langit (aliran laminar vertikal) dengan tujuan untuk meratakan persebaran suhu [12]. Perpindahan panas pada pendingin di atap terjadi karena adanya pergerakan fluida di atap sebagian lain di dalam kotak pendingin [13]. Perpindahan panas melalui zat atau penghantar. Panas di dalam kotak pendingin akan diserap melalui *heatsink* menuju daerah media yang bertemperatur lebih rendah [14]. Fenomena pergerakan aliran yang menyebabkan udara di dalam kotak pendingin di atap bergerak menuju ke masing-masing sisi [15] bawah, ruang tengah, sisi dinding belakang, sisi dinding depan, dan sisi kiri, sisi kanan, sisi atap.

Adapun penelitian yang sudah dilakukan, pengujian pendingin termoelektrik selama 2 jam pada pendingin di atap, di bawah dan di dinding memiliki temperatur ruang kotak pendingin yang di hasilkan pada pengujian tanpa beban dengan posisi peltier di atas sebesar 20,09 °C, untuk posisi peltier di bawah sebesar 23,59 °C, dan untuk posisi peltier di dinding sebesar 21,1 °C [3]. Oleh sebab itu, temperatur pendingin dengan posisi di atap lebih rendah dibandingkan dengan posisi di dinding karena udara dingin yang dihasilkan kotak pendingin di atap dapat menyebar luas ke ruang kotak pendingin [11]. Pada sistem pendingin termoelektrik memiliki pengaruh kecepatan aliran udara jika terdapat kipas pada sisi *coldsink* yang mungkin meningkatkan laju pendinginan pada kotak pendingin termoelektrik, akan tetapi tidak menggunakan kipas pada sisi *coldsink* di dalam kotak pendingin dapat membuat sirkulasi udara terjadi dengan sendirinya atau alami [16]

Adapun, penempatan sistem pendingin atau unit pendingin pada sisi di dinding disebut *side-mounted refrigeration*. Pada sistem pendingin di dinding menggunakan metode distribusi udara dengan cara mengatur kondisi kotak pendingin udara melalui dinding dan mengalir secara horisontal dan keluar pada sisi pendingin di dinding (aliran laminar horizontal)[12]. Distribusi temperatur [17] perpindahan panas dari aliran udara pendingin di dinding diserap oleh *heatsink* di sisi panas di dinginkan dengan kipas, lalu dialirkan sepenuhnya melalui panjang unit pendingin yang diarahkan ke tengah sirip *coldsink*, yang kemudian secara terbuka didistribusikan di dalam kotak pendingin di dinding [18]. Fenomena aliran udara di dalam kotak pendingin di dinding bergerak menuju ke masing-masing sisi [15] atap, sisi dinding depan, sisi dinding belakang, ruang tengah, dan sisi bawah.

Beban pendinginan adalah segala sesuatu yang ada di dalam kotak pendingin yang mengandung panas/kalor, dan kalor ini akan dipindahkan ke luar ruangan. Oleh karena itu, beban pendinginan terdiri dari beban panas yang hilang, beban panas transmisi dan beban panas benda jika ada. Panas yang hilang dapat diartikan sebagai laju perpindahan panas dari kotak pendingin ke lingkungan luar. Laju perpindahan panas disebut sebagai laju aliran panas, laju aliran panas dipengaruhi oleh hambatan termal yang dapat menghambat proses perpindahan panas. Hambatan aliran merupakan kombinasi dari sifat konduktivitas material (k), ukuran ketebalan material (Δx), dan luas permukaan (A). Kalor yang hilang dihitung menggunakan persamaan

perpindahan kalor pada dinding datar dengan menggunakan persamaan (1) [19]:

$$q = \frac{T.l - T_{rp}}{\left(\frac{\Delta x_1}{k_1 \cdot A_1}\right) + \left(\frac{\Delta x_1}{k_2 \cdot A_2}\right) + \left(\frac{\Delta x_1}{k_3 \cdot A_3}\right)} \quad (1)$$

Beban transmisi terjadi karena adanya perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi melalui bagian dinding, alas ruang pendingin dan tutup ruang pendingin [20]. Untuk mengetahui beban kalor dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2 [21].

