

PENGEMBANGAN KOTAK PENDINGN BERBASIS TERMoeLEKTRIK DENGAN MEMANFAATKAN HEATPIPES SEBAGAI KOMPONEN PELEPAS KALOR

COOLING BOX DEVELOPMENT BASED THERMOELECTRIC BY UTILIZING HEATPIPES AS A HEAT RELEASE COMPONENT

Hafizh Farras Putra¹, Drs. Suprayogi, M.T.², Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T., M.Eng³

^{1,2}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom,

hafizhfarrasputra@gmail.com¹, spivogi@vahoo.co.id², tri.ayodha@gmail.com³

Abstrak

Kotak pendingin berbasis termoelektrik adalah kotak pendingin yang memanfaatkan modul termoelektrik sebagai komponen pendingin ruang yang terinsulasi dari lingkungan. Heatpipes adalah teknologi penghantar panas dengan menggunakan pipa berukuran khusus dan memiliki fluida kerja di dalamnya. Penerapan modul TEC pada aplikasi pendinginan merupakan teknologi yang ramah lingkungan, selain itu bentuknya kecil dan tidak memerlukan sistem instalasi yang rumit menjadikan kombinasi TEC dan heatpipes sebagai pilihan yang tepat untuk diaplikasikan pada sistem pendingin. Maka dari itu dilakukan penelitian dan pembuatan kotak pendingin berbasis termoelektrik dengan memanfaatkan heatpipes sebagai komponen pelepas kalor. Pada penelitian ini sistem pendingin dapat mengkondisikan ruang di kotak pendingin hingga $\pm 8^{\circ}\text{C}$ dengan kondisi lingkungan di temperatur 26°C . Dengan kondisi yang sama kotak pendingin juga dapat menurunkan temperatur 800gr air menjadi $\pm 17^{\circ}\text{C}$ dalam waktu 3600s.

Kata Kunci: termoelektrik, kotak pendingin, heatpipes, efek Peltier, cooling box, air.

Abstract

Cooling box based thermoelectric is a cooling box utilizing a thermoelectric module as a cooling medium of an insulated box or chamber from the environment. Heatpipes is heat conducting technology technology using special sized pipes and have working fluids in them. The application of TEC module and heatpipes on cooling applications is an environmentally friendly technology, otherwise the shape is small and does not require a complicated installation system makes the combination of these two components as one of the right choice in order to maintain the temperature of the box. Therefore, research and manufacture of cooling box based thermoelectric by heatpipes utilizing as heat release component. This research can keep the air temperature in the cooling box of $\pm 8^{\circ}\text{C}$ on temperature in the environment ranging from 26°C . The cooling box can also lower the temperature of 800gr water to $\pm 17^{\circ}\text{C}$ within 3600s.

Keywords: thermoelectric, cooler, heatpipes, Peltier effect, cooling box, water.

1. Pendahuluan

Refrigrasi merupakan suatu proses penarikan kalor pada suatu benda ataupun ruangan ke lingkungan sehingga temperatur suatu benda atau ruangan tersebut menjadi lebih rendah dari suhu lingkungan sekitarnya. Pada saat ini banyak macam permodelan tentang sistem refrigrasi seperti siklus kompresi uap atau menggunakan refrigerant sebagai bahan pendingin. Semua sistem tersebut juga sama sama memiliki kelebihan dan kekurangan, seperti siklus kompresi uap yang banyak menimbulkan kerugian, salah satu contohnya menimbulkan kerusakan pada lapisan ozon yang berbahaya untuk kehidupan manusia.[1] Dari semua sistem refrigrasi di atas, penelitian ini berfokus pada sistem refrigrasi dengan menggunakan Thermoelectric, dengan alasan ramah lingkungan dan ringkas dalam membuat sistemnya.

