



Kinerja Kotak Berpendingin Thermoelektrik TEC1-12710 dengan Beban Pendinginan Buah Jeruk Siam *Citrus nobilis*

Performance of Thermoelectric Refrigerated Box TEC1-12710 With Cooling Load of Siamese Orange Fruit Citrus nobilis

Mikhail Akmal Mumtaz, Ida Bagus Putu Gunadnya*, I Gusti Ketut Arya Arthawan, Ida Ayu Rina Pratiwi Pudja

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia

ABSTRAK

Kotak pendingin thermoelektrik merupakan salah satu alternatif sistem pendinginan ramah lingkungan yang mampu menggantikan sistem pendinginan konvensional berbasis kompresi uap. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengukur kinerja kotak berpendingin thermoelektrik tipe TEC1-12710 dengan mengalirkan air menggunakan sistem *waterblock* untuk mendinginkan sisi panas nya, dalam menurunkan suhu buah jeruk siam (*Citrus nobilis*) sebagai beban pendinginan. Penelitian dilaksanakan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial dengan dua faktor, yaitu variasi beban pendinginan (1 kg, 2 kg, dan 3 kg) dan lama penyimpanan (20, 40, dan 60 menit), yang masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Parameter yang diamati meliputi suhu buah jeruk, suhu lingkungan, suhu udara dalam kotak pendingin, tegangan, arus DC, daya DC, dan nilai *Coefficient of performance* (COP). Dari hasil pengujian diperoleh perlakuan tidak berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap kinerja sistem pendingin. Nilai *Coefficient of performance* tertinggi dari perlakuan beban pendinginan berturut-turut 0,66; 0,62; dan 1,17 untuk beban pendinginan 1, 2, dan 3 kg. Sementara perlakuan berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap suhu pusat buah jeruk siam, suhu buah paling rendah yang dihasilkan kotak pendingin berturut-turut yaitu 24,6°C; 25,7°C; dan 26,33°C untuk beban pendinginan 1, 2, dan 3 kg. Uji BNT menunjukkan suhu buah terendah yang berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan perlakuan lainnya diperoleh dari perlakuan beban pendinginan 1 kg dengan lama penyimpanan 1 jam dengan nilai 24,6°C.

Kata Kunci: COP, jeruk siam, kotak pendingin, pendinginan buah, thermoelektrik

ABSTRACT

Thermoelectric cooling boxes are one alternative to conventional vapor compression-based cooling systems that are environmentally friendly. This study was conducted to measure the performance of the TEC1-12710 thermoelectric cooling box by circulating water using a waterblock system to cool its hot side, thereby reducing the temperature of Siamese oranges (*Citrus nobilis*) as the cooling load. The study was conducted using a Randomized Block Design (RBD) with a factorial pattern, involving two factors: cooling load variation (1 kg, 2 kg, and 3 kg) and storage duration (20, 40, and 60 minutes), with each treatment repeated three times. The parameters observed included orange fruit temperature, environmental temperature, air temperature inside the cooling box, voltage, DC current, DC power, and Coefficient of Performance (COP) values. The test results showed that the treatments had no significant effect ($p > 0.05$) on the cooling system's performance. The highest Coefficient of Performance values from the cooling load treatments were 0.66, 0.62, and 1.17 for cooling loads of 1, 2, and 3 kg, respectively. Meanwhile, the treatment had a significant effect ($p < 0.05$) on the core temperature of Siamese oranges, with the lowest fruit temperatures produced by the cooling box being 24.6°C, 25.7°C, and 26.33°C for cooling loads of 1, 2, and 3 kg, respectively. The BNT test showed that the lowest fruit temperature that was significantly different ($p < 0.05$) from the other treatments was obtained from the 1 kg cooling load treatment with a storage time of 1 hour, with a value of 24.6°C.

Keywords: COP, cooler box, fruit cooling, siamese orange, thermoelectric.

*Corresponding author:

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia.

Email: gunadnya@unud.ac.id

Masuk: 30 Juli 2025;

Direvisi: 31 Juli 2025;

Diterima: 27 Agustus 2025;

Terbit: 30 April 2026

PENDAHULUAN

Pendingin seperti AC, lemari es, dan pendingin udara mobil adalah kebutuhan penting dalam kehidupan modern. Namun, beberapa teknologi dalam sistem pendingin ini menggunakan gas yang kurang ramah lingkungan seperti *chlorofluorocarbon* (CFC), yang dapat merusak lapisan ozon. Untuk mengurangi penggunaan bahan berbahaya tersebut, perangkat termoelektrik dapat dijadikan alternatif sistem pendinginan. Menurut Sujiwa & Nurochman (2019) perangkat ini menghasilkan suhu dingin dengan memberikan tegangan dan arus DC tertentu, serta menjaga suhu sisi panas termoelektrik serendah mungkin.

Modul pendingin termoelektrik bekerja berdasarkan efek Peltier, yang memungkinkan terjadinya transfer panas dari satu sisi modul ke sisi modul lainnya bila modul diberikan arus searah (DC). Efek Peltier ditemukan pada tahun 1834 oleh seorang pembuat jam tangan Prancis dan fisikawan paruh waktu, Jean Charles Athanase Peltier Patil *et al.*, (2017). Modul ini sudah banyak dikaji dan digunakan untuk mendinginkan bagian dalam kotak yang digunakan sebagai penyimpanan dingin hasil pertanian segar.

Dalam rangka mengembangkan perangkat pendingin yang mudah diaplikasikan, berbagai penelitian telah memanfaatkan modul termoelektrik (TEC) sebagai sistem pendingin pada kotak berbahan *styrofoam* seperti, Amrullah (2021), Gianita (2017), Rasyid *et al.*, (2024). Berdasarkan landasan tersebut, dilakukan perancangan dan pembuatan kotak pendingin untuk kemudian diuji kinerjanya. Salah satu penelitian yang relevan dilakukan oleh Mainil *et al.*, (2015), yang mengevaluasi kinerja modul TEC1-12706 pada kotak *styrofoam* dan melaporkan bahwa suhu udara di dalam kotak dapat diturunkan hingga mencapai 14,6°C.

Selain menguji kinerja kotak pendingin tanpa beban pendinginan, kinerja kotak pendingin dengan modul TEC juga diuji dengan menggunakan beban pendinginan seperti air yang disimpan di dalam kotak pendingin (Ananta *et al.*, 2017; Mirmanto *et al.*, 2018; Sormin *et al.*, 2023). Namun, dalam hal ini buah jeruk siam akan dijadikan sebagai beban pendingin karena, menurut Aini *et al.* (2022), jeruk siam mudah rusak karena umur simpannya relatif singkat Untuk mengatasi hal ini diperlukan teknologi untuk memperpanjang masa simpan buah jeruk siam dan menjaga kualitas buah tersebut agar tetap baik. Menurut Arzam & Baba (2018) penyimpanan buah jeruk selayar pada suhu 18°C dan 20°C menyebabkan susut bobot dan kelunakan buah lebih rendah daripada buah jeruk yang disimpan pada suhu ruangan.