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{overall} \quad (2)$$

Di mana A adalah luas permukaan, $\Delta T_{overall}$ adalah perbedaan antara suhu ruangan dan suhu lingkungan. Koefisien perpindahan kalor keseluruhan U dari dinding, lantai, dan atap dapat dihitung menggunakan rumus [21].

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{in}} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + \frac{1}{h_{out}}} \quad (3)$$

Sebelum menentukan nilai (U), perlu diketahui nilai koefisien perpindahan panas konveksi di dalam h_i dan koefisien perpindahan panas konveksi di luar h_o . Dengan menggunakan persamaan berikut. Nilai koefisien konveksi dapat dicari dengan menggunakan persamaan 4.

$$h = \frac{Nu \cdot K}{L} \quad (4)$$

Konveksi bebas dari pelat vertikal, baik untuk beban kalor transmisi antar dinding dalam ruang pendingin maupun beban kalor transmisi antara dinding dalam dengan lingkungan luar. Pada konveksi bebas berlaku tiga persamaan berikut, yakni Persamaan 5 [19]:

$$Gr_x = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2} \quad (5)$$

$$T_f = \frac{T_\infty + T_w}{2} \quad (6)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (7)$$

Konveksi bebas yang terjadi pada pelat vertikal dapat ditentukan dengan persamaan yang menggunakan angka Ra, persamaan 8 dan 9 yang digunakan untuk mencari bilangan Nusselt:

$$\overline{Nu} = 0,68 + \frac{0,67 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \text{ untuk } Ra_L < 10^9 \quad (8)$$

$$\overline{Nu} = 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \text{ untuk } 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \quad (9)$$

Sementara itu, untuk menentukan koefisien konveksi maksimum, digunakan persamaan 10.

$$Re = \frac{\text{inertia Forces}}{\text{Viscous}} = \frac{VL_c}{\nu} = \frac{\rho VL_c}{\mu} \quad (10)$$

Untuk menghitung bilangan Nusselt pada pelat sejajar dalam konveksi paksa, dapat dihitung dengan persamaan 11-12.

Laminar:

$$Nu = 0,664 Re^{1/2} Pr^{1/3} (Re < 5 \times 10^5) \quad (11)$$

Turbulent:

$$Nu = 0,037 Re^{0,8} Pr^{1/3} (5 \times 10^5 < Re < 10^7) \quad (12)$$

Jika kedua aliran terjadi pada pelat

$$Nu = (0,037 Re^{0,8} - 871) Pr^{1/3} \quad (13)$$

Besarnya panas yang diserap pada sisi dingin (Q_c) terhadap besarnya daya listrik yang masuk (P_{in}) berfungsi untuk menentukan CoP pada pendingin yang dihitung dengan rumus:

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \quad (14)$$

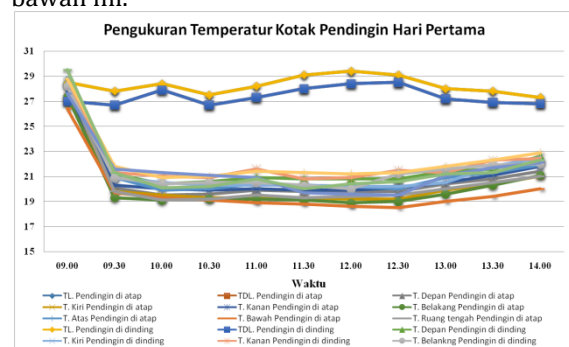
Dimana:

Q_c = kalor hilang + kalor transmisi

P_{in} = daya yang disuplai ke TEC

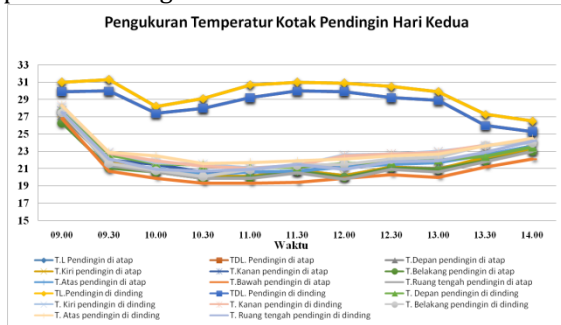
Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengambilan data yang dimulai dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 14.00. Berdasarkan data temperatur pada cold box, dapat dilihat grafik distribusi temperatur pada kotak pendingin yang dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 6. Distribusi temperatur hari pertama

