

RANCANG BANGUN PENDINGIN UNTUK PERANGKAT ELEKTRONIK PADA GREEN HOUSE

DESIGN OF COOLER FOR ELECTRONIC DEVICE ON GREEN HOUSE

Galih Putra Anugrah¹, Dr. Abrar Ismardi, M.Sc.², Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T., M.Eng.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

9j.galih.putra@gmail.com¹, abrarselah@gmail.com², tri.ayodha@gmail.com³

Abstrak

Perangkat elektronik memiliki batas temperatur ambient dalam bekerja yaitu -20°C hingga 40°C berdasarkan IEC 60079-0 untuk mencegah potensi meledak. Sehingga *thermal management* sangatlah dibutuhkan dalam pemeliharaan perangkat elektronik, salah satunya pada green house yang memiliki nilai temperatur bisa lebih besar dari 40°C . Dalam penelitian ini sebuah kotak pendingin berbahan akrilik dengan dimensi panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15cm memiliki nilai beban 17,57 Watt pada pengujian temperatur lingkungan 50°C . Perancangan kotak pendingin dilakukan dengan tiga rancangan. Rancangan pertama kotak pendingin tersebut menggunakan *heat exchanger* dan *Thermoelectric* yang terintegrasi *water block* pada bagian luar kotak pendingin dapat menahan peningkatan pada temperatur $\pm 34,5^{\circ}\text{C}$. Rancangan yang kedua kotak pendingin tersebut menggunakan *heat exchanger* dan *Thermoelectric* yang terintegrasi dengan *water block* dipasang didalam kotak pendingin dapat menahan peningkatan pada temperatur $\pm 35,5^{\circ}\text{C}$. Rancangan ketiga bagian luar kotak serta bagian dalam kotak akan menggunakan *heat exchanger*, dapat menahan peningkatan pada temperatur $\pm 28,5^{\circ}\text{C}$. Pada setiap perancangan, temperatur kotak pendingin dapat menahan temperatur tidak melebihi temperatur ambient tertinggi untuk perangkat elektronik sebesar 40°C .

Katakunci: Perangkat elektronik, Temperatur *ambient*, Termoelektrik, *Heat exchanger*

Abstract

Electronic devices have ambient temperature limits at -20°C to $+40^{\circ}\text{C}$ based on IEC 60079-0 to prevent potential bursts. With the result that thermal management is needed in the maintenance of electronic devices, one of them on the green house that has a temperature value can be greater than 40°C . In this study a cooler box with acrylic material with dimensions of 15 cm long, 15 cm wide and 15 cm wide has a cooling load value of 17.57 Watt at 50°C temperature test. The design of the cooling box was carried out with three designs. The first design of the cooling box using heat exchangers and an integrated thermoelectric water block on the outside of the cooling box can withstand an increase in temperature of $\pm 34.5^{\circ}\text{C}$. The second design of this cooler using heat exchangers and thermoelectric integrated with water block installed in cooler box can withstand temperature at $\pm 35.5^{\circ}\text{C}$. The third design on the outside of the box along with the inside of the box will use a heat exchanger, can withstand the temperature rise $\pm 28.5^{\circ}\text{C}$. In each design, the cooling box can withstand temperatures not exceeding the highest ambient temperature for electronic devices of 40°C .

Keywords: *Electronic device, Ambient temperature, Thermoelectric, Heat exchanger*

1. Pendahuluan

Perangkat elektronik memiliki batas temperatur ambient antara -20°C hingga $+40^{\circ}\text{C}$ berdasarkan IEC 60079-0 untuk mencegah potensial meledak pada perangkat [1]. Kegagalan perangkat yang disebabkan temperatur menempati peran tertinggi yaitu 55% berdasarkan survey US *air force* oleh karena itu *thermal management* pada perangkat elektronik tidak dapat diabaikan [2]. Salah satu perangkat elektronik yang berada pada *green house* biasanya memiliki temperatur ruangan tertinggi pada pukul 12.00 mencapai suhu 47°C [3]. Hal ini akan memperengaruhi kinerja perangkat elektronik yang berada pada *green house* tersebut. Metode yang digunakan dalam pendinginan pada sebuah elektronik biasanya disesuaikan dengan karakteristik perangkat elektroniknya, dengan pendingin *heatsink cooling fan* dan cairan pendingin [4,5]. Moin Ahmad S. Shaikh dan M.K. Chopra 2014, mereview penggunaan *thermoelectric refrigerator* yang dilakukan oleh berbagai penelitian untuk meningkatkan kinerja pendinginan pada beberapa perangkat pendingin, penggunaan *thermoelectric* dapat disetarakan dengan pendingin konvensional apabila digunakan 22 buah *thermoelectric* [6]. Matthew M. Barry dkk, 2014, telah meneliti

kinerja *thermoelectric cooler* yang terintegrasi dengan *heat exchanger* pada bagian panas sehingga meningkatnya performa dari *thermoelectric* saat terjadinya pertukaran panas antara sisi panas *thermoelectric* dengan *heat exchanger* [7].