Penelitian tentang beban pendingin dari kotak pendingin bermodul TEC untuk bahan lain sebagai beban pendinginan selain air juga sudah dilakukan. Widiyanto & Hakim (2016) meneliti ikan yang disimpan di dalam kotak pendingin. Hayati & Radyanto (2022) meneliti tentang penyimpanan susu di dalam kotak pendingin. Fikri (2022) melaporkan tentang penyimpanan buah dan sayur dengan menggunakan kotak penyimpanan yang di dinginkan menggunakan modul termoelektrik TEC1-12706. Chavan *et al.* (2022; 2021) melaporkan tentang transportasi buah dan sayur dengan menggunakan kotak berpendingin termoelektrik.

Adapun pindah panas yang terjadi di dalam kotak pendingin adalah konveksi menurut Pua *et al.*, (2022) Ketika sebuah benda (misalnya, kotak) bersentuhan dengan fluida yang memiliki suhu berbeda, perpindahan panas akan terjadi melalui mekanisme konveksi. Panas akan berpindah dari benda yang bersuhu lebih rendah ke fluida yang bersuhu lebih tinggi, atau sebaliknya. Dalam konteks ini, udara dingin yang dihasilkan oleh perangkat termoelektrik akan bergerak ke ruangan sekitarnya. Proses ini melibatkan aliran udara yang bergerak dari perangkat termoelektrik menuju ruangan, memungkinkan perpindahan panas secara efektif dan menyeimbangkan suhu antara udara dingin dari termoelektrik dan lingkungan ruangan.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Alat dan Ergonomi, Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kampus Jimbaran Penelitian dilakukan pada bulan November – Desember 2024.

Bahan dan Alat

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, air, dan buah jeruk siam 18 kg yang diperoleh dari Pasar Batu kandik. Untuk membuat kotak penyimpanan digunakan lembaran *styrofoam* dengan ketebalan 5 cm.

Alat

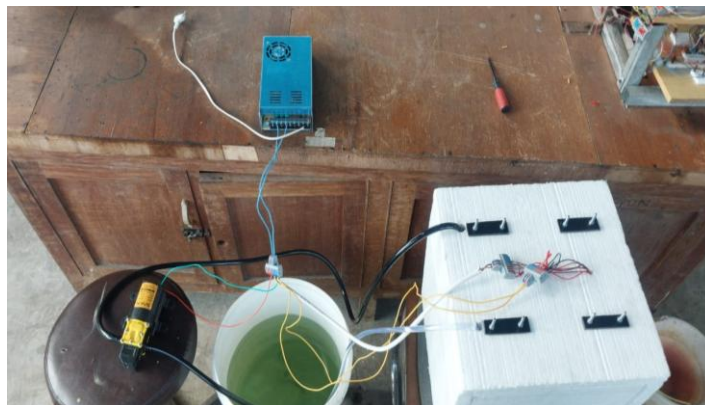
Alat yang digunakan adalah kotak pendingin dibuat dari lembaran *styrofoam* dengan dimensi panjang 29 cm, lebar 29 cm, dan tinggi 29 cm yang bervolume 24 liter. Kotak pendingin menggunakan 4 buah TEC1-12710, ember berkapasitas 20 liter, multimeter (buatan China), termometer NTC (buatan China), timbangan digital (buatan China), *thermal paste*, dan *timer* (buatan China).

Pelaksanaan penelitian

Penelitian dimulai dengan tahap pengumpulan alat dan bahan yang diperlukan. Kemudian, dilakukan pengoperasian sesuai perlakuan yang melibatkan buah jeruk siam dengan berat masing-masing 1 kg, 2 kg, dan 3 kg. Selama satu jam, suhu di dalam ruangan penelitian dicek setiap 2 menit. Pengukuran voltase, kuat arus DC juga dilakukan setiap 2 menit selama 60 menit pengoperasian alat, dan suhu.

Persiapan alat percobaan

Selanjutnya dilakukan pengecekan satu alat utama lainnya dari sistem pendingin ini, yaitu fungsi dari empat (4) modul pendingin yang berupa modul TEC1-12710. Lebih lanjut, sistem pendinginan sisi panas dari setiap modul ini yang menggunakan pendingin air dan *waterblok* dicoba untuk memastikan bahwa sistem pendingin sudah berfungsi dengan baik. Kemudian dicek juga kesiapan alat pengukur suhu untuk mengetahui sensor suhunya sudah berfungsi dengan baik. Bila alat belum berfungsi dengan baik maka dilakukan perbaikan. Bila kedua komponen utama dari alat pendingin sudah berfungsi dengan baik maka dilanjutkan dengan persiapan penyiapan buah yang akan disimpan Gambar 1 memperlihatkan kotak pendingin dan sistemnya secara keseluruhan.



Gambar 1. Rangkaian lengkap kotak berpendingin 4 TEC berbahan styrofoam

Persiapan buah yang akan disimpan

Buah yang disimpan memiliki diameter ukuran 5 cm lalu disortasi untuk memilih buah yang utuh dan tidak mengalami kerusakan. Buah jeruk siam ditimbang sesuai dengan perlakuan penelitian, dan disimpan di dalam kotak penyimpanan dingin.

Pengoperasian alat

Alat pendingin dioperasikan selama satu jam. Selama pengoperasian diamati kerja dari komponen sistem pendinginan alat seperti pompa air pendingin modul. Selama beroperasi air pendingin harus terus disirkulasikan untuk mendinginkan sisi panas dari modul pendingin thermoelektrik.

Variabel yang diamati

Suhu lingkungan di luar *cooler box* (T1), suhu udara di dalam ruang penyimpanan dingin *cooler box* (T2), dan suhu pusat buah yang disimpan di dalam ruang penyimpanan dingin *cooler box* (T3). Variabel lainnya yang diamati selama percobaan adalah voltase dan arus DC.

Variabel penelitian yang diamati

Variabel penelitian yang diamati dengan cara diukur menggunakan alat ukur adalah voltase dan arus DC. Kedua variabel ini diukur dengan menggunakan alat ukur multimeter digital. Variabel lainnya yang diukur adalah suhu ruangan, suhu di dalam ruang penyimpanan dingin dari kotak pendingin, dan suhu pusat buah jeruk yang disimpan. Pengukuran variabel-variabel ini dilakukan sesuai dengan perlakuan penelitian.

