RANCANG BANGUN SISTEM REFRIGERASI TERMOELEKTRIK DAN SIMULASI DISTRIBUSI TEMPERATUR MENGGUNAKAN COMSOL MULTIPHYSICS

TERMOELECTRIC REFRIGERATION SYSTEM DESIGN AND SIMULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION USING COMSOL MULTIPHYSICS

Dian Gunawan[1], Ismudiati Puri Handayani[2], Tri Ayodha Ajiwiguna[3]

[1,2,3]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]diangunawan@telkomuniversity.ac.id, [2]iphandayani@telkomuniversity.ac.id,
[3]triayodha@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Proses refrigerasi adalah proses penarikan kalor dari suatu benda atau ruangan ke lingkungan sehingga temperatur benda atau ruangan tersebut lebih rendah dari temperatur lingkungannya. Pada kehidupan sehari hari refrigerasi yang banyak digunakan adalah sistem kompresi uap berukuran besar dan berpotensi menimbulkan perusakan lapisan ozon. Pada penelitian ini dirancang sistem pendingin yang ramah lingkungan dengan menggunakan termoelektrik, suatu perangkat yang mengubah tegangan listrik menjadi suatu perbedaan suhu diantara kedua sisi termoelektrik. Pada penelitian ini sistem pendingin terdiri atas kotak berukuran 11 x 11 x 14 cm yang terbuat dari *styrofoam*, termoelektrik, *heat sink*, kipas luar dan kipas dalam. Proses pendinginan terjadi dengan memanfaatkan sisi dingin termoelektrik dan mendistribusikan kalor pada sisi panas melalui proses konduksi dan konveksi. Selanjutnya sistem pendingin diuji dengan variasi tegangan dari 2 V – 12 V selama 30 menit. Dari hasil pengujian, tegangan 12 V dapat menurunkan suhu hingga 10.7 °C . Kemudian sistem dimodelkan menggunakan *COMSOL* untuk mengetahui distribusi suhu pada sistem. Hasil pemodelan distribusi suhu di dalam sistem, terlihat bahwa saat keadaan tunak suhu di dalam sistem pendingin memiliki rata rata 11 °C dan tercapai dalam waktu 1800 detik. Proses pendinginan bisa lebih diefektifkan jika proses distribusi panas ke lingkungan lebih baik. Hal ini terlihat dari hasil simulasi suhu yang menghasilkan suhu rata-rata mendekati 0 °C pada saat sisi panas termoelektrik 30 °C.

Kata kunci: Refrigerasi, termoelektrik, *COMSOL®*

Abstract

Refrigeration process is a process of heat transfer from an object or a room into surrounding environment so that the room or object temperature is lower than the temperature of its surrounding. In our daily lives vapor compression refrigeration system which potentially causes the destruction of ozone layer is widely used. This final project designs and implements a cooling system which is environmentally friendly by using thermoelectric cooler modul (TEC), a device that converts electrical voltage into a temperature differences between the two sides of the thermoelectrics. In this final project, the cooling system consists of a styrofoam box with a size of 11 x 11 x 14 cm , a TEC , a heat sink, an external fan, and an internal fan. The cooling process in side the box is generated by the cold side of the TEC while the heat distribution in the hot side of TEC occurs via conduction and convection process. Furthermore, the effect of electric input to the cooling process is tested by a voltage variation of 2 V – 12 V for 30 minutes. It is observed that the voltage of 12 V is able to decrease the temperature down to 10.7° C. The system is modeled using COMSOL to describe the temperature distribution in the system. It is found that the steady state has an average temperature of 11° C which is achieved within 1800 seconds. The cooling process can be more effective if a better heat distribution to the environment is created. The simulaion shows that an average temperature of 0° C is achieved if the hot side of the TEC is set to 30° C.

Keywords: Refrigeration, thermoelectric, COMSOL®

1. Pendahuluan

Refrigerasi merupakan suatu proses penarikan kalor dari suatu benda atau ruangan ke lingkungan sehingga temperatur benda atau ruangan tersebut lebih rendah dari temperatur lingkungannya. Sesuai dengan konsep kekekalan energi, panas tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat dipindahkan. Salahsatu contoh dari sistem refrigerasi ini adalah siklus kompresi uap. Sistem refrigerasi kompresi uap sangat umum digunakan dalam kehidupan sehari hari untuk proses pendinginan. Namun sistem refrigerasi kompresi uap ini banyak menimbulkan masalah seperti perusakan lapisan ozon yang berbahaya bagi kesehatan manusia, membutuhkan ruang yang cukup besar untuk menyimpan sistem ini, dan kerja kompresor yang bising.. Dari semua sistem refrigerasi di atas, penelitian ini berfokus pada sistem refrigerasi dengan menggunakan termoelektrik, dengan alasan ramah lingkungan dan *low cost* dalam membuat sistem refrigerasi dengan termoelektrik [1].

