

Kaji Eksperimental *Portable Cool Box* Menggunakan TEC1-12705 *Cascade*

Denny M. E. Soedjono¹⁾, Galang A.D. Pamungkas²⁾, Heru Mirmanto³⁾, Filianti Suci Gianita⁴⁾

^{1), 3), 4)} Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

²⁾ Program Studi Ilmu Komputer Fakultas Sains dan Komputer Universitas Pertamina
Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama Jakarta 12220
dsoedjono@gmail.com

Abstrak. Mesin pendingin yang paling umum digunakan adalah mesin pendingin kompresi uap yang memanfaatkan refrigeran sebagai media pendinginnya. Sayangnya, refrigeran mengandung zat yang dapat mengancam keseimbangan alam dengan merusak lapisan ozon dan menyebabkan pemanasan global. Mesin pendingin yang berpotensi menggantikan mesin pendingin konvensional adalah pendingin termoelektrik. Dengan konstruksi yang lebih sederhana, termoelektrik banyak dimanfaatkan untuk alat pendingin skala kecil. Kotak pendingin yang dibuat dalam penelitian ini menggunakan bahan plastik dan polyurethane. Rangkaian sistem pendinginannya dibuat dengan dua TEC1-12705, heatsink dan fan. Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian dan hasil perhitungan didapatkan temperatur terendah di dalam cool box sebesar 19°C dengan rata-rata nilai laju perpindahan panas sebesar 1,215 Watt.

Kata kunci : mesin pendingin, pendingin termoelektrik, heatsink, TEC1-12705, cool box

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pendinginan merupakan salah satu cara paling umum digunakan untuk pengawetan, terutama pada pengawetan makanan. Penyimpanan bahan dalam ruangan bertemperatur rendah menjadikan bahan tersebut tidak mudah rusak karena dapat menurunkan aktivitas enzimatik dan reaksi kimiawi oleh mikroba.

Salah satu jenis mesin pendingin yang paling banyak digunakan saat ini adalah mesin pendingin kompresi uap. Mesin pendingin ini bekerja secara mekanik. Perpindahan panas dilakukan dengan memanfaatkan sifat refrigeran yang berubah dari fase cair ke fase uap kemudian kembali ke fase cair secara berulang. Namun, penggunaan refrigeran, terutama yang mengandung klor (Cl) seperti Freon atau CFC ternyata tidak ramah lingkungan. Zat-zat tersebut dapat berdampak pada rusaknya lapisan ozon dan terjadinya pemanasan global.

Alternatif yang dapat digunakan sebagai pendingin untuk penggunaan skala kecil adalah *thermoelectric cooler*. Meskipun efek pendinginan yang dihasilkan belum sebesar sistem pendingin konvensional, pendingin termoelektrik ini tidak memiliki bangun yang kompleks seperti halnya mesin pendingin kompresi uap. Denny M E Soedjono⁶⁾ melakukan penelitian dengan menggunakan termoelektrik TEC1-12706 dengan posisi kotak mendarat dan Denny M.E. Soedjono⁷⁾ melakukan penelitian dengan menggunakan termoelektrik TEC1-12705 tunggal dengan posisi kotak berdiri, pada penelitian ini menggunakan dua buah termoelektrik TEC1-12705 yang disusun secara *cascade*. Sistem *cascade* adalah menggabungkan dua buah termoelektrik yang disusun secara seri.

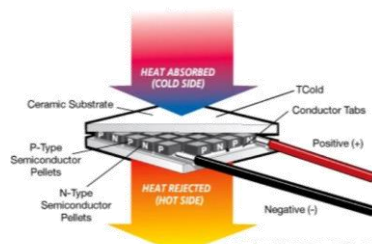
Thermoelectric cooler (pendingin termoelektrik) bekerja menggunakan efek Peltier dengan memunculkan heat flux pada gabungan dari 2 tipe material pembuatnya yang berbeda. Pendingin termoelektrik merupakan solid-state technology yang bisa menjadi alternatif teknologi pendingin selain sistem kompresi uap yang masih memanfaatkan refrigerant. Dibandingkan dengan teknologi kompresi uap yang menggunakan refrigerant sebagai media menyerap kalor, teknologi pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan dan tahan lama.