Pengukuran dan perhitungan

Pengukuran variabel penelitian

Pengukuran voltase dan arus DC

Pengukuran voltase dan arus DC dilakukan dengan menggunakan alat multimeter. Alat multimeter diatur untuk pengukuran voltase (*V-meter*). Pengukuran voltase DC dilakukan dengan menempelkan *probe* alat pada kutub-kutub catu daya DC. *Probe* dengan kabel berwarna merah disambungkan dengan kutub positif dari catu daya, dan *probe* alat ukur dengan kabel berwarna hitam dihubungkan dengan kutub negatif dari catu daya, hasil pengukuran dapat dilihat pada layar alat multimeter digital.

Kemudian, pengukuran arus DC dilakukan dengan menggunakan alat multimeter digital. Pengukuran arus dilakukan dengan cara dipilih pengukuran *A-meter* pada alat digital. Salah satu kabel dari catu daya DC dipotong dan *probe* dengan kabel merah dihubungkan dengan satu potongan kabel catu daya dan *probe* dengan kabel hitam dihubungkan dengan kabel catu daya DC yang menuju alat pendingin, hasil pengukuran dilihat pada layar alat multimeter digital.

Pengukuran suhu

Ada tiga suhu yang diukur yaitu: suhu lingkungan, suhu udara di dalam ruang penyimpanan dingin dari kotak pendingin, dan suhu pusat buah jeruk. Untuk mengukur suhu lingkungan sensor suhu alat pengukur suhu digital diletakkan di atas kotak dengan jarak 30 cm. Pengukuran suhu udara di dalam ruang penyimpanan dingin dilakukan dengan cara meletakkan sensor alat di bawah kipas dari sisi dingin thermoelektrik. Sedangkan untuk mengukur suhu buah, sensor alat ukur disisipkan ke dalam pusat buah jeruk. Hasil pengukuran tertera pada layar alat pengukur suhu digital.

Perhitungan-perhitungan

Beban pendinginan total

Ada 4 (empat) sumber panas yang perlu dipertimbangkan dalam menghitung beban pendinginan total, yaitu panas yang masuk melalui dinding kotak (Q1), panas yang diterima oleh udara di dalam kotak (Q2), dan panas yang dilepaskan oleh buah yang disimpan (Q3) serta panas respirasi abuah jeruk (Qres). Semua panas ini dianggap sebagai beban pendinginan total (Qc), yang dihitung dengan menjumlahkan Q1, Q2, Q3, dan Qres.

Panas melalui dinding (Q_w)

Panas yang masuk melalui dinding kotak penyimpanan dingin diasumsikan hanya berupa panas hasil pindah panas konduksi. Jenis panas ini dihitung dengan menggunakan persamaan menurut Reddy (2019).

$$Q_w = k \frac{dT}{x} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

k = koefisien pindah panas konduksi bahan dinding (W/m°C)

dT = perbedaan suhu kedua dinding (T_{amb} - T_a)

T_{amb} = suhu lingkungan (°C)

T_a = suhu udara (°C),

x = tebal dinding (m)

Panas udara di dalam kotak pendingin (Q_a)

Panas dari udara di dalam kotak penyimpanan dingin dihitung menurut persamaan Samola *et al.* (2022).

$$Q_a = m_a c_{pa} dT = m_a c_{pa} (T_a - T_m) / dt \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

m_a = massa udara di dalam kotak pendingin (kg)

c_{pa} = panas jenis udara (kJ/kg°C)

dT = perbedaan suhu kedua dinding (T_a - T_m); T_m = udara pendingin (°C)

dt = waktu pengamatan (detik)

Panas dari buah jeruk (Q_f)

Persamaan Utami (2019) digunakan untuk menghitung panas buah jeruk.

$$Q_f = m_f c_{pf} dT = m_f c_{pf} (T_f - T_a) / dt \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

m_f = massa buah jeruk di dalam kotak pendingin (kg)

c_{pf} = panas jenis buah jeruk (kJ/kg°C)

dT = perbedaan suhu ($T_f - T_a$)
 T_f = suhu buah jeruk ($^{\circ}\text{C}$)
 dt = waktu pengamatan (detik)

Panas respirasi buah jeruk (Q_{res})

Besarnya panas respiasi buah jeruk dihitung menggunakan Persamaan menurut Saputera et al, (2000).

$$Q_{res} = m_f q_{res} \dots \dots \dots (4)$$

dimana:

m_f = berat buah jeruk (kg)
 q_{res} = laju respirasi buah (mW/kg)

Beban total pendingin (Q_c)

Persamaan Ridhuan & Rifai, (2017) digunakan untuk menghitung beban total pendinginan.

$$Q_c = Q_w + Q_a + Q_f + Q_{resf} \dots \dots \dots (5)$$

dimana:

Q_w = panas melalui dinding
 Q_a = panas udara di dalam kotak pendingin
 Q_f = panas dari buah jeruk
 Q_{res} = panas respirasi buah jeruk

Daya DC total

Daya total yang diperlukan oleh sistem kotak pendingin (P) dihitung dengan mengalikan tegangan listrik (V) dengan arus listrik (I). Daya DC ini mencerminkan energi yang digunakan oleh sistem. Perhitungsn daya DC menggunakan persamaan menurut Tambun et al.(2025) berikut ini.

$$P = I \cdot V \dots \dots \dots (6)$$

dimana:

P = daya total yang diperlukan oleh sistem kotak pendingin. (W)
 V = tegangan listrik yang digunakan oleh system(V)
 I = arus listrik yang mengalir dalam system (A)

Coefficient of Performance (COP)

Coefficient of Performance (COP) adalah parameter penting yang mengukur efisiensi sistem pendingin. Nilai COP dihitung dengan membagi beban pendinginan total (Q_c) dengan daya total yang digunakan (P). Nilai COP memberikan gambaran tentang sejauh mana sistem dapat menghasilkan

pendinginan dengan efisien. Pengukuran parameter, seperti suhu dan arus listrik, dilakukan setiap pengamatan selama 2 menit. Pendekatan ini membantu dalam pemantauan dan analisis yang terus-menerus terhadap kinerja sistem.

Kinerja alat dihitung berdasarkan pada persamaan menurut Ziliwu *et al.* (2020) sebagai berikut:

$$COP = Q_c / P \dots\dots\dots (7)$$

COP mengukur efisiensi suatu sistem pendingin dan dihitung dengan membagi beban pendinginan (Q_c , watt) dengan daya yang digunakan (P , watt).