Termoelektrik merupakan suatu perangkat yang mengubah secara langsung dari energi kalor menjadi energi listrik dan berlaku untuk proses sebaliknya. Termoelektrik menghasilkan tegangan ketika terjadi perbedaan temperatur pada sisi termoelektrik. Sebaliknya, ketika tegangan diberikan pada termoelekrik, maka akan

menghasilkan suatu perbedaan temperatur. Termoelektrik juga dapat memompa kalor dari satu sisi ke sisi yang lain tergantung arus listrik yang mengalir pada suatu termoelektrik [2].

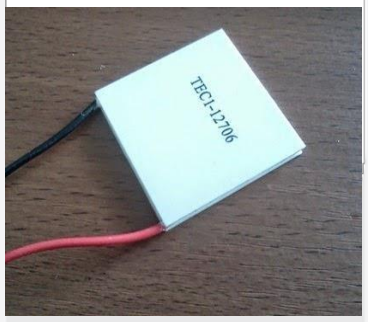
Termoelektrik digunakan sebagai *thermoelectric cooler* berdasarkan pada efek Peltier untuk mengubah arus listrik menjadi sebuah perbedaan temperatur pada termoelekrik ketika tegangan listrik DC diaplikasikan pada *thermoelectric cooler*. Pada umumnya, refrigerasi dengan efek peltier tidak membutuhkan perawatan lebih dibandingkan dengan kompresi uap karena tidak terlalu banyak komponen yang digunakan pada sistem refrigerasi tersebut. Selain itu, tidak ada getaran yang dihasilkan oleh proses refrigerasi tersebut dibandingkan dengan menggunakan kompresi uap. Sistem refrigerasi ini juga sangat mudah dibuat dan tidak mengeluarkan banyak uang untuk membeli komponennya. Bila dibandingkan dengan refrigerasi menggunakan kompresi uap,refrigerasi ini sangat ramah lingkungan [3]. Namun disamping kelebihan yang dimiliki sistem refrigerasi dengan efek Peltier ini,terdapat kekurangannya. Pada sistem pendingin berbasis termoelektrik ini memiliki nilai COP yang kecil dalam beberapa penelitian [4] [5] [6]. Hal tersebut menyebabkan suhu dingin yang dihasilkan oleh sistem pendingin ini tidak terlalu rendah. Suhu dingin yang dapat dihasilkan dari termoelektrik ini berkisar dari 228 K – 300 K [4] [7].

Dalam penelitian kali ini akan merancang sebuah sistem pendingin berbasis termoelektrik dan akan mengimplementasikan pada sebuah *prototype* sistem pendingin termoelektrik. Setelah sistem pendingin berbasis termoelektrik diimplementasikan, kemudian akan dimodelkan dalam aplikasi *COMSOL Multiphysics* untuk mengetahui penyebaran suhu pada sistem pendingin berbasis termoelektrik tersebut untuk mendapatkan proses pendinginan yang optimal. Dalam penelitian kali ini akan merancang sebuah sistem pendingin berbasis termoelektrik dan akan mengimplementasikan pada sebuah *prototype* sistem pendingin termoelektrik. Setelah sistem pendingin berbasis termoelektrik diimplementasikan, kemudian akan dimodelkan dalam aplikasi *COMSOL Multiphysics*. Proses pemodelan ini meliputi penyebaran suhu di luar kotak pendingin, penyebaran di dalam kotak pendingin, pengaruh suhu panas termoelektrik dan pengaruh *heatsource*. Hasil pemodelan tersebut akan membantu penelitian untuk mengoptimalkan kotak pendingin.