Pada penelitian ini dikembangkan sebuah kotak pendingin dengan pengkondisian temperatur pendingin lebih kecil dari batas tertinggi temperatur *ambient* pertangkat elektronik. Perancangan kotak pendingin dilakukan dengan tiga rancangan dengan rancangan pertama kotak pendingin tersebut menggunakan *heat exchanger* dan *Thermoelectric* yang terintegrasi *water block* pada bagian luar kotak pendingin, rancangan yang kedua dimana *Thermoelectric* yang terintegrasi dengan *water block* dipasang didalam kotak pendingin, dan rancangan ketiga bagian luar kotak serta bagian dalam kotak akan menggunakan *heat exchanger*. Temperatur *green house* yang panas akan didapat dari kotak pemanas yang dipasang *heater* berupa dua buah lampu. Diharapkan temperatur pada kotak pendingin tidak melebihi temperatur *ambient* tertinggi untuk perangkat elektronik yaitu lebih kecil dari 40°C.

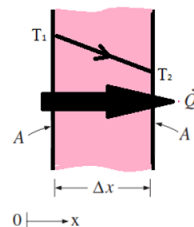
2. Dasar Teori

2.1. Perpindahan panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut dari temperatur fluida yang lebih tinggi ke fluida yang memiliki temperatur yang lebih rendah. Perpindahan panas umumnya dibedakan menjadi tiga yaitu perpindahan: konduksi, konveksi, radiasi [5]. Pada perancangan alat ini hanya terjadi perpindahan panas secara konduksi dan konveksi.

2.1.1. Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah mekanisme perpindahan energy tanda disertai dengan perpindahan molekul. Perpindahan panas secara konduksi terjadi pada suatu objek yang memiliki perbedaan temperatur maka kontak fisik diantara kedua objek [4]. Pada Gambar 1 laju konduksi yang melalui medium dipengaruhi oleh ketebalan dan bahan medium, serta perbedaan temperatur antar dua sisi medium.



Gambar 1 Konduksi pada bidang datar ketebalan Δx dan luas A

Dasar dari perpindahan panas secara konduksi adalah hukum *fourier*. Hukum ini menyatakan bahwa perpindahan panas berbanding lurus dengan gradien temperatur, luas permukaan, dan jenis bahan. Sehingga secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut [4] Persamaan 1.

$$q_{kond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Dengan: q_{kond} = laju perpindahan panas dengan cara konduksi (W)

A = luas perpindahan panas (m^2)

dT = gradien suhu pada penampang (K)

dx = jarak dalam arah aliran panas (m)

k = konduktivitas *thermal* bahan (W/mK)

2.1.2. Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi akibat adanya pergerakan molekul pada suatu zat, hal tersebut yang mengakibatkan perpindahan panas secara konveksi. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas [2]. Perpindahan panas secara konveksi dapat terjadi secara alami dan buatan. Konveksi alami yaitu dimana perpindahan panas yang dipengaruhi oleh fluida yang terjadi tanpa adanya paksaan atau faktor kesengajaan hanya dipengaruhi dari perbedaan temperatur antara permukaan benda dengan fluida pada permukaan benda. Sedangkan konveksi paksa merupakan peristiwa konveksi dengan mengalirkan fluida secara sengaja di sekitar permukaan benda. Perhitungan laju perpindahan panas konveksi dapat dinyatakan dengan Hukum Pendinginan Newton, seperti pada persamaan 2.

$$\dot{Q}_{konv} = h A_S (T_S - T_\infty) \text{ (Watt)} \quad (2)$$

Dengan:

- \dot{Q}_{konv} = laju perpindahan panas secara konveksi (Watt)
- h = koefisien konveksi (W/m²)
- A_S = luas permukaan perpindahan panas secara konveksi (m²)
- T_S = temperatur permukaan
- T_∞ = temperatur lingkungan permukaan