Analisis Data

Data yang telah diperoleh analisis dengan menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*). Jika perlakuan berpengaruh nyata, maka dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT). Analisis statistik dilakukan menggunakan software Excel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Kotak Pendingin

Kotak pendingin thermoelektrik yang digunakan pada penelitian ini di rancang untuk mendinginkan buah jeruk siam dengan memanfaatkan modul pendingin tipe TEC1-12710. Spesifikasi teknis perangkat ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi kotak pendingin

No	Komponen	Spesifikasi Teknis	Keterangan
1	Dimensi Kotak	Panjang 29 cm, lebar 29 cm, tinggi 29 cm	Berbahan styrofoam
2	Kapasitas Volume	24 liter	Kapasitas ruang penyimpanan
3	Jenis Modul Pendingin	TEC1-12710	Berukuran 4 x 4 cm, 12 Volt, dan 10 Ampere
4	Jumlah Modul	4 buah	Dipasang paralel
5	Daya Masukan	275 watt	Dari <i>power supply</i> 12 V
6	Sistem Pendingin Panas	Heatsink + kipas DC	Hertsink berukuran 4 x 6 cm, dan kipas DC berukuran 4 x 4 cm
7	Sensor Suhu	Sensor digital NTC	Suhu ruangan sensor di simpan di atas kotak, suhu dalam kotak pendingin di gantung di atas buah jeruk, dan suhu jeruk sensor disisipkan ke dalam jeruk
8	Material Dinding Kotak	<i>Styrofoam</i>	Ketebalan 3 cm
9	Berat Total Kotak		Termasuk semua komponen
10	Sumber Daya Listrik	Listrik PLN	Sesuai kebutuhan uji
11	<i>Waterblok</i>	Berukuran 4 x 4 cm	Mendinginkan sisi pana TEC dengan cara mengalirkan air
12	Pompa air DC	12 Volt, 8 Ampere	Mengalirkan air dari ember melewati <i>waterblok</i> kemudian kembali lagi ke ember

Kotak pendingin ini menggunakan modul termoelektrik TEC1-12710 yang memiliki kapasitas pendinginan maksimum pada perbedaan suhu (ΔT) sekitar 65°C pada nominal 12 Volt dan arus maksimum 10 Ampere. Sistem pelepasan panas dilengkapi heatsink aluminium dan kipas DC untuk mempercepat pembuangan panas dari sisi panas modul. Dinding kotak menggunakan material styrofoam yang memiliki isolasi termal yang baik untuk meminimalkan perpindahan panas dari lingkungan (Kurniasetiawati & Prasetyo, 2024).

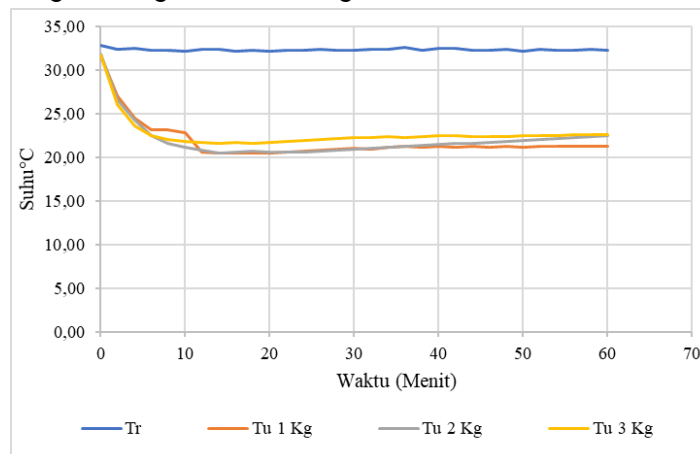
Pengukuran Kinerja Kotak Penyimpanan Dingin

Kinerja kotak penyimpanan dingin yang dibebani dengan menggunakan buah jeruk siam ditentukan oleh faktor-faktor seperti kondisi lingkungan di luar kotak. Pengamatan kondisi lingkungan di luar kotak penyimpanan dilakukan dengan mengukur suhu udara lingkungan. Selanjutnya beban pendinginan dihitung dengan memperhitungkan panas yang masuk dari lingkungan ke dalam ruang penyimpanan dari kotak, panas udara di dalam ruang penyimpanan kotak, panas dari buah yang disimpan, dan panas respirasi buah.

Selanjutnya, untuk dapat mengoperasikan alat penyimpanan dingin memerlukan daya DC. Daya DC dihitung berdasarkan pada voltase dan arus DC yang digunakan alat. Selanjutnya kinerja alat dihitung dengan menggunakan data beban pendinginan total dan daya DC total yang digunakan.

Suhu Udara Lingkungan dan Suhu di dalam Ruang Penyimpanan Cooler Box

Selama proses pengujian, suhu udara lingkungan dicatat menggunakan termometer digital yang diletakkan di luar kotak pendingin, sedangkan suhu di dalam ruang penyimpanan diukur menggunakan sensor suhu termometer yang diletakkan di tengah ruangan dalam kotak pendingin. Pengamatan dilakukan setiap 2 menit selama total waktu pengujian 60 menit (Delly *et al.*, 2016). Gambar 2 berikut menyajikan grafik perubahan suhu terhadap waktu untuk masing-masing variasi beban, disertai perbandingan dengan suhu ruang.



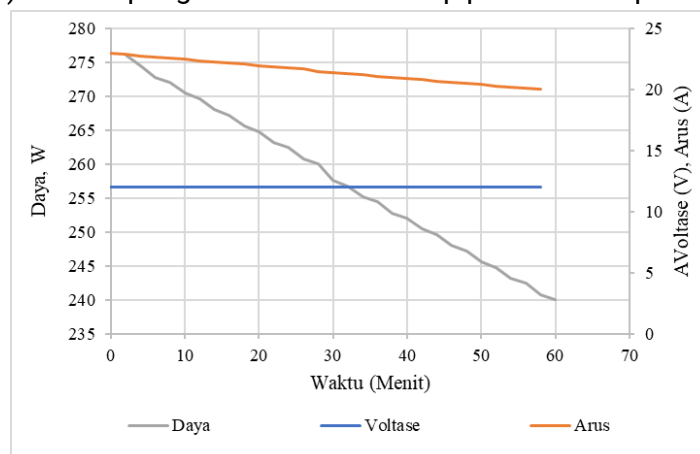
Gambar 2. Suhu Lingkungan dan Suhu Ruang Kotak Pendingin Saat Pengujian Dilakukan