2. Dasar Teori

2.1 Termoelektrik

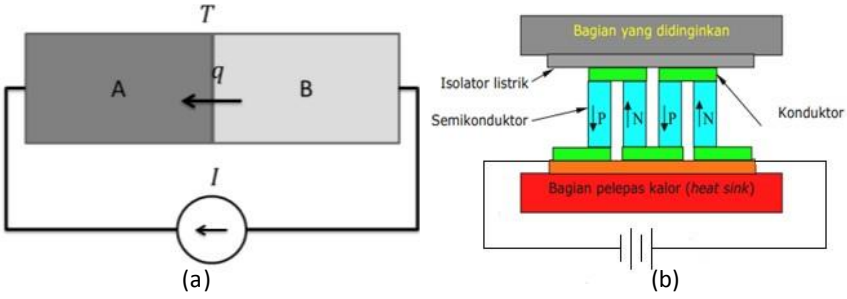
Termoelektrik yaitu suatu alat yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya dari energi listrik menjadi perbedaan temperatur pada dua sisi bahan. Termoelektrik dapat diaplikasikan untuk *thermoelectric generator* (sebuah pembangkit listrik), dan *thermolectric cooling* yang mengubah energi listrik menjadi perbedaan suhu untuk digunakan sebagai pendingin. [2].



Gambar 1 Termoelektrik TEC1-12706.

2.2 *Thermoelectric Cooler* (TEC)

Prinsip kerja *Thermoelectric Cooler* ini didasarkan pada efek Peltier. Ketika arus DC dialirkan pada termoelektrik, maka akan mengakibatkan salah satu sisi termoelektrik menjadi dingin (kalor diserap) dan sisi lainnya menjadi panas (kalor dilepaskan). Sisi termoelektrik yang menjadi panas maupun dingin tergantung dari arah aliran arus listrik[1].



(a) (b)

Gambar 2 Thermoelectric Cooler yang terbuat dari (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*. Fenomena ini merupakan kebalikan dari efek Seebeck, yaitu terjadinya aliran kalor pada dua jenis logam dikarenakan adanya aliran arus listrik. Gambar 2(b) 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.

$$q_{em} = q_{abs} + P_{in} \quad \text{…….. ……..} \quad (1)$$

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)

Kalor yang diserap atau dibuang dapat dihitung dari kedua sisi, dapat dihitung dengan :

$$q = \pi_{AB} I \quad \text{…….. ……..} \quad (2)$$

Dengan :

π_{AB} = koefisien Peltier kedua sisi termoelektrik
q = besar kalor yang diserap atau dibuang tergantung sambungan (W)
I = arus yang mengalir dalam sambungan termoelektrik (A)

Koefisien Peltier diatas berhubungan dengan koefisien Seebeck, sehingga hubungan tersebut dapat ditulis secara matematis dengan :

$$\pi_{AB} = \alpha_{AB} T \quad \text{…….. ……..} \quad (3)$$

Dengan :

π_{AB} = koefisien Peltier kedua sisi termoelektrik
α_{AB} = koefisien Seebeck kedua sisi termoelektrik
T = suhu kedua sisi (K)

2.3 Perpindahan panas

Perpindahan kalor sistem refrigerasi terjadi dengan cara konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi pada dinding ruangan pendingin dan konveksi terjadi pada bagian dalam sistem refrigerasi ini.. Perpindahan kalor yang terjadi secara konduksi adalah perpindahan suatu kalor tanpa diikuti oleh perpindahan dari molekul benda tersebut. Perpindahan kalor secara konduksi terjadi dari energi besar menuju ke energi yang rendah [4]. Secara matematis perpindahan kalor konduksi dapat ditulis dengan cara :

$$q = -k.A(T0 - T1)/\Delta x \quad \text{…….. ……..} \quad (4)$$

dengan :

q = energi kalor (W)
k = konduktivitas thermal (W/m.K)
A = luas penampang dalam arah normal (m²)
Δx = tebal penampang permukaan (m)
T_0 = temperatur tinggi (K)
T_1 = temperatur rendah (K)

Perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi akibat adanya pergerakan molekul pada suatu zat, gerakan inilah yang menyebabkan perpindahan kalor secara konveksi [4]. Perpindah konveksi dibagi menjadi dua jenis, yaitu konveksi secara alamiah dan konveksi paksaan. Konveksi secara alamiah terjadi karena perbedaan densitas dari suatu fluida tersebut. Sedangkan konveksi secara paksa terjadi karena gaya luar seperti dari kipas. Secara matematis perpindahan kalor secara konveksi dapat dituliskan dengan cara :