Pada penelitian ini yang terjadi adalah konveksi secara alami sehingga koefisien perpindahan panas dipengaruhi oleh beberapa parameter bilangan tak berdimensi seperti bilangan grashof, bilangan prandtl, bilangan Rayleigh, dan bilangan nusselt. Bilangan grashof merupakan pendekatan rasio antara gaya apung dengan gaya viskos yang bekerja pada fluida. Bilangan grashof merupakan bilangan yang bertujuan untuk menentukan tipe aliran fluida pada konveksi alami bilangan tersebut dapat di definisikan pada persamaan 3. Bilangan prandtl merupakan rasio antara difusivitas momentum dengan difusitas termal dari fluida dinyatakan dengan persamaan 4. Bilangan Rayleigh menunjukan besar gaya apung dan gaya viskositas pada konveksi alami dapat dihitung dengan perkalian antara bilangan grashof dan bilangan prandtl pada persamaan 5. Bilangan Nusselt adalah bilangan tak berdimensi yang merupakan rasio perpindahan panas antara konveksi dan konduksi dapat dinyatakan dengan persamaan 6.

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_S - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} \quad (3)$$

$$Pr = \frac{\text{difusivitas momentum}}{\text{difusitas termal}} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (4)$$

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g \beta (T_S - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} P \quad (5)$$

$$Nu = \frac{h L_c}{k} = C (Gr_L Pr)^n = C Ra_L^n \quad (6)$$

2.2. Heat Exchanger

Heat exchanger adalah sebuah perangkat yang memfasilitasi perpindahan kalor antara dua buah medium lainnya yang tercampur pada suhu yang berbeda. Berbagai jenis keperluan kalor dibutuhkan pada aplikasi-aplikasi tertentu. Nilai laju kalor aktual pada *heat exchanger* dapat didapat dari nilai temperatur fluida yang masuk dan keluar pada *heat exchanger* yang diukur secara langsung. Pada keluaran fluida panas dengan menggunakan persamaan 7 dan pada keluaran fluida dingin menggunakan persamaan 8.

$$\dot{Q} = C_h (T_{h, in} - T_{h, out}) \quad (7)$$

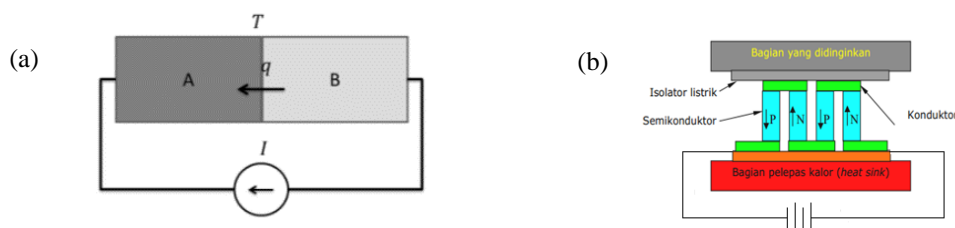
$$\dot{Q} = C_c (T_{c, out} - T_{c, in}) \quad (8)$$

dengan

- \dot{Q} = laju kalor aktual penukar kalor (W)
- C_h = kapasitas kalor fluida panas (J/s °C)
- $T_{h, in}$ = suhu masuk fluida panas (°C)
- $T_{h, out}$ = suhu keluar fluida panas (°C)
- C_c = kapasitas kalor fluida dingin (J/s °C)
- $T_{c, in}$ = suhu masuk fluida dingin (°C)
- $T_{c, out}$ = suhu keluar fluida dingin (°C)

2.3. Termoelektrik

Termoelektrik merupakan alat yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya dari energi listrik menjadi perbedaan temperatur pada dua sisi bahan. Prinsip kerja dari *Thermoelectric Cooler* ini berdasarkan pada efek Peltier. Efek Peltier terjadi ketika arus DC yang dialirkan pada termoelektrik, maka salah satu sisi dari termoelektrik menjadi dingin dan sisi lainnya menjadi panas. Perubahan suhu pada kedua sisi termoelektrik tersebut tergantung dari aliran arus listrik yang diberikan.



Gambar 2 *Thermoelectric Cooler* (a) logam (b) semikonduktor

Pada gambar 2 (a) menunjukkan *Thermoelectric cooler* yang terbuat dari logam. Efek Peltier merupakan fenomena utama yang diterapkan dalam *thermoelectric cooler* yaitu terjadinya aliran kalor pada dua jenis logam

dikarenakan adanya liran arus listrik. Fenomena ini merupakan kebalikan dari efek Seebeck yaitu munculnya beda potensial listrik jika terdapat perbedaan suhu antara dua sisi bahan. Fenomena Efek Peltier pada Gambar 2 (b) saat semikonduktor tipe p terhubung ke beda potensial negatif, hole akan berkumpul menuju bagian yang terhubung dengan elektroda negatif. Sebaliknya pada bagian semikonduktor tipe n terhubung ke beda potensial positif, elektron akan berkumpul menuju bagian yang terhubung dengan elektroda positif.

