

SIMULASI PERANCANGAN *COOLING BOX* KAPASITAS 12 LITER MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK

¹Reno Hadi Iswandari, ²Subekti, ³Agung Wahyudi Biantoro

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercubuana Jakarta

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercubuana Jakarta

²subekti@mercubuana.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima : 08 Oktober 2018

Direvisi : 01 Januari 2019

Disetujui : 12 Maret 2019

Kata Kunci :

Termoelektrik, *Cooling box*, Minuman kaleng, Arus searah (DC)

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan pada *cooling box* termoelektrik (TE). Teknologi termoelektrik *cooling* (TEC) dimana ketika arus listrik DC dialirkan ke elemen semikonduktor tipe P dan n dimana akan mengakibatkan salah satu elemen termoelektrik menjadi dingin dan sisi lainnya menjadi panas. Proses perancangan *cooling box* ini menggunakan satu termoelektrik dengan tipe TEC1-12706, *heat sink*, *fan* dan *box* minuman berkapasitas 12 liter. Penelitian bertujuan untuk merancang bangun sistem pendingin menggunakan termoelektrik yang ditempatkan pada kendaraan mobil jenis keluarga dengan temperatur pencapaian sekitar -10 sampai 6°C. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan temperatur yang konstan pada *cooling box*, dengan cara simulasi *Coefficient of Performance* (COP) sebesar 0,120473. Dengan hasil temperatur -12 sampai 0°C. Hasil simulasi menunjukkan arus listrik yang didapat sebesar 2 sampai 3A dimana waktu yang dibutuhkan untuk bisa mencapai -12°C selama 38 detik.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi yang dewasa ini, banyak para *Engineering* merasa tertantang untuk memecahkan masalah teknis dan mengoptimalkan solusi dalam teknologi, ekonomi, lingkungan dan sumber daya manusia (SDM), dengan menentukan wawasan ilmiah dibangun dan didasari dengan pengalaman untuk memberikan solusi perkembangan alat pendingin termoelektrik (TE).

Prinsip kerja dari Pendingin TE adalah menggunakan sistem dengan konduktivitas termal yang rendah dengan konduktivitas listrik yang tinggi. Menurut [1] sistem pendingin modul TE ini memiliki dua semikonduktor berbeda secara bersamaan dalam arus listrik yang dirangkai khusus, dengan menggunakan arus listrik *Direct Current* (DC). Arus listrik tersebut, dialirkan dari kedua sisi modul TE sehingga menyebabkan suhu menjadi panas dan dingin.

Ditinjau dari teknologi yang dibuat, ada beberapa opsi yang tersedia seperti ukuran, biaya dan efisiensi. Pada bidang kedokteran dan kesehatan, ketersediaan darah sangat dibutuhkan oleh pasien dalam proses penyembuhannya. Seperti pasien yang mengalami kecelakaan, melahirkan, dioperasi atau yang memiliki penyakit berat lainnya, sangat membutuhkan persediaan darah minimal 1000 - 1500 mL. Darah tersebut diperoleh dari hasil donor orang sehat sekitar 250 – 300 mL, yang disimpan pada dalam labu plastik dan harus dijaga agar tidak rusak. Darah harus disimpan pada kondisi temperatur tertentu agar sel darah mengalami proses metabolisme yang minimal sehingga tidak mengalami kerusakan dan dapat digunakan untuk jangka waktu yang cukup lama. Untuk menjawab permasalahan di atas maka diperlukan suatu tempat penyimpanan darah (*carrier*) hasil donor yang kondisinya dijaga pada suhu -10 sampai 6°C sehingga bisa digunakan 28 hari ke depan. Selain itu, dapat dimanfaatkan untuk penyimpanan minuman kaleng. Sistem refrigerasi yang *portable* dan menghemat energi, dan sistem pendingin yang mudah dibawa.