Thermoelectric adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energi kalor (perbedaan temperatur) menjadi energi listrik secara langsung dan juga berlaku sebaliknya. Thermoelectric akan secara langsung menghasilkan tegangan ketika kedua sisinya mengalami (mendapatkan) perbedaan temperatur. Sebaliknya, apabila thermoelectric tersebut diberikan tegangan maka akan dihasilkan perbedaan temperatur pada kedua sisi thermoelectric tersebut.[2]

Modul Thermoelectric digunakan sebagai pendingin berdasarkan pada efek Peltier untuk mengubah arus listrik menjadi sebuah perbedaan temperatur ketika tegangan listrik DC di catu [3]. Dibandingkan dengan teknologi

kompresi uap yang menggunakan CFC sebagai refrigeran, teknologi thermoelectric cooler lebih ramah lingkungan dengan tidak adanya getaran yang dihasilkan oleh proses refrigerasi. Sistem refrigerasi ini juga sangat mudah dibuat dan tidak mengeluarkan banyak uang untuk membeli komponennya. Heatpipes adalah sebuah teknologi penghantar panas dengan menggunakan pipa yang berukuran khusus sebagai penghantar panas dari ujung yang panas (kondensor) ke ujung lain yang dingin (evaporator) [4]. Pipa tersebut biasanya terbuat dari bahan aluminium, tembaga, atau tembaga berlapis nikel. Pada bagian dalam pipa terdapat wick sebagai saluran kembalinya fluida menuju evaporator.

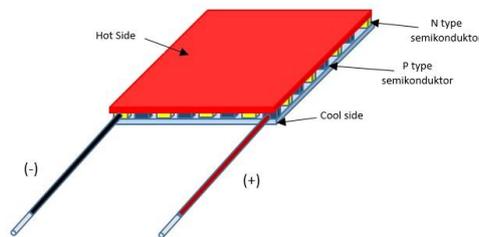
Pada dinding kotak pendingin digunakan juga 2 macam bahan insulator untuk menjaga temperatur rendah yang ada didalam kotak pendingin tidak keluar ke lingkungan. Karna bahan insulator yang digunakan memiliki nilai konduktivitas termal sangat kecil maka bahan insulator ini sangat cocok digunakan untuk menjaga temperatur ruangan pendingin. Bahan insulator yang digunakan ada 2 macam yaitu Styrofoam dan Polyfoam. Kedua bahan insulator ini memiliki nilai konduktivitas termal yang berbeda, oleh karna itu penelitian kali ini juga akan membandingkan tingkat penurunan temperatur kotak pendingin terhadap waktu dengan menggunakan 2 macam bahan insulator yang berbeda nilai konduktivitasnya.

Penerapan efek peltier dan heatpipe dalam berbagai aplikasi sistem pendingin merupakan suatu penemuan teknologi yang ramah lingkungan, selain itu bentuknya kecil dan tidak memerlukan sistem instalasi yang rumit menjadikan kombinasi elemen peltier dan heatsink heatpipes sebagai salah satu pilihan yang tepat untuk digunakan dalam menjaga temperatur suatu kotak atau cabin.[5].

2. Dasar Teori

2.1. Modul Termoelektrik

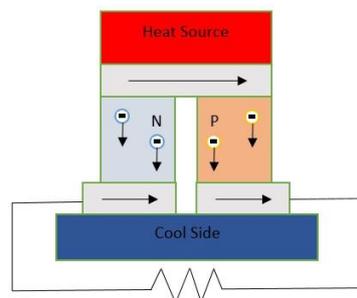
Termoelektrik adalah suatu alat yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya dari energi listrik menjadi perbedaan temperatur pada dua sisi bahan. Termoelektrik dapat diaplikasikan untuk menjadi thermoelectric generator (sebuah pembangkit listrik) dan thermoelectric cooler yang mengubah energi listrik menjadi perbedaan suhu untuk digunakan sebagai pendingin. [3]



Gambar 2.1 Termoelektrik TEC1-12706

2.1.1. Thermoelectric Generator

Thermoelectric Generator juga disebut Seebeck Generator adalah perangkat yang memanfaatkan perbedaan temperatur kedua sisinya untuk mendapatkan beda potensial.