Agar mencapai kesetimbangan, muatan-muatan akan melepas energi dalam bentuk panas keluar lingkungan. Sehingga bagian yang terhubung dengan elektroda akan menjadi sisi panas termoelektrik. Nilai jumlah kalor yang dilepaskan sisi panas sama dengan nilai kalor yang diserap ditambah dengan daya yang diberikan pada termoelektrik.

$$q_{em} = q_{abs} + P_{in} \quad (7)$$

Dimana: q_{em} = Laju kalor yang dilepaskan sisi panas termoelektrik (Watt)
 q_{abs} = Laju kalor yang diserap sisi dingin suatu termoelektrik (Watt)
 P_{in} = Daya input pada suatu termoelektrik (Watt)

Pada sebuah termoelektrik kalor yang diserap dan dilepas pada sisi bagian suatu termoelektrik dapat dihitung dengan:

$$q_{abs} - \alpha_m T_c I = -\frac{T_c - T_h}{\theta_m} - \frac{I^2 R_m}{2} \quad (8)$$

$$q_{em} - \alpha_m T_h I = -\frac{T_c - T_h}{\theta_m} + \frac{I^2 R_m}{2} \quad (9)$$

Dengan: α_m = Koefesien Seebeck sisi termoelektrik (V.K⁻¹)
 q_{abs} = Laju kalor yang diserap pada sisi bagian dingin (W)
 q_{em} = Laju kalor yang dilepas pada sisi bagian panas (W)
 I = Arus yang mengalir dalam sambungan termoelektrik (A)
 T_h = Temperatur panas (K)
 T_c = Temperatur dingin (K)
 R_m = Hambatan pada termoelektrik (Ω)
 θ_m = Hambatan termal (K W⁻¹)

Menggunakan data T_h , ΔT_{max} , U_{max} , dan I_{max} dari datasheet pada termoelektrik dapat menemukan parameter pada persamaan 2.18 dan persamaan 2.19 yang belum diketahui:

$$\alpha_m = \frac{U_{max}}{T_h} \quad (10)$$

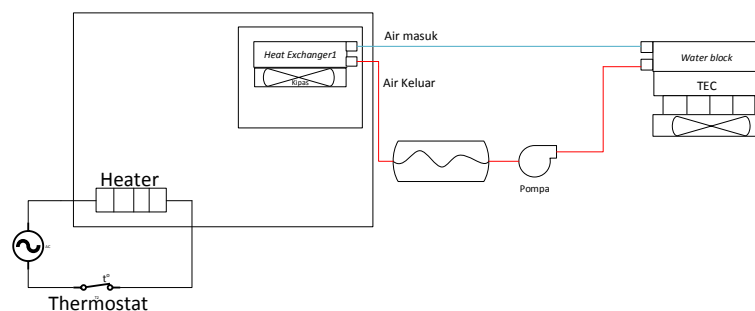
$$R_m = \frac{U_{max}}{I_{max}} \frac{(T_h - \Delta T_{max})}{T_h} \quad (11)$$

$$\theta_m = \frac{\Delta T_{max}}{I_{max} U_{max}} \frac{2T_h}{(T_h - \Delta T_{max})} \quad (12)$$

Dengan : U_{max} = Nilai tegangan pada saat arus maksimal (V)
 ΔT_{max} = Selisih temperatur maksimal pada datasheet termoelektrik
 R_m = Hambatan pada termoelektrik (Ω)
 θ_m = Hambatan termal (K W⁻¹)
 T_h = Temperatur panas (K)

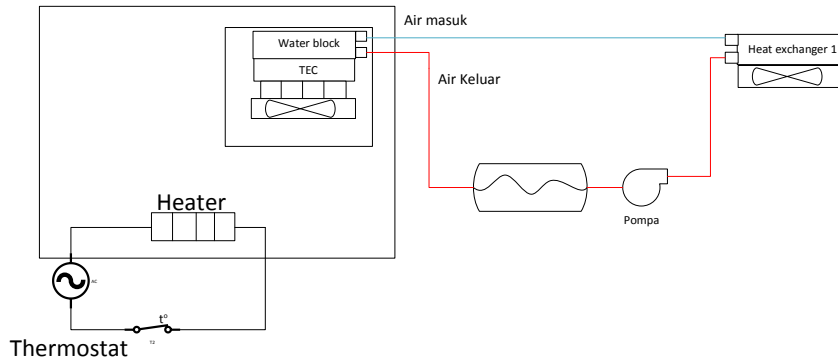
3. Pembahasan

Perancangan sistem pada kotak pendingin menggunakan tiga buah rancangan. Pada perancangan model pertama kotak pendingin beserta heat exchanger didalam kotak pendingin akan dimasukkan pada kotak pemanas dan termoelektrik akan berada diluar kotak pemanas seperti pada gambar 3