Pada tahun 2015, [2] melakukan penelitian menggunakan modul *Thermoelectric* sebagai elemen pendingin *box* dengan kapasitas 13,8 L. Rancangan bangun sistem pendingin *thermoelektrik* dengan simulasi Ansys dilakukan oleh [3] untuk mengetahui efisiensi daya pendinginan pada TEC. [4] melakukan penelitian mengenai termoelektrik dengan menggunakan pendinginan cairan pada *Heat sink* dengan menggunakan material tembaga agar temperatur yang dihasilkan konstan. Untuk mengetahui performan peltier dilakukan penelitian dengan *type* TEC 12706, 12710, dan 12715, diperoleh bahwa *type* TEC 12706 memiliki nilai absorpsi yang lebih baik dan *heat* emisi yang lebih rendah serta koefisien kinerja yang lebih baik dari kedua tipe TEC yang dijadikan perbandingan [5] Memvariasikan sebuah tegangan dan kecepatan udara pada sisi dingin termoelektrik untuk mengetahui sebuah temperatur terbaik dilakukan penelitian oleh [6].

Pada makalah ini, akan dijelaskan mengenai rancang bangun sistem pendingin dengan menggunakan termoelektrik dengan kapasitas 12 liter, dimana temperatur sekitar -10 sampai 6°C. Sistem pendingin ini, dapat ditempatkan pada kendaraan jenis keluarga yang sangat banyak di Indonesia.

Pada makalah ini, akan dijelaskan mengenai rancang bangun sistem pendingin dengan menggunakan termoelektrik dengan kapasitas 12 liter, dimana temperatur sekitar -10 sampai 6°C. Sistem pendingin ini, dapat ditempatkan pada kendaraan jenis keluarga yang sangat banyak di Indonesia.

II. METODE PENELITIAN

Pada artikel akan dijelaskan mengenai rancang bangun sistem pendingin dengan menggunakan termoelektrik dengan kapasitas 12 liter, dimana temperatur sekitar -10 sampai 6°C. Sistem pendingin ini, dapat ditempatkan pada kendaraan jenis keluarga yang sangat banyak di Indonesia.

SIMULASI PERANCANGAN COOLING BOX KAPASITAS 12 LITER MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK

Sifat dari efek Seebeck dapat dibalik atau *reversible*, dimana dari dua buah *junction* konduktor dengan bahan yang berbeda, dapat digabungkan menjadi satu kesatuan pada kedua ujungnya. Hal ini akan menyebabkan terjadi perbedaan temperatur sehingga akan menghasilkan energi listrik. [1], energi listrik yang dihasilkan adalah dengan persamaan sebagai berikut.

$$E = \alpha (T_1 - T_2) \quad (1)$$

Timbulnya arus listrik yang diakibatkan adanya efek Seebeck pada konduktor dalam rangkaian maka timbul panas yang disebut dengan efek Joule. Persamaan efek Joule dapat ditulis sebagai berikut.

$$Q = I^2 R \quad (2)$$

Kalor yang merambat secara konduksi dari permukaan panas ke permukaan dingin didapat digunakan persamaan sebagai berikut persamaan sebagai berikut.

$$q_c = U (T_1 - T_2) \quad (3)$$

Sebuah modul TE praktis umumnya terdiri dari dua elemen yaitu elemen *Power* (P) dan *Netral* (N) dengan jenis material semikonduktor yang terhubung secara seri dan paralel. Pada artikel ini penulis menggunakan jenis material semikonduktor secara seri.

Modul TE memiliki daya pendingin persatuan luas dan *Coefficient of Performance* (COP), untuk mengetahui nilai COP modul TE maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$COP = \frac{1 + \frac{L_c}{t} \frac{ZT \left(1 + \frac{T_2}{T_1}\right)^{-1} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)^2}{\psi^2 \left(1 + \frac{L_c}{t}\right) \left(1 - m r \frac{L_c}{t}\right)} + r \frac{L_c}{t} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)}{1 + 2r \frac{L_c}{t} \frac{ZT \left(1 + \frac{T_2}{T_1}\right)^{-1} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)}{\psi \left(1 + \frac{L_c}{t}\right) \left(1 - m r \frac{L_c}{t}\right)} \quad (4)$$

Sebagai fungsi dari panjang elemen untuk empat nilai r yang berbeda, semakin besar kontak hambatan maka semakin kecil kinerja TE.