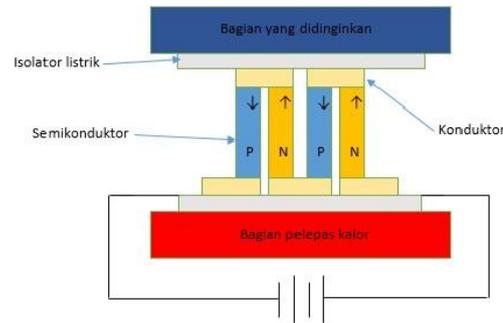


Gambar 2.2 Thermoelectric Generator.

Jika dua buah logam disambungkan salah satu ujungnya maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Kemudian diberi beda suhu dimasing masing sambungan, maka akan terjadi beda potensial pada ujung satu ke ujung lainnya. Gambar 2.2. menunjukkan thermoelectric generator terbuat dari bahan semikonduktor

2.1.2. Thermoelectric Cooler (TEC)

Prinsip kerja dari Thermoelectric cooler ini didasarkan pada efek Peltier. Ketika termoelektrik diberi arus DC maka satu sisinya akan menyerap kalor (sisi dingin) dan sisi lainnya akan membuang kalor (kalor panas). Sisi termoelektrik yang menjadi panas ataupun dingin ditentukan dari arah aliran arus listrik yang terima.



Gambar 2.3 Thermoelectric Cooler yang terbuat dari semikonduktor.

Gambar 2.3. menggambarkan skema Thermoelectric Cooler berbasis semikonduktor. Pada saat semikonduktor tipe p terhubung ke beda potensial negatif, hole akan berkumpul menuju bagian yang terhubung dengan elektroda negatif. Sebaliknya, pada saat semikonduktor tipe n terhubung ke beda potensial positif, elektron akan berkumpul menuju bagian yang terhubung dengan elektroda positif. Akibatnya terjadi penumpukan muatan.

Untuk mencapai kondisi kesetimbangan, muatan-muatan tersebut akan melepas energi dalam bentuk panas ke luar lingkungan, sehingga bagian yang terhubung dengan elektroda akan menjadi sisi panas termoelektrik. Sehingga nilai kalor yang dilepaskan pada sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan pada termoelektrik.

$$Q_{em} = Q_{abs} + P_{in} \quad (2.1)$$

Dengan :

- Q_{em} = Kalor yang dilepaskan pada bagian panas suatu termoelektrik (Watt)
- Q_{abs} = Kalor yang diserap pada bagian dingin suatu termoelektrik (Watt)
- P_{in} = Daya input pada suatu termoelektrik (Watt)

2.1.3 Kesetimbangan energi pada TEC.

Untuk pengaplikasian termoelektrik yang tepat, bergantung kepada tiga parameter. Parameter ini yaitu temperatur permukaan panas (T_h), temperatur permukaan dingin (T_c), dan heat load yang diserap permukaan dingin (Q_c). Sisi panas termoelektrik yaitu sisi terjadinya pelepasan kalor ketika arus DC dialirkan.

$$Q_{em} = \alpha \cdot I \cdot T_h - \frac{\Delta T}{\theta} + \frac{1}{2} \cdot I \cdot R^2 \quad (2.2)$$

$$Q_{abs} = \alpha \cdot I \cdot T_c - \frac{\Delta T}{\theta} - \frac{1}{2} \cdot I \cdot R^2 \quad (2.3)$$

Dengan:

- Q_{em} = Jumlah kalor yang dilepas disisi panas termoelektrik (W)
- Q_{abs} = Jumlah kalor yang diserap dari sisi dingin (W)
- α = Koefisien seebeck (Volt /K)
- I = Arus yang mengalir pada termoelektrik (A)
- R = Tahanan termal termoelektrik (Ohm)
- θ = Konduktivitas termal modul termoelektrik (W/K)