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa distribusi temperatur kotak pendingin yang dihasilkan pendingin di atap dan di dinding tidak jauh berbeda dan memiliki kecenderungan pola yang sama yaitu menurun. Akan tetapi, terdapat perbedaan temperatur antara pendingin di atap dan di dinding, temperatur pendingin di atap lebih rendah dibandingkan dengan pendingin di dinding. Namun perbedaan temperatur tersebut tidak terlalu signifikan. Temperatur terendah pada pendingin di atap terdapat pada sisi bawah kotak pendingin pada pukul 12.30 WIB. Sementara itu, temperatur terendah pendingin di dinding terdapat pada sisi bawah 12.30 WIB. Adapun temperatur lingkungan dan temperatur dinding luar kotak pendingin memiliki pola grafik yang seragam namun cenderung tidak stabil karena adanya kenaikan dan penurunan temperatur lingkungan. Kenaikan temperatur lingkungan dapat mempengaruhi sistem pendingin [22] dan temperatur di dalam kotak pendingin [20]. Sedangkan untuk grafik distribusi temperatur pada hari kedua memiliki pola yang sama dengan grafik hari pertama, grafiknya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

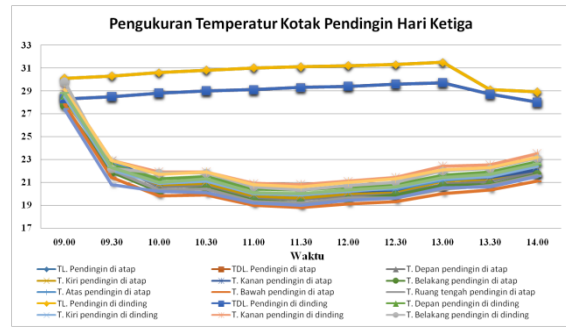


Gambar 7. Distribusi temperatur hari kedua

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa distribusi temperatur kotak pendingin yang dihasilkan pendingin di atap dan di dinding tidak jauh berbeda dan memiliki kecenderungan yang sama yaitu menurun. Akan tetapi, terdapat perbedaan temperatur antara pendingin di atap dan di dinding, temperatur pendingin di atap lebih rendah dibandingkan dengan pendingin di dinding. Namun perbedaan temperatur tidak terlalu signifikan.

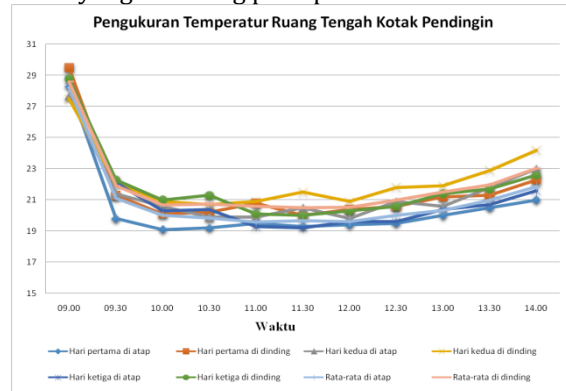
Temperatur terendah pada pendingin di atap pada sisi bawah kotak pendingin pada pukul 10.30 WIB. Sementara itu, temperatur terendah pendingin di dinding terdapat pada sisi bawah 10.30 WIB. Adapun temperatur lingkungan dan temperatur dinding luar kotak pendingin memiliki pola grafik yang seragam namun cuaca tersebut tidak stabil karena adanya kenaikan dan penurunan temperatur lingkungan pada pukul 10.00 WIB.

Kenaikan temperatur lingkungan dapat mempengaruhi sistem pendingin [22] dan penurunan temperatur lingkungan disebabkan perubahan cuaca yang mendung pada pukul 10.00 WIB. Akan tetapi, terjadi kenaikan temperatur lingkungan disebabkan intensitas matahari yang berangsur-angsur naik pada pukul 10.30 WIB.