Grafik menunjukkan perbandingan antara suhu lingkungan (T_r) dan suhu di dalam kotak pendingin (T_u) yang berisi buah jeruk dengan variasi berat 1 kg, 2 kg, dan 3 kg selama proses pendinginan berlangsung selama 60 menit. Pada awal pengamatan, suhu di dalam kotak pendingin (T_u) untuk ketiga variasi beban masih mendekati suhu lingkungan yang berada stabil di kisaran $32-33^{\circ}\text{C}$. Namun dalam 10 menit pertama, suhu dalam kotak pendingin mengalami penurunan. Untuk beban 1 kg, suhu turun hingga sekitar 21°C , sementara beban 2 kg dan 3 kg masing-masing turun hingga sekitar 20°C dan $19,5^{\circ}\text{C}$. Setelah mencapai titik terendahnya pada sekitar menit ke-15, suhu di dalam

pendingin mulai menunjukkan peningkatan secara perlahan. Hingga akhir pengujian di menit ke-60, suhu dalam pendingin untuk beban 1 kg meningkat menjadi sekitar 22,7°C, beban 2 kg sekitar 22,3°C, dan beban 3 kg mendekati 22,9°C. Meskipun ada sedikit fluktuasi, suhu lingkungan (T_r) tetap stabil sepanjang waktu. Penurunan suhu ini menunjukkan bahwa kinerja pendinginan sistem termoelektrik paling baik terjadi pada 10 menit pertama. Setelah suhu di dalam kotak pendingin mencapai titik minimum, terjadi kenaikan suhu secara perlahan yang kemungkinan disebabkan oleh akumulasi panas dari buah jeruk yang belum sepenuhnya dilepas, serta terbatasnya kemampuan modul termoelektrik dalam mempertahankan suhu dingin dalam jangka waktu lama, terutama saat beban di dalamnya bertambah. Hal ini menjelaskan bahwa berat beban turut mempengaruhi kestabilan suhu dalam kotak pendingin (Qiram *et al.*, 2022).

Voltase, Arus, dan Daya Kotak Pendingin Selama Pengamatan

Daya (P) atau power didefinisikan sebagai laju perpindahan energi dalam satuan waktu selama proses pengujian berlangsung. Besarnya daya dipengaruhi oleh nilai tegangan (volt) dan arus listrik (ampere), di mana peningkatan tegangan dan arus listrik akan menghasilkan daya yang lebih besar, begitu pula sebaliknya. Namun, ketika tegangan tetap, arus listrik justru menurun hal ini mempengaruhi daya yang turun juga. Grafik yang menunjukkan perubahan tegangan, arus, dan daya listrik arus searah (DC) selama pengamatan untuk setiap perlakuan dapat dilihat pada Gambar 3.



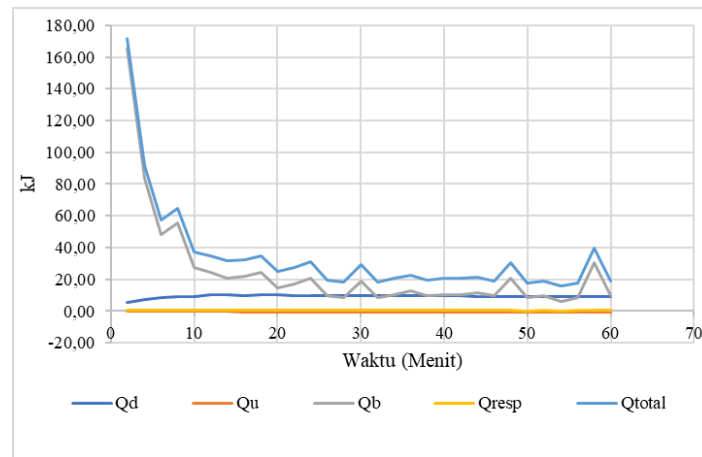
Gambar 3. Perubahan voltase, arus, dan daya DC kotak pendingin

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa parameter listrik berupa voltase, arus, dan daya pada sistem pendingin termoelektrik cenderung stabil selama proses pengujian berlangsung selama 60 menit. Pada menit awal, terjadi lonjakan tajam pada daya hingga mencapai sekitar 270 watt, kemudian mengalami penurunan secara perlahan hingga mencapai sekitar 240 watt pada akhir pengamatan. Hal ini menunjukkan adanya penyesuaian awal sistem sebelum mencapai kondisi kerja yang lebih stabil (Kurniawan *et al.*, 2015).

Sementara itu, nilai voltase tampak konstan di sekitar 12 volt sepanjang waktu, menunjukkan bahwa sumber daya listrik yang digunakan cukup stabil. Nilai arus menunjukkan sedikit fluktuasi, namun tetap berada pada kisaran 22–24 ampere. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dalam kondisi yang relatif stabil, meskipun daya mengalami penurunan perlahan, kemungkinan karena perubahan suhu lingkungan atau penyesuaian beban termal seiring waktu.

Beban Panas Pendinginan Selama Percobaan

Beban panas pendinginan mengacu pada jumlah energi panas yang dipindahkan oleh sistem pengkondisian udara. Beban ini terdiri dari panas yang berasal dari ruang pendingin serta tambahan panas yang dihasilkan oleh bahan atau produk yang didinginkan. Grafik perubahan suhu beban pendinginan di dalam kotak pendingin berdasarkan pengamatan setiap 2 menit dapat dilihat pada Gambar 4.



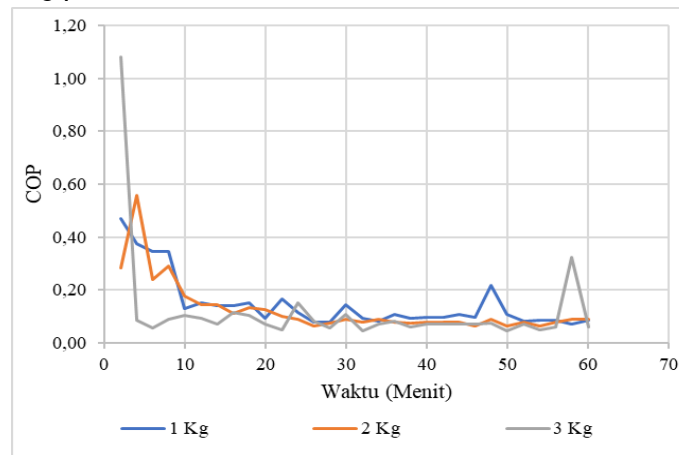
Gambar 4. Perubahan Beban Panas Pendinginan Selama Pengamatan