Untuk mencari nilai koefisien seebeck, konduktivitas termal termoelektrik, dan COP pada sebuah termoelektrik dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\alpha = \frac{V_{max}}{\Delta T} \quad (2.4)$$

$$\theta = \frac{\Delta T_{max}}{I_{max} V_{max}} \frac{2T_h}{T_h - \Delta T_{max}} \quad (2.5)$$

$$COP = \frac{Q_{abs}}{P_{in}} \quad (2.6)$$

Dimana:

- V_{max} = Tegangan Listrik (V)
- I_{max} = Kuat Arus (A)
- ΔT_{max} = Perbedaan temperatur terbesar ($^{\circ}C$)
- COP = Coefficient of Performance
- P_{in} = Daya input (W)

2.2. Heat Pipes

Heat pipe adalah sebuah teknologi penghantaran panas dengan menggunakan pipa berukuran tertentu yang berisi cairan khusus sebagai penghantar panas dari ujung bagian yang panas ke ujung bagian yang lain sebagai

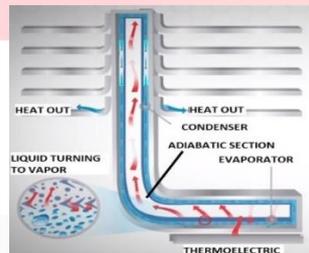
pendingin. Heatpipes juga mempunyai kemampuan untuk memindahkan kalor melawan gravitasi dengan adanya proses evaporasi – kondensasi bertekanan dengan bantuan dari jaringan kapiler berpori yang membentuk wick.



Gambar 2. 4 Heatpipes beserta fan dan heatsink

2.2.1. Perpindahan panas pada Heatpipes

Heatpipes merupakan pipa berongga yang kedua ujungnya ditutup setelah sejumlah fluida kerja ditempatkan di dalamnya. Secara umum heatpipes bekerja memanfaatkan kalor laten dari fluida kerja. Untuk fluida kerja pada heatpipes digunakan fluida dasar fluida dasar (air, helium, ethyleneglycol, ethanol, dll) atau fluida campuran (nano fluida dll).



Gambar 2. 5. Skema dari Heatpipe

2.3. Kalor yang diserap sistem pendingin

Kalor yang diserap merupakan jumlah panas yang diserap oleh mesin pendingin untuk mendinginkan suatu ruangan atau objek. Dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_{abs} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{\Delta t} \quad (2.7)$$

Dimana:

- Q = Kalor yang diserap (Watt)
- m = berat dari objek yang didinginkan (kg)
- Cp = panas jenis dari objek yang didinginkan (Joule/kg.K)
- ΔT = perubahan temperatur (K)
- Δt = waktu (s)

2.3.1. Beban panas luar

Beban panas dari luar adalah panas yang mengalir karena adanya perbedaan temperatur udara luar dan dalam coolbox itu sendiri. Oleh karena itu digunakan insulasi guna meminimalisir aliran panas.

Besarnya beban panas dari luar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta t \quad (2.8)$$

dimana :

- Q = Jumlah panas yang dipindahkan (Watt)
- A = Luas Permukaan (m^2)
- U = Angka koefisien perpindahan panas (Watt/ $m^2 \cdot ^\circ C$)
- Δt = Perbedaan temperatur ($^\circ C$)