Gambar 8. Distribusi temperatur hari ketiga

Pada Gambar 9 memperlihatkan kesesuaian antara pola grafik temperatur kotak pendingin di atap dan pendingin di dinding. Pola grafik antara yang dihasilkan pendingin di atap dan di dinding tidak jauh berbeda dan memiliki kecenderungan yang sama yaitu menurun. Akan tetapi, terdapat perbedaan temperatur antara pendingin di atap dan di dinding, temperatur pendingin di atap lebih rendah dibandingkan dengan pendingin di dinding. Namun perbedaan temperatur tidak terlalu signifikan. Temperatur terendah pada pendingin di atap pada sisi bawah kotak pendingin pada pukul 11.30 WIB. Sementara itu, temperatur terendah pendingin di dinding terdapat pada sisi bawah 11.30 WIB. Adapun temperatur lingkungan dan temperatur dinding luar kotak pendingin memiliki pola grafik yang seragam dengan kecenderungan naik. Kenaikan temperatur lingkungan dapat mempengaruhi sistem pendingin [22] dan penurunan temperatur lingkungan disebabkan perubahan cuaca yang mendung pada pukul 13.30 WIB.



Gambar 9. Distribusi temperatur ruang tengah

Pada Gambar 10 memperlihatkan distribusi temperatur ruang tengah pada kotak pendingin di atap dan di dinding selama tiga hari pengambilan data. Adapun distribusi temperatur pada ruang tengah kotak pendingin pada sisi di atap dan di dinding memiliki pola grafik yang sama dengan kecenderungan menurun. Akan tetapi, terdapat perbedaan temperatur antara kotak pendingin di atap dan di dinding terbesar yang dicapai tersebut tidak terlalu signifikan. Temperatur kotak pendingin di atap memiliki temperatur lebih rendah dibandingkan dengan temperatur kotak pendingin di dinding. Hal ini disebabkan udara dingin yang dihasilkan kotak pendingin di atap dapat menyebar luas ke ruang kotak pendingin dan udara panas pada ruang kotak pendingin akan bergerak naik ke atas dan diserap oleh sisi dingin *heatsink*, namun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan [3].

Adapun data hasil perhitungan kalor hilang, kalor transmisi, daya masukandan nilai COP. Data dibawah menunjukan jumlah kalor yang hilang.

Tabel 3. Kalor yang hilang

Q.hilang (W)					
Hari pertama		Hari kedua		Hari ketiga	
Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding
106,11	91,09	112,07	100,65	129,07	118,90

Tabel 3 menunjukan jumlah kalor hilang dari pukul 09.00 WIB sampai 14.00 WIB selama tiga hari, yang didapat dari hasil perhitungan pada Tabel-4-11. Berdasarkan pada tabel di atas jumlah kalor yang hilang pada kotak pendingin di atap lebih besar dari pada kotak pendingin di dinding. Jumlah kalor hilang tertinggi terjadi pada hari ketiga, kotak pendingin di atap sebesar 129,07 W sedangkan kotak pendingin di dinding sebesar 118,90 W. Untuk jumlah beban transmisi keseluruhan ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Kalor beban transmisi

Q.transmisi (W)					
Hari pertama		Hari kedua		Hari ketiga	
Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding
61,10	43,38	59,45	45,90	68,27	58,07

Tabel 4 menunjukan jumlah kalor transmisi. Hasil dari kalor transmisi berdasarkan penjumlahan nilai kalor transmisi seluruh dinding kotak pendingin dari pukul 09.00 sampai 14.00 WIB. Hasil perhitungan beban kalor transmisi kotak pendingin di atap lebih besar daripada kotak pendingin di dinding. Adapun hasil perhitungan daya masukan yang digunakan oleh termoelektrik yang dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Kalor pendingin (Q_c)

Qc (W)					
Hari pertama		Hari kedua		Hari ketiga	
Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding
167,12	134,47	171,52	146,55	197,34	176,96

Tabel 5 merupakan hasil perhitungan kalor yang hilang dengan kalor transmisi. Hasil dari Q_c tertinggi terjadi pada hari ketiga untuk kotak pendingin di atap sebesar 197,34 W, sedangkan kotak pendingin di dinding sebesar 176,96 W.