Grafik di atas memperlihatkan perubahan nilai aliran panas (Q) terhadap waktu selama proses pendinginan berlangsung, yang terdiri dari beberapa komponen Q_d (konduksi dinding *cooler*), Q_u (udara di dalam *cooler*), Q_b (beban buah), Q_{resp} (respirasi buah), dan Q_{total} (jumlah total aliran panas). Dari grafik dapat diamati bahwa komponen panas terbesar berasal dari Q_d dan Q_b . Panas melalui dinding (Q_d) menunjukkan nilai paling tinggi secara konsisten sepanjang waktu pengamatan, terutama pada menit-menit awal yang mencapai puncaknya di atas 160 kJ sebelum secara bertahap menurun dan menstabil. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas dari lingkungan luar ke dalam kotak melalui dinding merupakan sumber beban termal utama dalam sistem. Selain Q_d , panas dari buah (Q_b) juga memberikan kontribusi besar terhadap total panas dalam sistem. Meskipun nilainya lebih rendah dari Q_d , tren Q_b menunjukkan pola yang relatif paralel dengan Q_d , yang menandakan bahwa buah sebagai muatan pendinginan turut menyumbang signifikan terhadap total beban panas (Q_{total}). Sebaliknya, panas udara dalam kotak (Q_u) dan panas pernapasan buah (Q_{resp}) memiliki kontribusi yang jauh lebih kecil. Nilai Q_u cenderung stabil di kisaran rendah, sementara Q_{resp} hampir mendekati nol dan tidak menunjukkan fluktuasi signifikan. Hal ini menandakan bahwa faktor udara dan respirasi buah hanya memberikan kontribusi minor terhadap beban pendinginan. Akumulasi dari semua komponen tersebut membentuk Q_{total} , yang mencerminkan total beban panas yang harus diserap oleh sistem pendingin. Besarnya Q_d dan Q_b sebagai dua komponen dominan secara langsung mempengaruhi nilai *Coefficient of Performance* (COP) dari kotak pendingin. Semakin tinggi beban panas dari dinding dan buah, maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan suhu rendah, sehingga berpotensi menurunkan performa (COP) dari sistem pendingin (Arista *et al.*, 2024).

Coefficient of Performance (COP) Thermoelektrik Selama Pengamatan

Pengamatan setiap 2 menit dilakukan terhadap variasi beban pendinginan buah jeruk, yaitu 1 kg, 2 kg, dan 3 kg selama proses pendinginan selama 60 menit. Perubahan nilai COP diamati dan dianalisis terhadap waktu untuk mengetahui sejauh mana pengaruh beban terhadap kinerja

pendinginan kotak pendingin. Gambar 5 menyajikan hubungan antara waktu pengujian dengan nilai COP untuk masing-masing perlakuan beban.



Gambar 5. Coefficient of perform cooler box

Gambar menunjukkan perubahan nilai *Coefficient of Performance* (COP) dari sistem pendingin thermoelektrik pada kotak pendingin terhadap waktu selama proses pendinginan buah jeruk dengan tiga variasi beban: 1 kg, 2 kg, dan 3 kg. Grafik memperlihatkan bahwa secara umum, nilai COP tertinggi terjadi pada awal waktu pendinginan, kemudian menurun dan cenderung stabil seiring waktu. Pada menit-menit awal (0–5 menit), COP menunjukkan lonjakan tajam, terutama pada beban 3 kg yang mencapai nilai tertinggi lebih dari 1,0. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan suhu awal yang tinggi antara dalam kotak dan lingkungan, sehingga kinerja pendinginan cukup baik pada awal proses. Namun, nilai COP pada beban 3 kg kemudian turun drastis dan menjadi yang paling rendah dibandingkan beban lainnya. Secara umum, beban 1 kg dan 2 kg menunjukkan tren COP yang lebih stabil setelah menit ke-10, dengan nilai berkisar antara 0,05 hingga 0,20. Di antara keduanya, beban 1 kg cenderung menghasilkan nilai COP sedikit lebih tinggi pada sebagian besar waktu pengamatan, terutama setelah menit ke-30. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang lebih ringan memungkinkan sistem pendingin bekerja lebih baik karena beban panas yang harus diserap lebih kecil. Sebaliknya, beban 3 kg menghasilkan COP yang paling rendah dan tidak stabil pada sebagian besar durasi pendinginan. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar beban pendinginan, semakin berat pula kerja sistem pendingin, sehingga kinerjanya menurun. Beban buah yang lebih besar menyumbang lebih banyak panas (Q_b), yang bersama dengan panas melalui dinding (Q_d), meningkatkan total beban panas (Q_{total}) dan menyebabkan COP menjadi rendah. Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa beban pendinginan mempengaruhi performa sistem. Beban 1 kg memberikan performa pendinginan yang paling baik secara konsisten, sedangkan beban 3 kg menunjukkan penurunan kinerja COP yang signifikan. Oleh karena itu, untuk mendapatkan kinerja pendinginan baik, kapasitas beban buah perlu disesuaikan dengan kemampuan sistem pendingin thermoelektrik (Mahardika, 2024).

Tabel 2. Rerata nilai COP cooler box

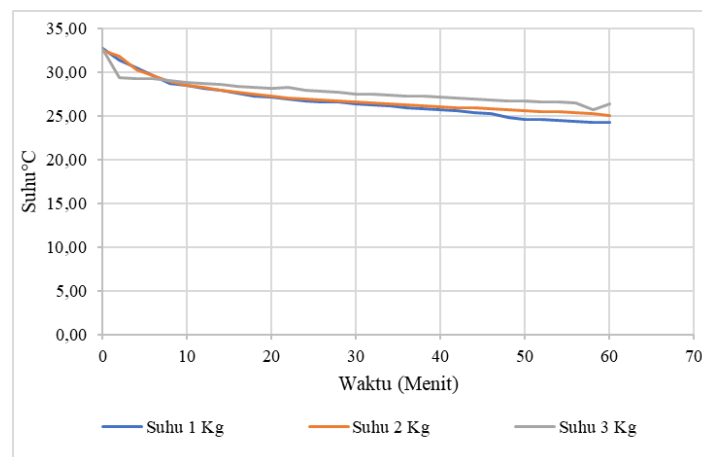
No	Perlakuan beban (kilogram)	Lama waktu percobaan (menit)		
		20 Menit (B1)	40 Menit (B2)	60 Menit (B3)
1.	1 kg (A1)	0,09 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,09 ± 0,00
2.	2 kg (A2)	0,12 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,04
3	3 kg (A3)	0,07 ± 0,02	0,07 ± 0,04	0,06 ± 0,02

Tabel di atas menunjukkan nilai *Coefficient of Performance* (COP) pada berbagai perlakuan beban pendinginan dan lama waktu percobaan. Berdasarkan hasil tersebut, nilai COP tertinggi diperoleh pada perlakuan beban 2 kg (A2) dengan waktu pendinginan selama 20 menit (B1), yaitu sebesar $0,12 \pm 0,02$. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut, sistem pendingin termoelektrik bekerja paling baik dalam memindahkan panas dibandingkan energi listrik yang digunakan. Sebaliknya, nilai COP terendah tercatat pada perlakuan beban 3 kg (A3) dengan waktu pendinginan 60 menit (B3), yaitu sebesar $0,06 \pm 0,02$. Penurunan COP ini mengindikasikan bahwa beban yang terlalu berat dan waktu yang terlalu lama menyebabkan performa sistem menurun.