$$q = h.A_s(T_s - T_\infty) \quad \text{…….. ……..} \quad (5)$$

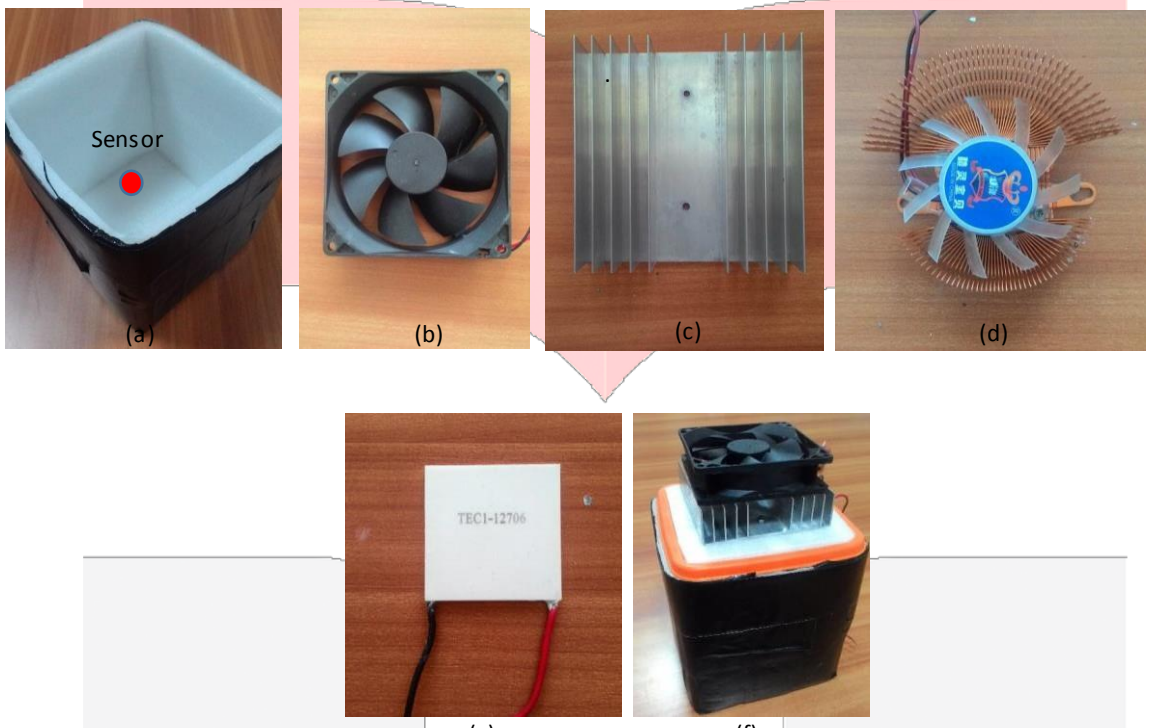
Dengan :

q = energi kalor (W)
h = koefisien perpindahan kalor secara konveksi (W/ m².K)

A_s = luas permukaan yang terkena aliran udara (m²)
T_s = temperature permukaan (K)
T_∞ = tempertur *ambient* (K)

3. Pembahasan

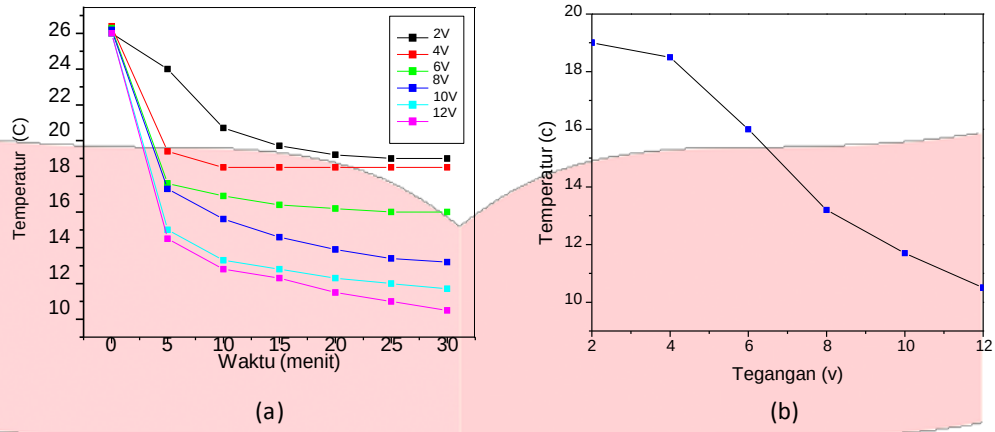
Realisasi sistem pendingin yang dibuat pada tugas akhir ini ditunjukkan oleh gambar 4



Gambar 4. Bahan Sistem pendingin insulasi (a), kipas luar (b), *heat sink* (c), kipas dalam (d), termoelektrik (e) dan sistem pendingin secara utuh (f)