Tabel 6. Daya masukan termoelektrik

Pin (W)

Hari pertama		Hari kedua		Hari ketiga	
Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding
74,19	75,56	105,50	106,11	103,26	107,35

Setelah didapat nilai dari beban kalor hilang, beban kalor transmisi dan daya masukan termoelektrik. Hasil dari Q_c tertinggi terjadi pada hari ketiga untuk kotak pendingin di atap sebesar 105,50 W, sedangkan kotak pendingin di dinding sebesar 107,35 W. Nilai koefisien kinerja dapat dihitung menggunakan persamaan [14]. Hasil perhitungan nilai koefisien kinerja kotak pendingin dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. CoP sistem kotak pendingin

Koefisien kinerja (CoP)					
Hari pertama		Hari kedua		Hari ketiga	
Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding	Di atap	Di dinding
2,54	2,07	1,82	1,60	2,14	1,92

Tabel 7 memperlihatkan nilai koefisien kinerja (CoP) yang diperoleh selama tiga hari, menunjukan perbedaan antara kedua kotak pendingin. Terlihat bahwa kotak pendingin di atap memiliki nilai CoP lebih besar daripada pada kotak pendingin di dinding. Adapun rata-rata koefisien kinerja kotak pendingin selama tiga hari dapat dilihat pada Tabel

Tabel 8. Koefisien kinerja kotak pendingin

Koefisien kinerja (CoP)	
TEC di atap	2,17
TEC di dinding	1,86

Tabel 8 menunjukan bahwa nilai rata-rata koefisien kinerja kotak pendingin di atap dan di dinding memiliki perbedaan. Nilai koefisien kinerja kotak pendingin di atap didapat sebesar 2,17, sedangkan nilai koefisien kinerja pendingin di dinding sebesar 1,86. Hal ini menunjukan kotak pendingin di atap memiliki kinerja lebih baik daripada kotak pendingin di dinding.

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian sistem pendingin pada kotak pendingin dengan variabel pendingin termoelektrik pada sisi di atap dan sisi di dinding. Penempatan pendingin termoelektrik pada sisi atap dan sisi dinding ruang kotak pendingin berpengaruh terhadap perpindahan kalor dan capaian temperatur terendah pada ruang kotak pendingin, kemudian penempatan pendingin termoelektrik pada sisi atap dan sisi dinding ruang kotak pendingin mendapatkan temperatur ruang tengah rata-rata sebesar 23,70 oC pada pendingin termoelektrik di atap dan 24,75 oC pada pendingin termoelektrik di sisi dinding, dan Posisi

pendingin termoelektrik pada ruang kotak pendingin di sisi atap dan di sisi dinding mendapatkan koefisien kinerja sistem pendingin sebesar 2,17 pada pendingin termoelektrik di atap dan sebesar 1,86 pada pendingin termoelektrik di dinding.

Ucapan Terima Kasih

Pusat Penelitian dan Pengembangan UHAMKA atas partisipasinya dalam mendanai penelitian ini.