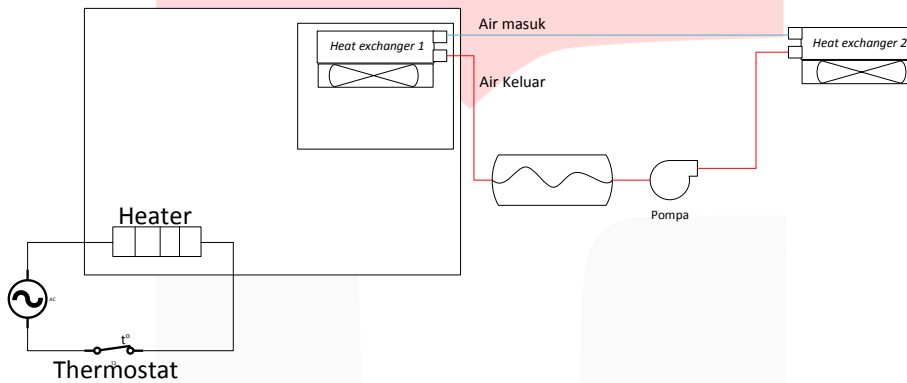
Gambar 3 Skema Pemanas dengan Perancangan model pertama

Pada perancangan kedua kotak pendingin beserta termoelektrik didalamnya akan dimasukkan pada kotak pemanas. Heat exchanger akan berada diluar kotak pemanas seperti pada gambar 4 sehingga heat exchanger yang diluar kotak akan bertukar kalor dengan udara lingkungan ruangan.



Gambar 4 Skema Pemanas dengan Perancangan model kedua

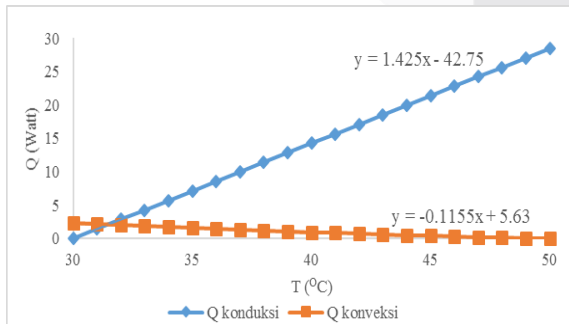
Pada perancangan yang ketiga kotak pendingin beserta heat exchanger pertama yang berada dalam kotak pemanas akan dimasukkan kedalam kotak pemanas. Heat exchanger kedua akan berada diluar kotak pemanas seperti pada gambar 5 sehingga heat exchanger kedua akan bertukar kalor dengan udara lingkungan ruangan.



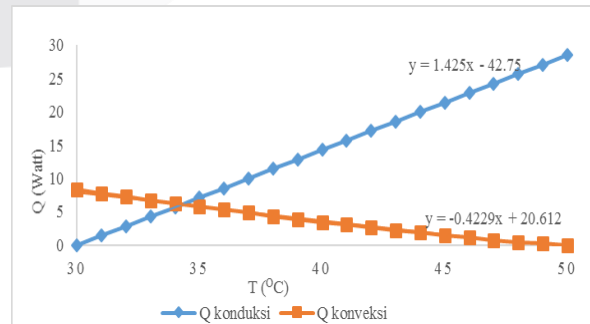
Gambar 5 Skema Pemanas dengan Perancangan Model Ketiga