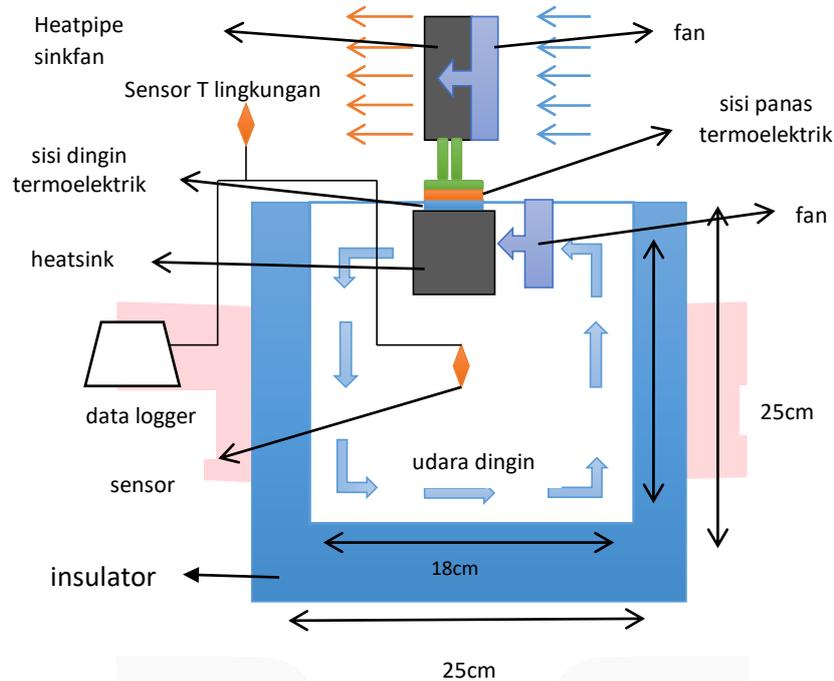
2.4 Temperature Control Switch (TCS)

Seperti kotak pendingin umumnya, penelitian kali ini juga menggunakan Temperature Control Switch sebagai komponen pemutus arus listrik ke kotak pendingin. Komponen yang digunakan untuk pemutus arus listrik ini adalah W1209. Tujuan utama penggunaan komponen ini ialah agar nantinya temperatur yang ada di dalam kotak pendingin bisa dijaga pada rentang suhu yang diinginkan.

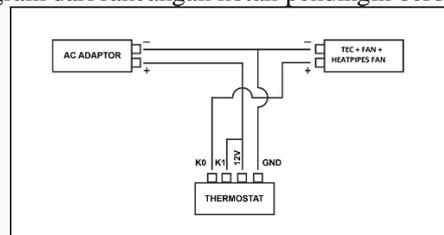
3. Pembahasan

3.1. Perancangan Sistem

Sistem pendingin berbasis termoelektrik pada penelitian ini dirancang menggunakan termoelektrik yang disambungkan dengan listrik DC, menggunakan 2 buah fan, 1 buah heat sink yang ditempelkan di sisi dingin termoelektrik, sensor, data logger dan 1 set heatpipes yg terdiri dari 2 batang heatpipes dan 1 heatsink yang menempel pada heatpipes dan 1 buah temperature switch control.



Gambar 3. 1. Rancangan eksperimen sistem pendingin berbasis termoelektrik
Berikut ini adalah wiring diagram dari rancangan kotak pendingin berbasis termoelektrik.



Gambar 3. 2. Wiring diagram perancangan kotak pendingin

Berikut ini adalah ukuran dari komponen sistem pendingin berbasis termoelektrik.
Dimensi sistem pendingin:

	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)
Kotak pendingin	18	18	18
Termoelektrik	4	4	0.2
Heatsink dalam	7	5	4

3.2. Realisasi Sistem dan Analisa Sistem Pendingin.

Sistem akan dibuat menggunakan 2 material insulator yaitu menggunakan styrofoam dan polyfoam sebagai dinding. Pada proses awal, termoelektrik akan diletakan pada sisi atas kotak pendingin yg sudah dipotong seukuran. Setelah termoelektrik terpasang, heat sink dan fan akan dipasang seperti pada gambar 3.2 begitu juga dengan heatpipes ditempel pada sisi panas termoelektrik dan semua sisi dari kotak pendingin akan dilapisi insulasi berupa Styrofoam dan Polyfoam secara bergantian.