Alat terdiri atas kotak insulasi (4a) yang berukuran 11x11x14 cm terbuat dari *polyfoam,* dilapisi lakban dan *alumunium foil* berfungsi untuk mengisolasi udara dingin didalam sistem pendingin. Kipas luar (4b) dengan kecepatan 2650 rpm berfungsi sebagai pembuang udara panas dari *heat sink* ke lingkungan secara konveksi. *Heat sink* (4c) berfungsi sebagai penyalur suhu panas pada termoelektrik secara konveksi yang selanjutnya akan dibuang secara konveksi ke lingkungan. Kipas dalam (4d) berfungsi sebagai pembantu proses penyebaran suhu dingin di dalam kotak pendingin secara konveksi. Termoelektrik (4e) berfungsi untuk menghasilkan suhu dingin di dalam kotak. Gambar (4(d) (e) (f) f) menunjukkan sistem pendingin secara utuh dengan ukuran 11 x11 x 14 cm.

Proses penurunan suhu dilakukan dengan variasi tegangan yang diberikan oleh catu daya dengan besar tegangan dimulai dari 2 V sampai 12 V DC dengan arus 0,96 A sampai 3.3A. Variasi tegangan tersebut hanya dilakukan dengan tegangan maksimal 12 V DC dikarenakan termolektrik hanya mampu bekerja dengan baik sampai maksimal tegangan 12 V. Pengambilan data tersebut dilakukan selama 30 menit dengan asumsi bahwa waktu 30 menit adalah waktu yang cukup untuk mendapatkan suhu yang relatif stabil .

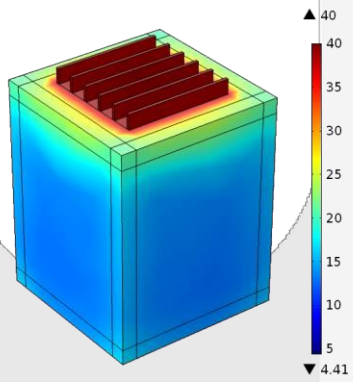


Gambar 5. Grafik suhu terhadap Waktu (a), suhu terhadap tegangan (b)

Gambar 5a. menjelaskan proses penurunan suhu selama 30 menit pada saat variasi tegangan dari 2V hingga 12V. Terlihat pada gambar 5b semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin kecil temperatur yang dihasilkan sistem tersebut dan semakin cepat waktu untuk menurunkan suhu sistem tersebut. Dengan hasil pengambilan data di atas, terlihat bahwa sistem pendingin tersebut sudah cukup bekerja dengan baik dengan mencapai suhu terendah sebesar 10.4 C. Setelah pengambilan data dari sistem pendingin, maka selanjutnya akan di lakukan pemodelan dengan menggunakan software Comsol Multiphysics. Pemodelan tersebut bertujuan untuk membandingkan data hasil pengujian dengan data hasil pemodelan.