3.1. Perhitungan Beban Pendingin

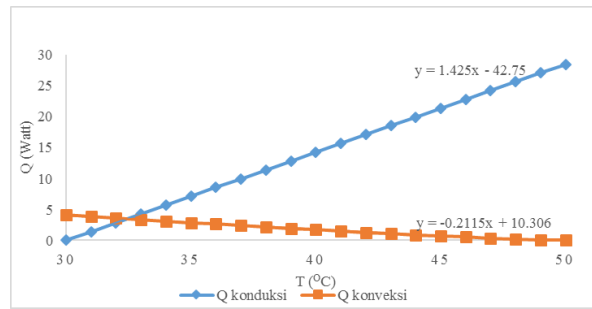
Perhitungan beban pendingin atau cooling load dilakukan dengan persamaan perpindahan panas untuk mengetahui besar beban pendinginan yang dibutuhkan kotak pendingin. Perhitungan beban pendingin ini dilakukan dengan menghitung setiap sisi bagian kotak. Perpindahan panas terjadi pada kotak pendingin dikarenakan adanya perbedaan temperatur dalam kotak pendingin dan temperatur luar kotak pendingin (temperatur lingkungan) yang terjadi secara konduksi dan konveksi. Perhitungan dilakukan dengan mengkondisikan batas temperatur lingkungan tertinggi 50°C menuju temperatur yang dituju pada kotak pendingin sebesar 30°C.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6 (a) Grafik perpotongan Nilai konveksi dan konduksi pada bagian vertikal, (b) Grafik perpotongan Nilai Konveksi dan Konduksi pada Bagian Akrilik Atas, (c) Grafik perpotongan Nilai Konveksi dan Konduksi pada Bagian Akrilik Bawah

Pada Gambar 6 (a) didapatkan nilai temperatur permukaan sebesar 31,41°C dan nilai kalor dari permukaan vertikal akrilik adalah 2,003 watt. Pada nilai kalor permukaan akrilik vertikal terdapat 4 bagian yaitu depan, belakan, kanan, dan kiri sehingga nilai kalor keseluruhan dari bagian vertikal adalah 8,0012. Pada gambar 6 (b) didapatkan nilai temperatur permukaan sebesar 34,289°C dan nilai kalor dari permukaan vertikal akrilik adalah 6,1113 watt. Pada Gambar 6 (c) didapatkan nilai temperatur permukaan sebesar 32,42°C dan nilai kalor dari permukaan vertikal akrilik adalah 3,449 watt. Sehingga beban pendinginan total dapat dijumlahkan sebagai berikut:

$$\dot{Q}_{total} = 8,011 + 6,111 + 3,449 = 17,57 \text{ Watt}$$

Total dari beban pendinginan pada alat pendingin elektronik dengan dimensi 15 x 15 x 15 cm dengan tebal 3 mm ini adalah 17,57 watt. Sedangkan besar laju kalor serap dari satu buah peltier dapat kita hitung dengan persamaan 2.18.

$$q_{abs} - \alpha_m T_c I = -\frac{T_c - T_h}{\theta_m} - \frac{I^2 R_m}{2} = 20,245 \text{ watt}$$

Dengan: $\alpha_m = \frac{U_{max}}{T_h} = 0,0507 \text{ V/}^\circ\text{C}$

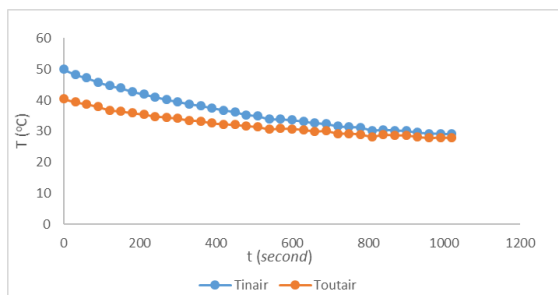
$$R_m = \frac{U_{max}}{I_{max}} \frac{(T_h - \Delta T_{max})}{T_h} = 1,967 \Omega$$

$$\theta_m = \frac{\Delta T_{max}}{I_{max} U_{max}} \frac{2T_h}{(T_h - \Delta T_{max})} = 1,861 \text{ K/W}$$

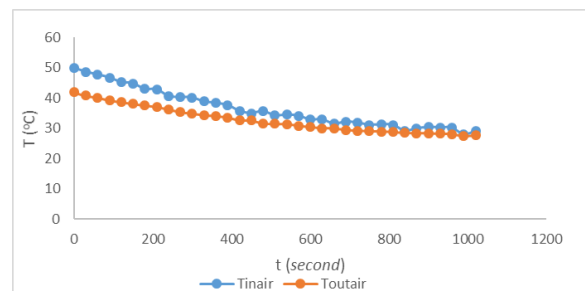
Dari perhitungan tersebut menunjukkan satu buah peltier mampu menyerap kalor sebesar 20,245 watt pada kondisi yang di tetapkan sesuai kondisi pada kotak pendingin. Kotak pendingin yang memiliki beban pendingin sebesar 17,57 watt masih lebih kecil dari besar kalor yang diserap oleh peltier sehingga memungkinkan dengan hanya satu termoelektrik saja.