Pada artikel ini, penulis menggunakan sistem TE dipasang dengan menggunakan dua *heat sink* sebagai penukar panas, perangkat yang digunakan untuk meningkatkan penyerapan dan penolakan panas. Persamaan dasar untuk *under steady - State heat transfer* untuk pertimbangan sistem TE. Lebih jelasnya ditunjukkan pada Gambar 1. Dimana setiap *heat sink* menghadap aliran fluida pada suhu T_∞ . *Subscript* 1 dan 2 menunjukkan aliran dari fluida 1 dan 2, saat TE dialirkan arus listrik maka Q_1 dingin yang dihasilkan modul TE menyebar masuk ke sirip-sirip *heat sink*. Hambatan kontak listrik dan termal dalam TE dapat diabaikan, karena sifat material tidak tergantung pada suhu TE, sehingga harus dilakukan isolasi dengan sempurna agar panas yang dihasilkan Q_2 tidak mempengaruhi Q_1 .

Maka persamaan dasar untuk TEC dengan menggunakan dua *heat sink* sebagai berikut

$$Q'_1 = n \left[\alpha I T_1 - \frac{1}{2} I^2 R + \frac{AeK}{Le} (T_1 - T_2) \right] \quad (5)$$

$$Q'_1 = n \left[\alpha I T_1 - \frac{1}{2} I^2 R + \frac{AeK}{Le} (T_1 - T_2) \right] \quad (6)$$



Gambar 1 (a) *Heat sink* luar dan (b) *Heat sink* dalam

Dari persamaan 8 ditemukan nilai koefisien perpindahan panas untuk mencari total efisiensi pada *heat sink* maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\eta_f = \frac{\tanh \left[b f \left(\frac{2h}{K_f t_f} \right)^{1/2} \right]}{b f \left(\frac{2h}{K_f t_f} \right)^{1/2}} \quad (7)$$

Untuk nilai fluida dapat ditemukan dari korelasi angka Nusselt, Nu sebagai berikut.

$$h = \frac{K_{fluid}}{L_f} N U \quad (8)$$

Maka total area perpindahan panas dari *heat sink* diberikan persamaan sebagai berikut.

$$A_f = \eta_f [2(L_f + t_f) + L_f Z_{f, opt}] \quad (9)$$

Selain itu ditemukan bahwa ada jarak sirip optimum yang didapat maka diperoleh persamaan jarak sirip optimum sebagai berikut.

$$Z_{f, opt} = 3.24 L_f Re L^{-1/2} Pr^{-1/4} \quad (10)$$

Dari persamaan (7), (8), dan (9) maka dapat diperoleh persamaan *heat transfer* panas maksimum sebagai berikut.

$$q_f = \eta_f h A_f (T_\infty - T_b) \quad (11)$$

Heat sink dapat disambungkan oleh banyak hambatan termal global R dapat dibagi menjadi tiga hambatan yaitu R_{sa} , R_{cs} , R_{jc} , dimana penambahan ketiga hambatan ini adalah resistansi global (R), yang diberikan persamaan sebagai berikut.

$$R = R_{sa} + R_{cs} + R_{jc} \quad (12)$$

Pada artikel ini digunakan *cooling box* ini menggunakan bahan plastik, ka. *Box* minuman ini berfungsi sebagai tempat untuk alat pendingin TE dipasangkan. Lebih jelasnya ditunjukkan dengan Gambar 2.