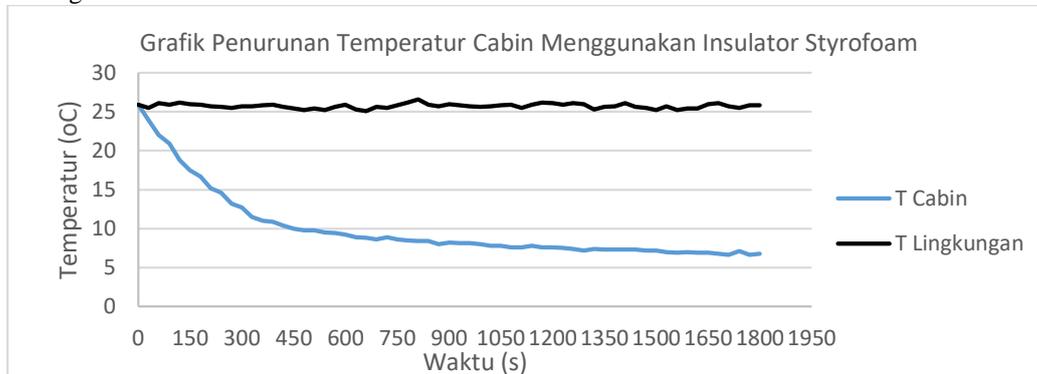
Spesifikasi Insulator yang digunakan:

Bahan Insulator	Konduktifitas Thermal (W/m.K)
Polyfoam	0.03
Styrofoam	0.033
Acrylic	0.2

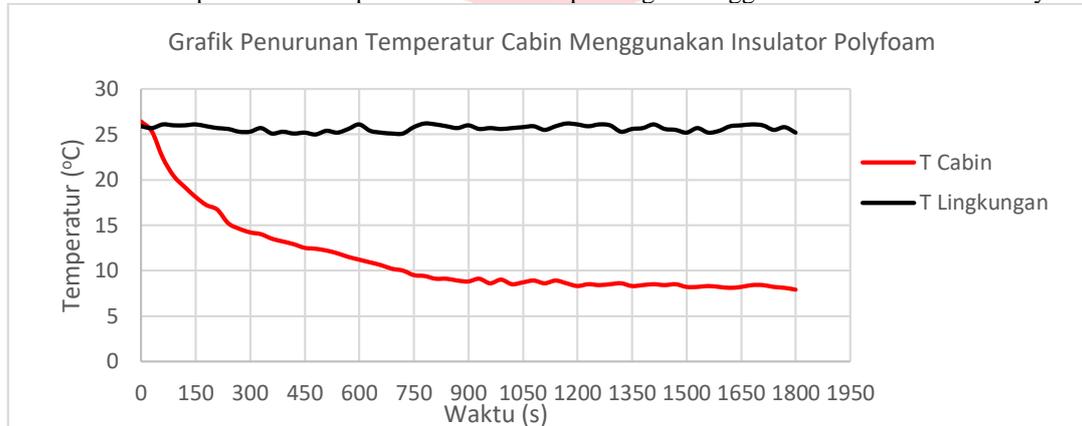
Setelah sistem direalisasikan dilanjutkan dengan proses pengambilan data yaitu data temperatur ruang pendingin menggunakan bahan insulator Styrofoam, data menggunakan Polyfoam, dan tanpa menggunakan bahan insulator.

3.3. Perbandingan Penurunan Temperatur Cabin Kotak Pendingin.

Adapun perbandingan penurunan temperatur kotak pendingin menggunakan Styrofoam dan polyfoam pada penelitian kali ini dapat dilihat pada grafik 4.1.. Proses penurunan suhu dilakukan dengan tegangan yang diberikan sebesar 12V dikarenakan termoelektrik mampu bekerja dengan baik pada tegangan 12V. Pengambilan data tersebut dilakukan selama 30 menit jam (1800s) diasumsikan pada waktu 30 menit adalah waktu yang cukup untuk mendinginkan makanan atau minuman.