References

- [1] M. and others Syukri, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 9, no. 2, pp. 77–80, 2010.
- [2] Rifky, M. Dan, and F. Agus, "Peningkatan Kinerja Sel Surya Pada Atap dan Dinding dengan Sistem Pendingin Untuk Tiga Arah Mata Angin sebagai Prototipe Building Intergrated Photovoltaics (BIPV) dan Net Zero Energy Building (NZEB)," pp. 1–37, 2020, [Online]. Available: [http://repository.uhamka.ac.id/3247/1/Laporan Penelitian Agus Fikri.pdf](http://repository.uhamka.ac.id/3247/1/Laporan%20Penelitian%20Agus%20Fikri.pdf)
- [3] Y. Wirdan, Mirmanto, and Syahrul, "Pengaruh Posisi Peltier terhadap Kinerja Kotak Pendingin," no. 62, pp. 1–5, 2010, [Online]. Available: <http://eprints.unram.ac.id/4329/1/jurnal.pdf>
- [4] Ariansya, "Rancang Bangun Sistem Pendingin Ruangan Menggunakan Modul Termoelektrik Peltier TEC-12706 Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," 2018. [Online]. Available: <http://repositori.uin-alauddin.ac.id/12878/1/ARIANSYA.pdf>
- [5] C. R. Rijwan Wahyu, "Pengaruh Beban Pendinginan Minuman Kaleng terhadap Suhu Pada Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik dengan Menggunakan Listrik dari Akumulator," no. C1, pp. 247–252, 2018.
- [6] L. Pramana, "Freezer dengan Daya 1/6 PK dan Panjang Pipa Kapiler 150 CM," *Skripsi*, pp. 1–108, 2015, [Online]. Available: <https://repository.usd.ac.id/450/>
- [7] N. M. Khattab and E. T. El Shenawy, "Optimal operation of thermoelectric cooler driven by solar thermoelectric generator," *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 4, pp. 407–426, 2006, doi: 10.1016/j.enconman.2005.04.011.
- [8] Lee Sung Ho, *Thermoelectrics Design and Materials*, First Edit. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [9] A. Mustakim *et al.*, "Pembuatan Cool Box Portable dengan Sistem Pendingin Air Guna Mendukung Cold Chain pada Distribusi Ikan dan Menjaga Kualitas Ikan Tangkapan Nelayan," *Sewagati*, vol. 7, no. 1, 2022, doi: 10.12962/j26139960.v7i1.166.
- [10] ASHRAE, *Design Guide For Cleanrooms: Fundamentals, Systems, and Performance*. 2017.
- [11] S. Lin, B. T. Tee, and C. F. Tan, "Indoor airflow simulation inside lecture room: A CFD approach," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 88, no. 1, 2015, doi: 10.1088/1757-899X/88/1/012008.
- [12] I. Firmazona, "Model Pola Distribusi Aliran Udara dan Temperatur Ruang Operasi Rumah Sakit 'X' Menggunakan Flovent V7," UNIVERSITAS INDONESIA, 2009.
- [13] F. Salsabila, B. P. Manunggal, and ..., "Pembuatan Cooling Box Untuk Penyimpanan Vaksin Sinovac Berbasis Thermoelectric," ... *Res. Work. ...*, no. 2020, pp. 4–5, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/2817/2208>
- [14] J. A. P. Seputra, "Studi Distribusi Udara Pada Ruang Ber-AC Untuk Mencapai Tingkat Efisiensi Energi yang Optimal," *ARTEKS, J. Tek. Arsit.*, vol. 3, no. 1, p. 45, 2018, doi: 10.30822/artk.v3i1.153.
- [15] I. P. Widiarta, M. Suarda, M. Sucipta, and I. G. K. Sukadana, "Simulasi CFD Pertukaran Udara di Ruang Tindakan Klinik Kesehatan," *J. METTEK*, vol. 8, no. 2, p. 83, 2022, doi: 10.24843/mettek.2022.v08.i02.p03.
- [16] L. P. I. Midiani, I. W. A. Subagia, I. W. Suastawa, A. A. N. G. Sapteka, and A. Winarta, "Preliminary Investigation of Performance and Temperature Distribution of Thermoelectric Cooler Box With and Without Internal Fan," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1450, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1450/1/012088.
- [17] M. Saad, M. A. William, A. A. Hassan, and A. A. Hanafy, "Influence of air ceiling diffusers in enclosed spaces: An experimental and numerical investigation," *Energy Reports*, vol. 9, no. February, pp. 59–71, 2023, doi: 10.1016/j.egyr.2023.05.253.
- [18] Kennedy, A. Muis, Basri, and Mustafa, "Experimental study of thermoelectric refrigerator performances: Effect of air flow direction on the ribbed plat-fin heat sink at cold side of TEC," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1434, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1434/1/012020.
- [19] R. Rifky and Y. Sirodz, "Pengembangan Model Pendingin Kabin City Car Bertenaga Surya Menggunakan Photovoltaics (PV) dan Thermoelectric (TEC)," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister ...*, vol. 10, no. 1, pp. 34–40, 2020, [Online]. Available: <http://103.75.102.195/index.php/teknobiz/article/view/1359>
- [20] Hengki, M. Rahmat, and S. P. Sutisna, "Analisa Efisiensi Energi Alat Pendingin Portable di Sepeda Motor," *Anal. Efisiensi Energi Alat Pendingin Portable Di Sepeda Mot.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2020.
- [21] F. N. Iskandar, "Penerapan Sistem Pendinginan Bertingkat Pada Kotak Pendingin Darah Berbasis Termoelektrik Dan Heat Pipe," Universitas Indonesia, 2009.
- [22] D. Patabang, "Efek Udara Di Dalam Sistem Refrigerasi," *Mektek*, pp. 1–5, 2005, [Online]. Available: <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/Mektek/article/viewFile/356/295>