Gambar 2 *Box* minuman

SIMULASI PERANCANGAN COOLING BOX KAPASITAS 12 LITER MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK

Dimensi dalam
 Panjang : 30 cm
 Lebar : 22 cm
 Tinggi : 21 cm
 Dimensi luar
 Panjang : 35 cm
 Lebar : 26 cm
 Tinggi : 26 cm

Operates from : -24 - +70 °C
 Size : 40 x 40 x 4 mm
 Weight : 24 gram

Pada perancangan *box* memiliki sebuah hambatan termal dimana dihasilkan sebuah hambatan total. Berdasarkan pada konstruksi bangunan tersebut, maka dapat diketahui hambatan termal dari bahan rancangan alat pendingin minuman kaleng TE ini dimana hambatan total keseluruhan bahan adalah sebagai berikut.

$$R_1 = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{c_1} + \frac{x_p}{k_p} + \frac{1}{c_2} + \frac{x_s}{k_s} + \frac{1}{h_1} \quad (13)$$

Selain itu, perancangan *box* akan mengakibatkan adanya beban panas yang melalui dinding disebut sebagai kebocoran dinding, yaitu banyaknya panas yang bocor menembus dinding ruang dari bagian luar ke dalam. Panas yang masuk melalui dinding dan atap dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$Q_1 = U \times A \times (T_1 - T_2) \quad (14)$$

Untuk beban dinding, atap, dan lantai didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (15)$$

Pada artikel ini, produk yang digunakan untuk media pendinginan termoelektrik adalah minuman kaleng dengan masa 0,01 kg, produk sebelumnya masuk dengan mencapai kisaran temperatur -10 sampai 6°C, dengan banyaknya kaleng minuman 4 buah, dengan lamanya waktu pendinginan selama 5 jam, maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$Q_p = m \times C_p \times (T_1 - T_2) \quad (16)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

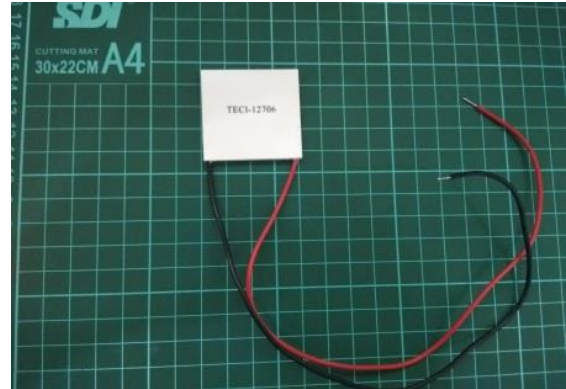
Produk yang akan didinginkan adalah minuman kaleng dengan kondisi sebagai berikut.

- Temperatur penyimpanan = 6°C
- Temperatur lingkungan = 33°C
- Kelembaban (Rh) = 60%
- Masa kaleng = 0,01 kg
- Masa air = 0,33 kg
- Koefisien air ($C_{p \text{ air}}$) = 4,18 kJ/kg.K
- Koefisien kaleng ($C_{p \text{ kaleng}}$) = 0,39 kJ/kg.K
- Pendinginan kaleng = 5 jam
- Banyaknya kaleng = 4 buah

Modul TE yang digunakan pada penelitian ini, model TEC1-12706 lebih jelasnya ditunjukkan dengan Gambar 3.

Adapun spesifikasinya adalah

Model : TEC1-12706
 Max cooling power : 92 Watt
 Operates from : 0-15,4 V dan 0-15 A
 ΔT_{max} : 68°C



Gambar 3 Termoelektrik TEC1-12706

Dalam setiap perancangan *box* memiliki sebuah hambatan termal untuk memperoleh hasil hambatan total. Berdasarkan pada perancangan *box* pendingin TE tersebut maka dapat diketahui hambatan termal dari bahan bangunan alat pendingin minuman kaleng TE ini digunakan. Lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel I.