Secara umum, terlihat bahwa pada setiap variasi waktu, beban 2 kg cenderung memberikan nilai COP yang lebih stabil dan relatif tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa beban 2 kg merupakan kondisi optimal sistem dalam hal kinerja pendinginan. Namun demikian, karena hasil uji ANOVA (Lampiran 11) menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata, maka variasi nilai COP ini tidak dapat disimpulkan sebagai perbedaan yang signifikan secara statistik.

Suhu Buah Jeruk di Dalam Kotak Pendingin

Performa kotak berpendingin termoelektrik TEC1-12710 dalam mendinginkan buah jeruk siam dapat diketahui dengan dilakukan pengujian dengan variasi beban pendinginan 1 kg, 2 kg, dan 3 kg. Pengambilan data dilakukan selama 60 menit dengan interval waktu setiap 2 menit, serta diulang sebanyak tiga kali untuk setiap variasi berat buah. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat bagaimana penurunan suhu terjadi seiring waktu pada masing-masing variasi beban pendinginan. Gambar 6 berikut menyajikan grafik hasil penurunan suhu untuk masing-masing variasi berat buah jeruk selama proses pendinginan berlangsung.



Gambar 6. Penurunan suhu di dalam kotak pendingin dengan beban pendinginan buah jeruk siam. Berdasarkan grafik suhu terhadap waktu, terlihat bahwa proses pendinginan menunjukkan penurunan suhu yang konsisten seiring bertambahnya waktu untuk semua variasi beban. Pada awal pengujian (menit ke-0), suhu awal untuk beban 1 kg, 2 kg, dan 3 kg masing-masing tercatat sebesar $32,9^{\circ}\text{C}$, $33,2^{\circ}\text{C}$, dan $33,5^{\circ}\text{C}$. Setelah dilakukan pendinginan selama 60 menit, suhu akhir untuk beban 1 kg turun hingga $24,3^{\circ}\text{C}$, beban 2 kg mencapai $24,8^{\circ}\text{C}$, dan beban 3 kg hanya turun sampai $26,2^{\circ}\text{C}$. Dari hasil ini, dapat dilihat bahwa semakin kecil beban yang didinginkan, penurunan suhu yang terjadi cenderung lebih besar. Beban 1 kg mengalami penurunan suhu paling signifikan dibandingkan

beban lainnya, yang menandakan kinerja pendinginan menurun seiring bertambahnya berat beban (Firdaus, 2023).

Analisis ragam (Lampiran 12) menunjukkan bahwa interaksi perlakuan berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap suhu pusat buah jeruk siam, untuk mengetahui adanya perbedaan antara kombinasi perlakuan terhadap perubahan suhu selama proses pengamatan, dilakukan analisis sidik ragam yang dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf signifikansi 5%. Uji BNT ini bertujuan untuk mengelompokkan perlakuan-perlakuan yang menunjukkan perbedaan signifikan dalam nilai perubahan suhu, sehingga dapat diidentifikasi perlakuan mana yang memberikan pengaruh paling besar terhadap parameter yang diamati. Berikut disajikan hasil uji BNT terhadap perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$) dari berbagai kombinasi perlakuan yang diuji terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rerata nilai suhu buah jeruk di dalam kotak pendingin

No	Perlakuan beban (kilogram)	Lama waktu percobaan (menit)		
		20 Menit (B1)	40 Menit (B2)	60 Menit (B3)
1.	1 kg (A1)	27,17 \pm 1,65 ^{bc}	25,67 \pm 1,63 ^e	24,60 \pm 1,26 ^g
2.	2 kg (A2)	27,20 \pm 1,10 ^b	26,07 \pm 1,10 ^d	25,07 \pm 1,00 ^f
3	3 kg (A3)	28,13 \pm 0,95 ^a	27,10 \pm 0,80 ^{bc}	26,33 \pm 0,96 ^c

Keterangan : 1). Setiap data hasil analisa merupakan rerata dari 3 ulangan \pm standar deviasi. 2). Nilai rerata yang diikuti dengan huruf berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$)

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam dan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$), diperoleh bahwa perlakuan variasi beban buah jeruk dan lama waktu penyimpanan dalam kotak pendingin memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap suhu akhir buah jeruk. Pada beban 1 kg (A1), suhu buah jeruk menurun seiring bertambahnya waktu, dengan suhu rata-rata 27,17 $^{\circ}\text{C}$ pada 20 menit (B1), menurun menjadi 25,67 $^{\circ}\text{C}$ pada 40 menit (B2), dan mencapai suhu terendah 24,60 $^{\circ}\text{C}$ pada 60 menit (B3). Notasi huruf yang berbeda (bc, e, g) menunjukkan adanya perbedaan nyata antar waktu. Pada beban 2 kg (A2), suhu juga menunjukkan penurunan dari 27,20 $^{\circ}\text{C}$ (B1) menjadi 25,07 $^{\circ}\text{C}$ (B3). Namun, pada waktu 40 menit (B2), suhu rata-rata yaitu 26,07 $^{\circ}\text{C}$ menunjukkan tidak berbeda nyata dengan suhu pada 20 menit, ditandai dengan notasi huruf yang berdekatan (b, d, f). Beban tertinggi yaitu 3 kg (A3) menunjukkan tren penurunan yang lebih stabil, dengan suhu awal 28,13 $^{\circ}\text{C}$ (B1), menurun menjadi 27,10 $^{\circ}\text{C}$ (B2), dan 26,33 $^{\circ}\text{C}$ (B3). Meskipun suhu rata-rata akhir lebih tinggi dibandingkan perlakuan beban lainnya, perbedaan antar waktu tetap signifikan berdasarkan notasi statistik (a, bc, c). Semakin lama waktu penyimpanan dalam kotak pendingin, semakin rendah suhu buah jeruk yang dicapai, namun laju penurunan suhu dipengaruhi oleh besar beban pendinginan. Perlakuan beban 1 kg dengan waktu 60 menit menghasilkan suhu terendah 24,60 $^{\circ}\text{C}$.

KESIMPULAN

Performa sistem yang diukur melalui nilai *Coefficient of Performance* (COP) menunjukkan hasil tertinggi pada beban 3 kg, yaitu sebesar 1,17, sedangkan nilai COP sistem pendinginan pada beban 1 kg adalah 0,66, dan nilai COP untuk beban 2 kg menghasilkan COP terendah, yaitu 0,62. Perlakuan tidak berpengaruh nyata pada kinerja sistem pendinginan. Perlakuan berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap suhu pusat buah jeruk siam. dan dapat disimpulkan bahwa suhu buah semakin tinggi bersamaan dengan semakin besarnya beban pendinginan pada sistem pendinginan. Suhu buah terendah yang berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan perlakuan lainnya diperoleh dari perlakuan beban pendinginan 1 kg dengan lama penyimpanan 1 jam dengan nilai 24,6 $^{\circ}\text{C}$.