Gambar 3.3. Grafik penurunan temperatur cabin kotak pendingin menggunakan bahan insulator Styrofoam



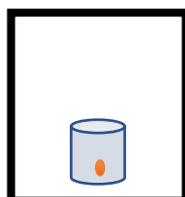
Gambar 3. 4. Grafik penurunan temperatur cabin kotak pendingin menggunakan bahan insulator Polyfoam

Pada grafik diatas dapat dilihat penurunan temperatur yang signifikan terjadi pada waktu 300 detik. Selanjutnya dengan penurunan perlahan didapatkan suhu terendah pada masing masing percobaan pada detik ke 1800. Dapat dilihat juga bahwa styrofoam lebih baik dalam menjaga temperatur didalam cabin kotak pendingin. Pada detik ke 150 styrofoam mampu menjaga temperatur kotak pendingin hingga 16°C, sedangkan polyfoam bisa menjaga temperatur hingga 18,5°C. Dan styrofoam juga dapat menjaga temperatur kotak pendingin hingga 6,5°C sedangkan polyfoam menjaga temperatur kotak pendingin hingga 8°C.

3.4 Perhitungan Coefficient Of Performance (COP)

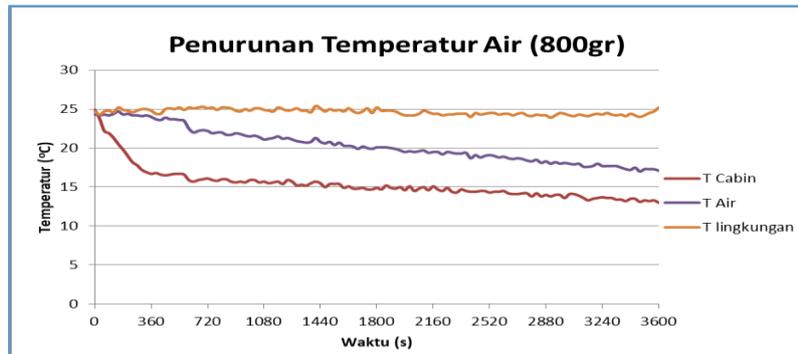
Nilai COP dari pendinginan dapat diketahui dari data pengujian kotak pendingin yang telah dilakukan selama 60 menit dengan beban objek berupa air dengan massa 800 gr.

Pada saat pengambilan data kotak pendingin berisikan air berwadah plastik tipis dan sensor tempeatur berada didalam wadah plastik yang berisikan air.



Gambar 3.5. Letak wadah berisikan air dan sensor temperatur

Adapun perhitungan COP dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.7) dan data dari grafik berikut:



Gambar 3.6. Grafik penurunan temperatur beban pendinginan.

Dengan adanya data pada gambar 3.6. bisa dilihat temperatur awal udara yang ada di dalam kotak pendingin bernilai 24,9°C, untuk menghitung COP dibutuhkan data berupa massa udara yg didinginkan, nilai kalor jenis udara, dan selisih temperatur udara dimana yang diambil ialah selisih temperatur pada detik ke- 720 sampai detik ke- 3600, dikarenakan pada rentan waktu tersebut terjadi penurunan temperatur yang signifikan dan diasumsikan linear.

$$Q_{abs} = Q_{udara\ cabin} + Q_{air}$$

$$Q_{abs} = \left(\frac{m_{udara} \cdot C_{pudara} \cdot \Delta T}{\Delta t} \right) + \left(\frac{m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot \Delta T}{\Delta t} \right)$$

$$Q_{abs} = \left(\frac{V_{cabin} \cdot \rho \cdot 1,005 \cdot (23-18)}{2880} \right) + \left(\frac{0,8 \cdot 4,2 \cdot (16-14)}{2880} \right)$$

$$Q_{abs} = \left(\frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot 5}{2880} \right) + \left(\frac{0,8 \cdot 4,2 \cdot (2)}{2880} \right)$$

$$Q_{out} = (0,0000104\ kW + 0,00233\ kW)$$

$$Q_{out} = 2,34\ Watt$$

Berikut perhitungan COP menggunakan persamaan (2.6).