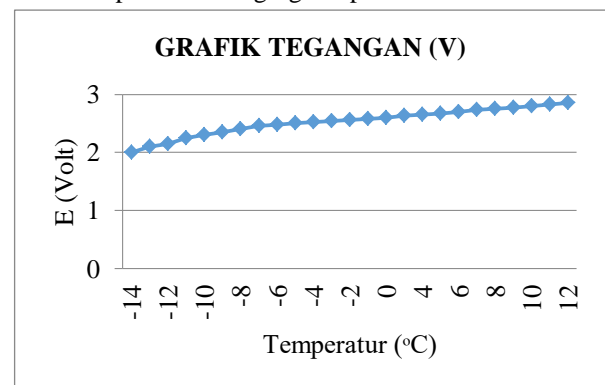
TABEL I
 HAMBATAN TERMAL BOX MINUMAN

No	Nama Bahan	Termal (mm)	Harga Konduksi W/m.°C (x) E/°C (C)
1	Plastik	2	6,02
2	Polyurethane	19	0,020
3	Plastik film	2	6,02
4	Stainless steel	1	12,11

No	Nama Bahan	Surface Conductance W/m.°C
1	Lapisan udara luar	9,37
2	Polyurethane	22,70

Besarnya beban hambatan *termal* yang dihasilkan TE pada konstruksi *box* sebesar $R_1 = 1,493 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$, sedangkan I koefisien perpindahan panas yang dihasilkan $U = 0,669 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$

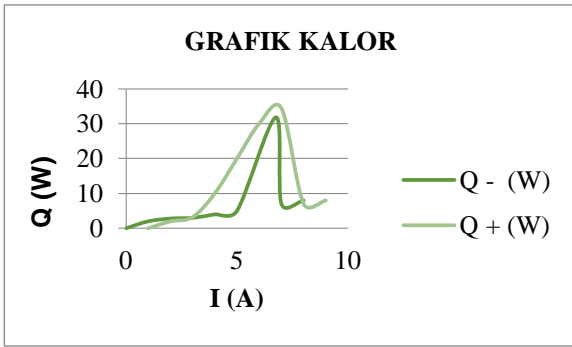
Besarnya gaya gerak listrik (GGL) yang dihasilkan termoelektrik pada temperatur yang direncanakan adalah $T_0 = -10^\circ\text{C}$ dan 6°C dari produk ini seperti terlihat pada Gambar 4 dimana didapatkan hasil tegangan seperti berikut.



Gambar 4 Grafik beban gaya gerak listrik (GGL)

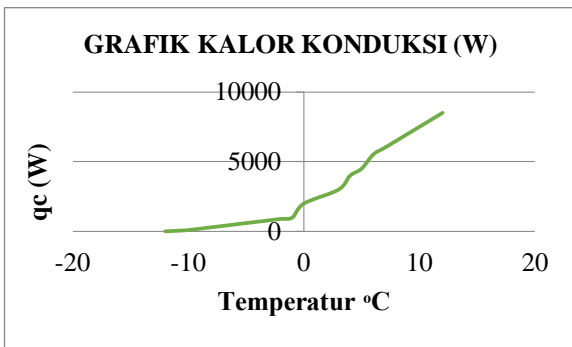
SIMULASI PERANCANGAN COOLING BOX KAPASITAS 12 LITER MENGGUNAKAN TERMOELEKTRIK

Timbulnya panas yang dihasilkan dari arus listrik TE ke *heat sink*. Maka besarnya beban kalor yang dihasilkan modul TE ini didapat hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



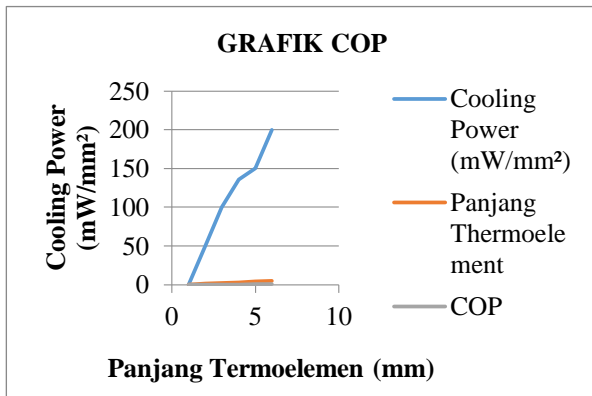
Gambar 5 Grafik beban kalor termoelektrik

Kalor yang timbul akan merambat secara konduksi dari permukaan panas ke permukaan dingin dimana pada Gambar 6 didapat hasil beban kalor yang terjadi seperti berikut.