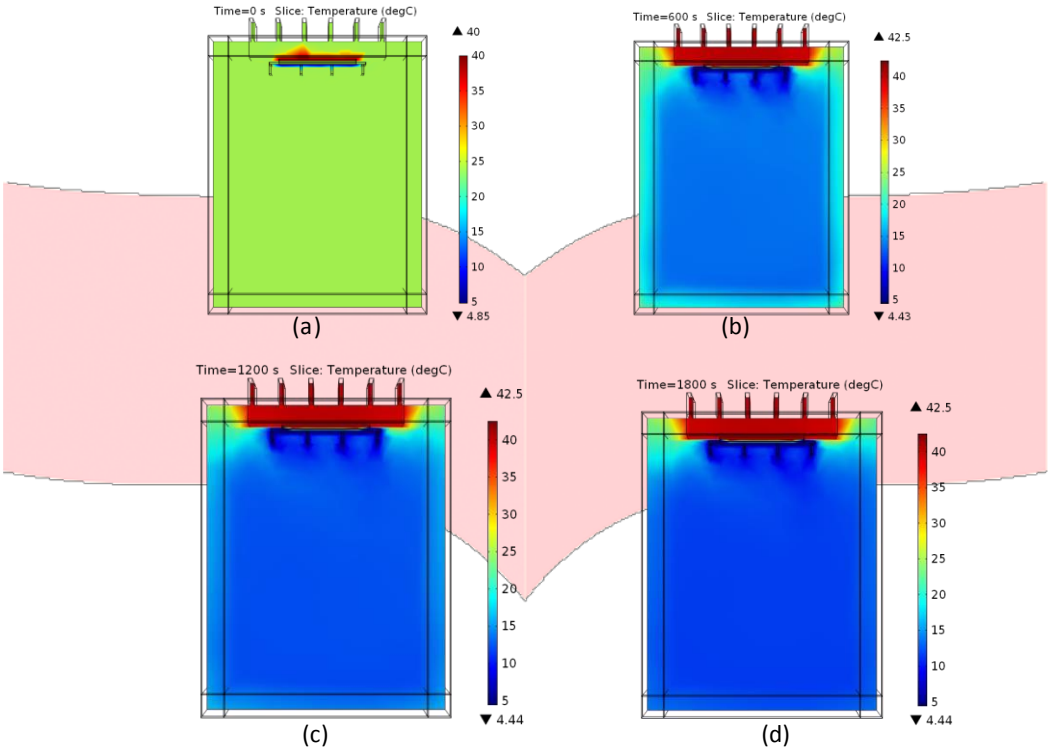
3.1 Pemodelan Distribusi Suhu

Untuk memodelkan sistem tersebut, ada beberapa kondisi yang harus didefinisikan dalam *software Comsol Multiphysics*. Kondisi tersebut adalah temperatur ruangan, temperatur termoelektrik dan insulasi sistem. Untuk kondisi temperatur, pada sistem ini ada dua temperatur yang didefinisikan, yaitu temperatur ruangan serta temperatur dari termoelektrik. Temperatur ruangan didefinisikan sebesar 27,13 ° C sedangkan untuk temperatur termoelektrik sebesar 5° C berdasarkan hasil eksperimen. Untuk hasil pemodelan dari sistem pendingin tersebut diperlihatkan pada gambar 6.



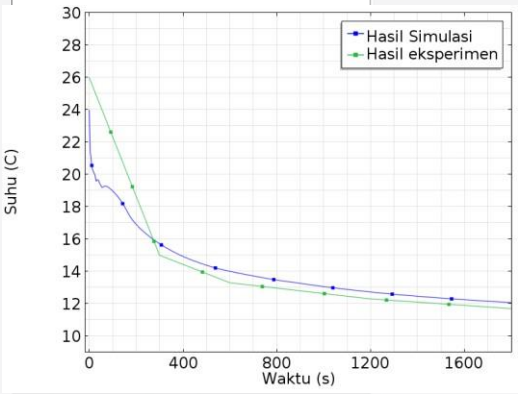
Gambar 6 Hasil distribusi suhu di bagian luar kotak pendingin

Pada gambar 6 memperlihatkan pemodelan distribusi suhu selama 1800 detik. Warna merah pada bagian atas kotak pendingin menunjukkan bahwa temperatur sekitar 40 °C. Hal itu dikarenakan suhu pada termoelektrik bagian panas merambat secara konduksi melalui *Heat Sink* . Sedangkan warna biru pada bagian samping kotak pendingin tersebut menunjukkan temperatur sekitar 15 °C, hal itu dikarenakan temperatur dingin bagian dalam sistem tersebut merambat secara konduksi melalui dinding sistem pendingin tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa isolasi termal pada material tersebut masih kurang baik. Hasil distribusi suhu pada bagian dalam dan dinamika proses penyebaran suhu sebagai fungsi waktu ditunjukkan oleh gambar 7.