Saran

Untuk meningkatkan kinerja kotak pendingin termoelektrik dengan menggunakan sistem *waterblok* sebagai pendingin sisi panasnya agar tetap menjaga kestabilan suhu air yang digunakan. Digunakan TEC dengan spesifikasi daya yang lebih besar, misalnya TEC1-12715 yang mampu memindahkan panas lebih tinggi daripada TEC1-12710 yang digunakan pada penelitian ini. Dilakukan peningkatan isolasi termal pada dinding kotak untuk meminimalkan transfer panas dari lingkungan. Penerapan sistem kontrol suhu otomatis juga perlu dipertimbangkan agar suhu di dalam kotak tetap stabil tanpa harus dilakukan pemantauan manual secara terus-menerus.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N., Dwiyantri, H., Setyawati, R., Handayani, I., Septiana, A. T., Sustrawan, B., & Aena, D. A. Q. (2022). Karakteristik nektar jeruk siam (*Citrus nobilis* L.) dengan variasi penstabil dan kadar sukrosa. *Penelitian Pangan*, 6(3), 315–323.
- Ananta, H., Padang, Y. A., & Mirmanto. (2017). Unjuk kerja kulkas termoelektrik dengan rangkaian seri dan paralel pada beban air 1500 ml. *Dinamika Teknik Mesin*, 7(2), 80–86.
- Arista, Y. L. V., Khairunisa, A., Hutabarat, M. A., & Moniz, J. P. G. D. C. (2024). Optimasi mutu jeruk siam Garut dengan menggunakan etephon dan suhu yang berbeda selama penyimpanan. 6(2), 62–72.
- Azam, T. S., & Baba, B. A. (2018). Perbedaan suhu penyimpanan terhadap mutu jeruk Selayar. *TABARO Agriculture Science*, 2(1), 108.
- Chavan, P., Sidhu, G. K., Alam, M. S., & Kumar, M. (2021). Mathematical design and performance investigation of evaporator water cooled storage-cum-mobile thermoelectric refrigerator for preservation of fruit and vegetables. *Journal of Food Process Engineering*, 44(3), 1–14.
- Delly, J., Hasbi, M., & Alkhoiron, I. F. (2016). Studi penggunaan modul termoelektrik sebagai sistem pendingin portable. *ENTHALPY – Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 1(1), 50–55.
- Fikri, W. (2022). *Rancang bangun pendingin buah dan sayur berbasis Peltier TEC-12706* [Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang].
- Firdaus, M. (2023). *Kaji eksperimental kotak pendingin buah jeruk menggunakan thermoelectric cooler dan heat pipe* [Skripsi, Universitas Sriwijaya].
- Hayati, E. N., Ekoanindiyo, F. A., & Yohanes, A. (2022). Portable coolbox design for milk storage. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, 4(1), 561–567.
- Kurniawan, Z. D., Subekti, & Wahyudin, H. (2015). Pengaruh aliran termoelektrik pada portable cooling unit dengan simulasi Ansys. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 2(2), 1–5.
- Mahardika, I. P. A. M. S. (2024). *Uji performansi pendingin termoelektrik tipe heat pipe dengan suplai daya PLTS*. Politeknik Negeri Bali.
- Mainil, R. I., Aziz, A., & Afdhal, K. M. (2015). Penggunaan modul thermoelectric sebagai elemen pendingin box cooler. *Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri XIV*, 44–49.
- Memon, A., & Mistry, P. (2017). Evaluation of drip irrigation system for different operating pressures. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 63–69.

- Mirmanto, M., Joniarta, I. W., Sayoga, I. M. A., Nurpatricia, N., Padang, Y. A., & Yudhayadi, I. G. N. K. (2018). Effect of water volume on a thermoelectric cooler box performance. *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 11, 1–9. <https://doi.org/10.5098/hmt.11.17>
- Nagesh, B. R. K. T. (2019). Solution of 1-dimensional steady state heat conduction problem by finite difference method and resistance formula. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7(5), 163–170. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2019.5025>
- Pua, M. S., Ontowirjo, A. H. J., & Manembu, P. D. K. (2022). Studi perbandingan kontrol PID dan metode ON–OFF pada sistem kotak pendingin menggunakan thermoelectric. *UNSRAT Repository*, 1–13.
- Qiram, I., Arif, R., & Untung, L. N. W. (2022). Karakteristik temperatur ruang kokpit dan efeknya terhadap beban termal pilot Cessna 172 S. *SKYHAWK: Jurnal Aviasi Indonesia*, 2(1), 6–10. <https://doi.org/10.52074/skyhawk.v2i1.20>
- Ridhuan, K., & Rifai. (2017). Analisa kebutuhan beban pendingin dan daya alat pendingin AC untuk aula Kampus 2 UM Metro. *TURBO (Jurnal Program Studi Teknik Mesin)*, 2(2), 7–12.
- Samola, G. J., Patras, L. S., & Mangindaan, G. M. C. (2022). Analisa sistem pendingin berdasarkan besar daya listrik yang dibangkitkan pada PLTP Lahendong. *Jurnal Teknik Elektro*, 1–10.
- Saputera, Sutrisno, Susanto, S., & Budiastra, I. W. (2000). Pengkajian penyimpanan jeruk besar (*Citrus grandis* L.) pengolahan minimal dengan kemasan atmosfer termodifikasi. *Buletin Keteknikan Pertanian*, 14(1), 1–12.
- Sormin, I. A., Gunadnya, I. B. P., & Aviantara, I. G. N. A. (2023). Performance of cooler box using TEC1-12715 on various cooling. *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, 11(1), 29–37.
- Tambun, N., Mustika, D., & Lubis, N. A. (2025). Rancang alat konverter energi panas menjadi energi listrik dengan menggunakan thermoelektrik sederhana. 6(1).
- Utami, H. R. (2019). *Analisis mutu kimia jeruk siam (Citrus nobilis Lour.) selama penyimpanan pada suhu dingin* [Skripsi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau].
- Widianto, T. N., & Hakim, A. R. (2015). Performansi pendingin termoelektrik alat transportasi ikan segar pada berbagai tegangan. *Agritech*, 36(4), 485–490.
- Ziliwu, B. W., Siahaan, J. P., & Uriandi. (2020). Perhitungan beban pendinginan pada sistem refrigerasi air blast freezer. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 6(2), 163. <https://doi.org/10.31884/jtt.v6i2.291>