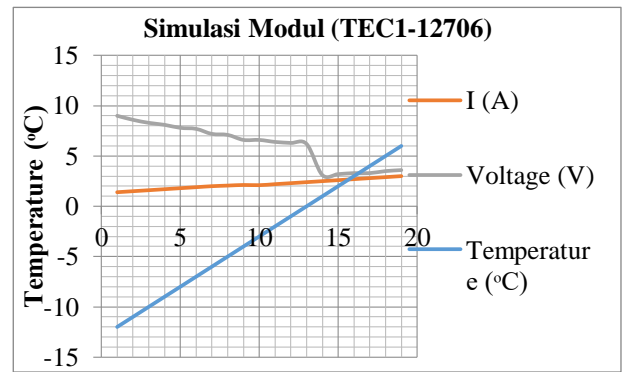
Gambar 6 Grafik beban kalor konduksi

Modul TE memiliki daya pendingin per satuan luas dan *Coefficient of Performance* (COP). Karena modul TE memiliki efek sebuah kontak resistansi yang meningkat seiring dengan panjang setiap elemen yang menurun, untuk mengetahui nilai COP modul TE maka dapat didapat nilai beban yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 *Coefficient of performance* (COP)

Pengujian modul TE tipe (TEC1-12706) dilakukan untuk mendapatkan hasil performa kerja temperatur dingin TE yang terbaik. Seperti terlihat pada Gambar 8 yang menunjukkan hasil performa terbaik modul TE sebagai berikut.



Gambar 8 Grafik hasil simulasi performa TEC-12706

IV. KESIMPULAN

Hasil pembahasan yang telah kami lakukan secara simulasi diperoleh bahwa simulasi dilakukan untuk mendapatkan temperatur yang konstan pada *cooling box*, dengan cara simulasi *Coefficient of Performance* (COP) sebesar 0,120473. Dengan hasil temperatur yang didapat -12 sampai 0°C. Hasil simulasi menunjukkan arus listrik yang di dapat sebesar 2 sampai 3 A. dimana waktu yang dibutuhkan untuk bisa mencapai -12°C selama 38 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada bapak Cheppy Agustian yang telah *men-support* menulis untuk menyelesaikan artikel ini, kepada Kaprodi Teknik Mesin Universitas Mercubuana, kepada rekan rekan yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan artikel ini.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Christophe, G. (2016). *Continuum Theory and Modelling of Thermoelectric Element*, First Edition. Published by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [2] Rahmat, I.M., Azridjal, A., Afdhal, K.M. *Penggunaan Thermoelectric sebagai Elemen Pendingin Box Cooler*. 2016. ISBN 978-602-0-5 | ISSN 1693-3168.
- [3] Many, P.I. (2016). *Design, Modeling and Simulation of a Thermoelectric Cooling System (TEC)*. Master's Theses. 749.
- [4] Kennedy, Khairil., A, dan Moch, B.A. *Experimental study of thermoelectric Refrigerator Performance: Effect of Air Flow Rate at the cold side Heat sink*. International Symposium on Smart Material and Mechatronics, 2016 (ISBN 978-602-60436-0-3).
- [5] Eky, I., Abrar., dan Tri, A.A. *Thermoelectric Cooler Performance Design And Realization Measurement System*. Vol. 4, No. 1. 2017. 673-680p.
- [6] Lukman, N. *Uji unjuk kerja Pendingin ruangan Berbasis Thermoelectric Cooling*. Jurnal SIMETRIS. Vol. 8. No. 1. 2017 (ISSN 2252-4983).