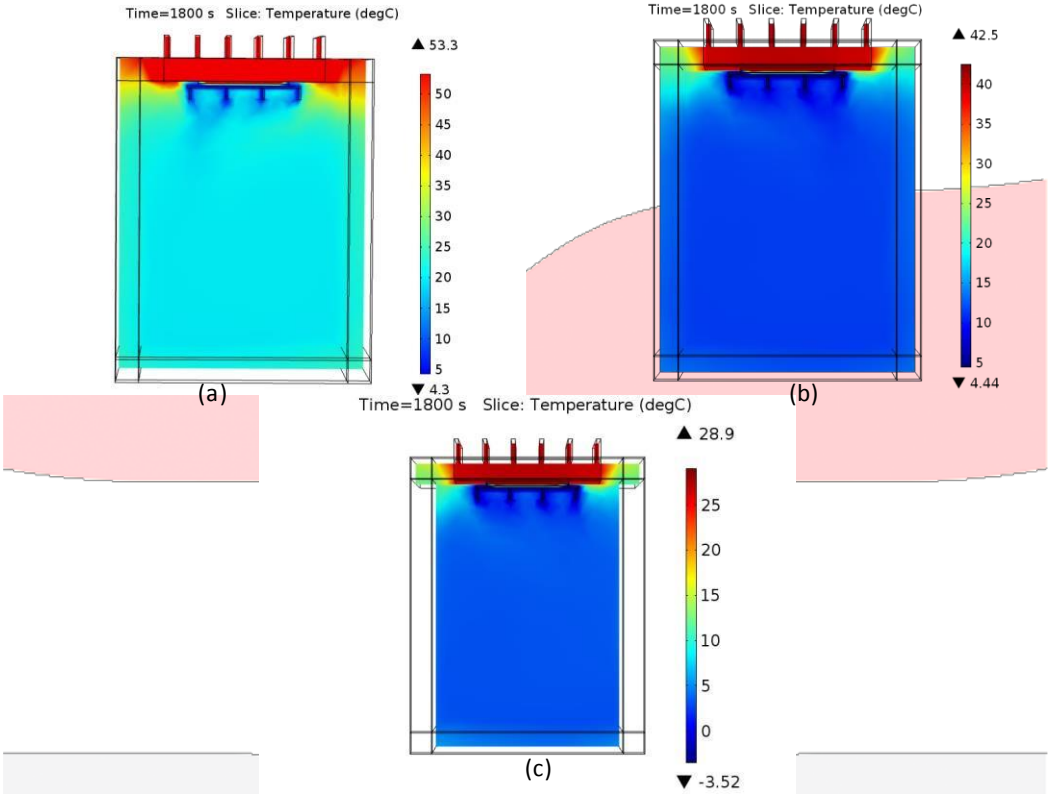
Gambar 7 Dinamika proses penyebaran suhu dari 0detik(a), 600 detik(b), 1200 detik(c), 1800 detik(d)

Gambar 7a. menunjukan bahwa pada pemodelan pada saat t=0 detik. Temperatur di dalam sistem pendingin sekitar 25°C. Ketika waktu pemodelan diatur sebesar t=600 detik, terlihat bahwa temperatur di dalam sistem pendingin tersebut berubah menjadi sekitar 13°C seperti pada gambar 7b. Kemudian waktu pemodelan diatur sebesar t=1200 detik, terlihat temperatur di dalam sistem berubah menjadi sekitar 12°C seperti pada gambar 7c. Selanjutnya waktu pemodelan diatur sebesar t=1800 detik dan terlihat temperatur di dalam sistem pendingin menjadi sekitar 11°C seperti pada gambar 7d. Proses dari penyebaran temperatur di dalam sistem pendingin dapat dijelaskan melalui grafik temperatur terhadap waktu seperti pada gambar 8.



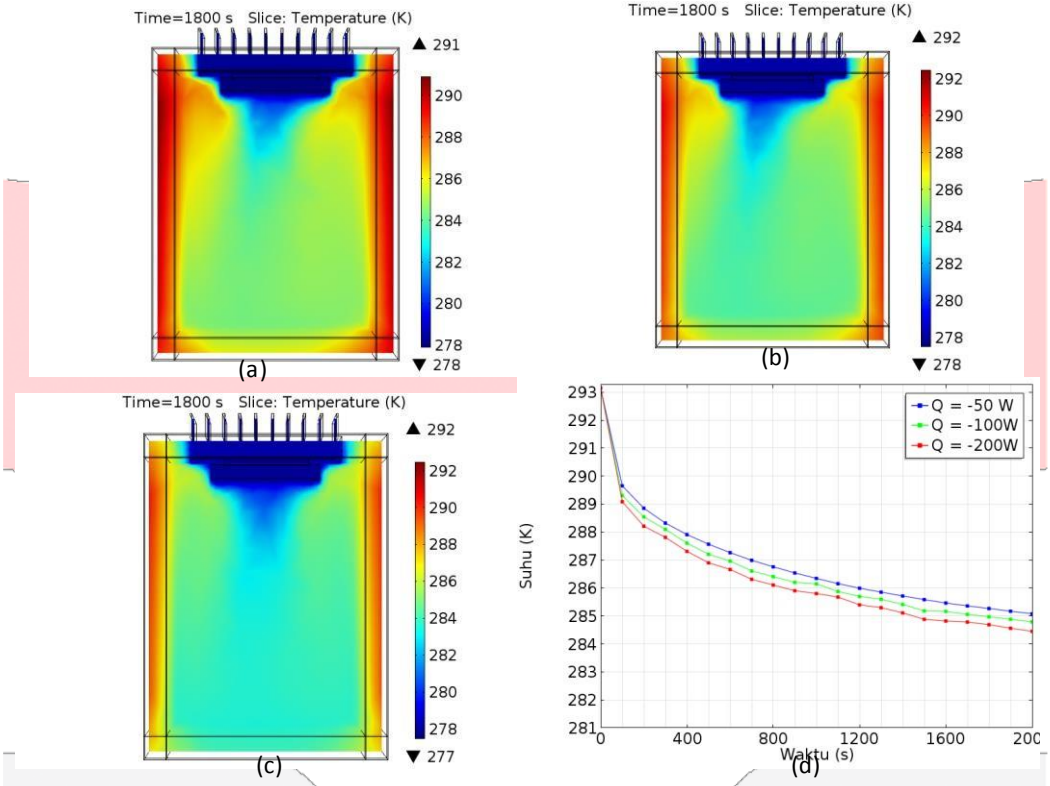
Gambar 8 Grafik suhu rata rata dalam box secara simulasi dan eksperimen