$$\begin{aligned} COP &= \frac{Q_{abs}}{P_{in}} \\ &= \frac{2,34\ Watt}{V \cdot I} \\ &= \frac{2,34}{12 \times 3} \\ &= 0,065 \end{aligned}$$

4. Kesimpulan.

4.1 Spesifikasi Sistem Pendingin

Berdasarkan rancangan pengembangan kotak pendingin yang telah dilakukan, Tabel 4.1 berikut adalah spesifikasi teknis kotak pendingin.

Tabel 4.1. Spesifikasi sistem pendingin.

No.	Parameter	Spesifikasi
1.	Voltase	12 V DC
2.	Daya Listrik	50 W
3.	Sistem pendingin	1 buah TEC1-12706, <i>heatpipes</i> sink fans
4.	Temperatur Minimum	$\pm 7^{\circ}\text{C}^*$
5.	Volume <i>Cabin</i>	5,8 L
6.	Berat Kotak Pendingin	$\pm 2,8\text{kg}$

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Berdasarkan rancangan pengembangan kotak pendingin yang telah dilakukan, spesifikasi teknis kotak pendingin ditunjukkan pada tabel 4.1
2. Pemanfaatan *heatpipes* pada kotak pendingin berbasis termoelektrik dengan rancangan yang dapat dilihat pada gambar 3.3 dan gambar 3.4 mampu menghasilkan temperatur minimum sebesar $\pm 7^{\circ}\text{C}$, hasil tersebut memenuhi target dari penelitian ini.
3. Styrofoam lebih baik dari pada polyfoam dalam menjaga temperatur cabin dari kotak pendingin. Hal ini dapat dilihat dari grafik 3.3 dan grafik 3.4, dimana penurunan temperatur menggunakan insulator berbahan styrofoam menunjukkan penurunan yang signifikan dan lebih cepat dibandingkan insulator berbahan polyfoam.
4. Dengan spesifikasi kotak pendingin pada tabel 4.1, kotak pendingin dapat mendinginkan 800gr air hingga $\pm 13^{\circ}\text{C}$ dalam waktu 1 jam.

5. Referensi

1. Isnanda, "Penggunaan Refrigerant Hidrokarbon (HC) dalam Bisnis Perawatan dan Perbaikan AC," [Online]. Available: <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=57827&val=4375>
2. D. L. Chandler, "Explained: Thermoelectricity," MIT News, 27 April 2010. [Online]. Available: <http://newsoffice.mit.edu/2010/explained-thermoelectricity-0427>].
3. D. Enescu and V. E. O., "A review on thermoelectric cooling parameters and performance," *Renewable and Sustainable Energy*, vol. 38, pp. 903-916, October 2014.
4. Reay, David & Peter Kew., *Heat Pipe, Theory, Design and Applications*, 5th Edition, USA, 2006
5. Iskandar, Ferdiansyah N., *Penerapan Sistem Pendinginan Bertingkat Pada Kotak Pendingin Darah Berbasis Termoelektrik dan Heatpipes*." Jakarta: Universitas Indonesia, 2009
6. G.P. Peterson, *An introduction to heat pipes - Modelling, testing and applications*, John Wiley and Sons, New York, 1994.
7. Sugiyanto, 2008. [Online]. Available: <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/125322-R020843-Pengembangan%20cool-Literatur.pdf>.
8. Gunawan, Dian., "Rancang Bangun Sistem Refrigerasi Termoelektrik Dan Simulasi Distribusi Temperatur Menggunakan Comsol Multiphysics." Bandung : Telkom University , April, 2017