3.2. Pengujian Heat Exchanger

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari heat exchanger pertama dengan dimensi 154 x 118 x 30 mm dan heat exchanger kedua dengan dimensi 100 x 80 x 35 mm. Pengujian dilakukan pada kedua heat exchanger dengan memberikan temperatur fluida air 50°C hingga 30°C. Fluida air yang telah dipanaskan dialirkan ke *heat exchanger* menggunakan pompa dengan tekanan 500mlpm



(a)



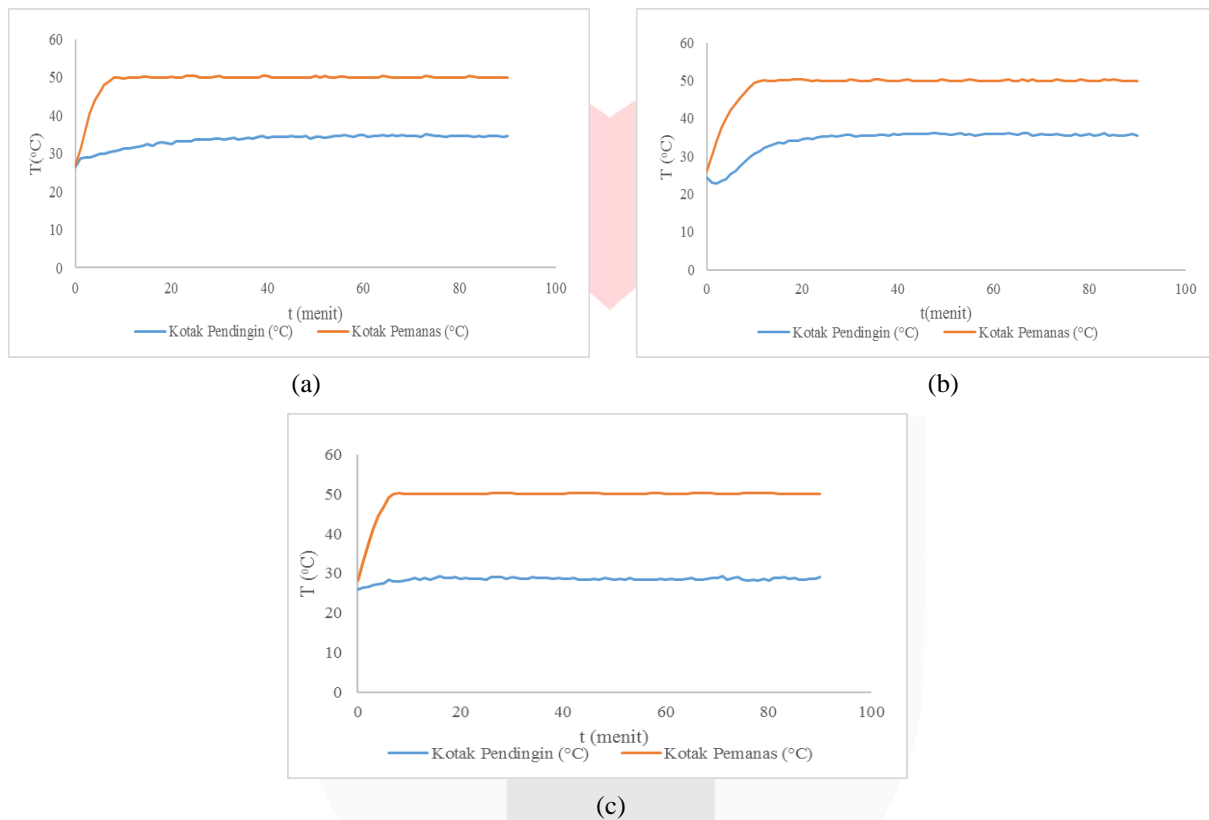
(b)

Gambar 7 (a) Hasil Karakteristik Heat exchanget pertama, (b) hasil karakteristik heat exchanger kedua

Temperatur air yang masuk saat 50°C menjadi $40,4^{\circ}\text{C}$ dengan selisih 9,6 dengan nilai rata-rata laju kalor aktual (\dot{Q}) dari heat exchanger tersebut dari temperatur tertinggi 50°C adalah 1427,94 Watt. Temperatur air yang masuk saat 50°C menjadi 42°C dengan selisih 8 dengan nilai rata-rata laju kalor aktual (\dot{Q}) dari heat exchanger tersebut dari temperatur tertinggi 50°C dapat dihitung dari Persamaan 2.8 adalah 1317,63 Watt.