Pada gambar 8 menunjukkan bahwa grafik hasil simulasi sudah hampir sama dengan hasil eksperimen. Grafik simulasi terlihat berbeda dengan eksperimen karena data yang digunakan adalah suhu rata-rata dari kotak pendingin. Daya yang digunakan pada saat eksperimen adalah 39.6W. Untuk pengaruh suhu termoelektrik panas terhadap suhu bagian dalam kotak, maka dilakukan pemodelan dengan pengaturan suhu termoelektrik 50°C dan 40°C yang ditunjukkan oleh gambar 9.



Gambar 9. Suhu termoelektrik 50°C (a) 40°C (b) 30°C (c)

Pada gambar 9. terlihat bahwa pengaruh suhu termoelektrik dengan 50°C menghasilkan suhu lebih tinggi di dalam kotak dibandingkan dengan suhu termoelektrik dengan 40°C dan 30°C. Pada saat suhu termoelektrik 30°C suhu didalam kotak pendingin bisa mencapai dibawah 5°C, hal itu dikarenakan kalor pada sisi panas termoelektrik tidak terbuang ke lingkungan dengan baik sehingga memperlambat proses penurunan suhu di bagian dalam kotak. Dengan demikian pemodelan ini menunjukkan bahwa proses konduksi pada *heat sink* dan proses konveksi pada kipas harus berjalan efektif agar tidak terjadi kenaikan suhu yang tinggi di sisi panas termoelektrik. Pengaruh *Heat Source* (Q) tehadap penyebaran suhu kotak pendingin ditunjukkan oleh gambar 10.



Gambar *10*. Pengaruh Heat Source (Q) sebesar -50W(a), -100W(b), -200W(c) terhadap penyebaran suhu dalam kotak, Grafik suhu (d)

Pada gambar 10. ketika nilai *Heat Source* (Q) diatur sebesar -50W, -100W dan -200W maka terlihat perbedaan proses penyebaran suhu, hal ini dilakukkan untuk mengetahui pengaruh *heat source* (Q) pada proses simulasi distribusi suhu. Dengan hasil simulasi pada gambar 10 menunjukkan bahwa semakin besar *heat source* yang diberikan pada sistem maka akan semakin cepat penurunan suhu yang dilakukan oleh sistem tersebut.

4.Kesimpulan

Dari hasil peneletian diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem pendingin mampu menghasilkan suhu 10ºC±1°C pada saat tegangan 12 V dan arus 3.3A dalam waktu 30 menit.
2. Proses simulasi memberikan informasi tentang dinamika proses penurunan suhu yang mencapai nilai stabil dalam waktu sekitar 1800s dengan suhu terendah 11°C pada saat Q = -100W dan sisi panas termoelektrik 40°C
3. Suhu mendekati 0°C dapat tercapai jika proses distribusi panas ke lingkungan berjalan baik. Hal ini ditunjukkan oleh hasil simulasi pada saat sisi panas temoelektrik mempunyai nilai suhu sebesar 30°C.

Daftar Pustaka:

[1] D.L. Chandler, "Explained: Thermoelectricity," 2010. [Online]. Available http://news office.mit.edu/2010/expla ined-thermoelectricity-0427. [Accessed 5 Maret 2015].
[2] 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.
[3] He, Wei; Zhang, Gan; Ji, Lie; Li, Guiqiang; Zhao, Xudong;, "Recent development and application of thermoelectric generator," *Applied Energy*, pp. 1-25, 2015.
[4] Sugiyanto, 2008. [Online]. Available: http://lib.ui.ac.id/file?file=d igital/125322-R020843-Pengembangan%20cool-Literatur.pdf.
[5] Y. A. Cengel, Heat Transfer, Higher Education, 2002.