3.3. Pengujian Alat Pendingin

Pengujian alat pendingin dilakukan sebanyak tiga kali berdasarkan perancangan yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan menyalakan bersamaan antara kotak pemanas dan kotak pendingin. Pada setiap perancangan yang dibuat dilakukan pengujian selama 90 menit hingga nilai temperatur pada kotak pemanas dan temperatur pada kotak pendingin menjadi stabil. Pada pengujian kotak pendingin, temperatur didapat dari data logger HUATO *Thermocouple* type-T dengan pengambilan data setiap 1 menit, sedangkan pada kotak pemanas nilai temperatur dapat dilihat dari termostat digital yang terpasang lalu direkam secara manual untuk setiap menitnya.



Gambar 8 (a) Pegujian Model Pertama, (b) Pegujian Model Kedua, (c) Pegujian Model Ketiga

Pada ketiga pengujian pada setiap perancangan, pengujian yang memiliki nilai temperatur terkecil adalah model perancangan ketiga Gambar 8(c) dimana pada perancangan tersebut dapat menahan temperatur pendingin hingga $\pm 28,5^{\circ}\text{C}$ dengan waktu tunak 12 menit lebih kecil dari model lainnya. Pada model perancangan pertama Gambar 8 (a) temperatur kotak pendingin dapat bertahan pada nilai $\pm 34,5^{\circ}\text{C}$ dengan waktu tunak 36 menit. Perancangan kedua Gambar 8 (b) dapat menahan temperatur $\pm 35,5^{\circ}\text{C}$ dengan waktu tunak 32 menit. Maka Perancangan yang paling efektif adalah perancangan ketiga karena besar temperatur yang kecil dan waktu tunak yang paling kecil. Pada Perancangan ketiga nilai temperatur penurunan kotak akan tergantung dengan nilai temperatur lingkungan yang bertukar kalor dengan *heat exchanger* tersebut. Sedangkan pada perancangan pertama dan kedua nilai temperatur tergantung dari besar laju kalor serap TEC, semakin besar laju kalornya maka akan semakin dingin kotak pendinginnya dan semakin cepat juga proses pendinginannya.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Beban pendingin total pada perancangan kotak pendingin untuk perangkat elektronik berbahan dasar akrilik yang memiliki tebal 3 mm dengan dimensi panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm adalah 17,57 Watt saat temperatur lingkungan pada kotak pendingin menunjukkan nilai 50°C.
2. Sudah merancang dan merealisasikan pendingin perangkat elektronik pada penelitian ini dengan temperatur kotak pendingin dibawah temperatur ambient elektronik sebesar $\pm 34,5^{\circ}\text{C}$, $\pm 35,5^{\circ}\text{C}$, dan $\pm 28,5^{\circ}\text{C}$.
3. Berdasarkan hasil pengujian pada alat pendingin untuk elektronik model ketiga memiliki nilai temperatur paling rendah sebesar $\pm 28,5^{\circ}\text{C}$ dengan waktu tunak terkecil 12 menit sehingga lebih baik dari model lainnya dalam proses pendinginan elektronik.

Daftar Pustaka

- [1] G. S. P. T. Brian Keane, "Electronical equipment in cold weather application," *white paper WP083007EN*, 2013.
- [2] N. Pascoe, *Reliability Technology principles and practice of failure prevention in electronic systems*, Southern Gate, Chichester West Sussex: Wiley, 2011.
- [3] S. Wahono, S. and e. yohana, "EKSPERIMEN PENGATURAN SUHU DAN KELEMBABAN PADA RUMAH TANAMAN (GREENHOUSE) DENGAN SISTEM HUMIDIFIKASI," *TEKNIK MESIN*, vol. 2, p. 1, 2014.
- [4] Y. A. Cengel, *Heat Transfer*, Higher Education, 2002.
- [5] e. ayli, c. turk and s. aradag, "Experimental Investigation of Cooling of Electronic Equipment," *international journal of material, mechanic and manufacturing*, vol. 1, p. 2, 2013.
- [6] Moin Ahmad S. Shaikh dan M.K. Chopra, 2014, *An Extensive Review on Thermoelectric Refrigerator*, *International Journal of Scientific Progress and Reaseach*, Vol. 6 no. 1, pp 7-11.
- [10] Matthew M. Barry, Kenechi A. Agbim, Minking K. Chyu, 2014, *Performance a Thermoelectric Device with integrated Heat Exchanger*, *Journal of Electronic Materials*, Vol.44 no. 6