Gambar 1. Thermoelectric Cooler (TEC) tipe TEC1-12705

Termoelektrik dibangun oleh dua buah semikonduktor yang berbeda, semikonduktor tipe N (*negative*) dan semikonduktor tipe P (*positive*). Semikonduktor dibuat berbeda karena mereka harus memiliki kerapatan elektron yang berbeda agar bisa bekerja. Kedua semikonduktor diposisikan paralel secara termal dan ujungnya digabungkan dengan lempeng pendingin (biasa dipakai lempeng tembaga atau aluminium). Ujung penghantar dari dua bahan yang berbeda dihubungkan ke sumber tegangan, dengan demikian arus listrik akan mengalir melalui dua buah semikonduktor yang terhubung secara seri. Aliran arus listrik yang melewati dua semikonduktor tersebut menciptakan perbedaan temperatur. Rangkaian semikonduktor pada termoelektrik tunggal diapit oleh dua buah pelat keramik. Bahan semikonduktor termoelektrik yang paling sering digunakan saat ini adalah Bismuth Telluride (Bi_2Te_3).

Modul pendingin termoelektrik beroperasi berdasarkan prinsip efek Peltier. Efek Peltier ditemukan oleh Jean Charlos Athanase Peltier pada tahun 1834. Dalam penemuannya Peltier menyatakan bahwa akan berfungsi apabila arus listrik DC dialirkan pada satu atau beberapa pasangan semikonduktor tipe N dan tipe P. TEC memiliki 2 sisi permukaan, yaitu permukaan yang akan memanaskan dan permukaan yang akan mendingin.

Gambar 2. Konstruksi TEC⁷⁾

Pada Gambar 2 ditunjukkan aliran elektron dari semikonduktor P yang memiliki tingkat energi lebih rendah, menyerap kalor di bagian yang didinginkan lalu elektron mengalir menuju semikonduktor tipe N melalui konduktor penghubung yang permukaannya akan mengalami penurunan temperatur.

Kalor yang diserap akan berpindah melalui semikonduktor bersamaan dengan elektron yang bergerak ke sisi panas modul. Pada kondisi ideal, jumlah kalor yang diserap dan dilepas bergantung pada koefisien Peltier dan arus yang digunakan. Sedangkan besarnya perbedaan suhu panas dan dingin sebanding dengan arus dan jumlah pasangan semikonduktor di dalam unit.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini menggunakan dua buah termoelektrik yang disusun secara seri, dimana sisi panas termoelektrik pertama akan diserap sisi dingin termoelektrik ke dua sehingga akan didapatkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan termoelektrik tunggal(. Permasalahan yang akan dibahas adalah :

1. Bagaimana distribusi temperatur pada *cold box*?

1.3. Batasan Masalah

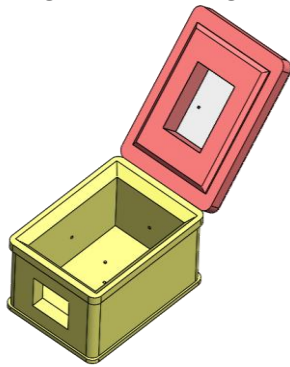
Dalam pembahasan perencanaan ini, penulis memberikan batasan masalah untuk lebih memfokuskan isi laporan, sebagai berikut :

1. Menggunakan dua buah termoelektrik TEC1-21705 yang dipasang secara *cascade*
2. Batas beban maksimum yang di gunakan adalah 27 °C, yaitu suhu ruangan
3. Kondisi luar *cold box* terisolasi, sehingga analisis beban pendinginan hanya menghitung perpindahan panas secara konduksi
4. Kondisi *steady state*
5. Tidak ada benda lain di dalam *cold box*

2. Metodologi

2.1. Perancangan

Proses perancangan alat dimulai dengan pencarian barang-barang yang dibutuhkan yaitu *box* penyimpan makanan berbahan plastik, *polyurethane*, termoelektrik, heatsink, dan fan. Setelah itu, barang-barang tersebut dirangkai hingga menjadi kotak pendingin yang siap untuk diuji⁷⁾.

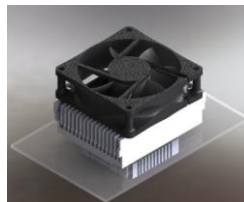


Gambar 3. Desain *Cool Box*

Detail perancangan *cool box*, bahan yang digunakan dan dimensi antara lain:

- a. Memiliki 3 lapis dinding dengan urutan dari dalam *cool box*, Polypropylene – polyurethane – polypropylene.
- b. Dengan dimensi *cool box*,
Panjang = 290 mm
Lebar = 210 mm
Kedalaman = 160 mm
 - Lapisan I, tebal = 2 mm
 - Lapisan II, tebal = 30 mm
 - Lapisan III, tebal = 2 mm

Pada sistem pendinginan *thermoelectric* akan dirangkai dengan *heatsink* serta *fan-heatsink* kemudian akan dihubungkan dengan *power supply*.



Gambar 4. Rangkaian Pendingin *Thermoelectric*

Sistem pendingin *thermoelectric* tersebut akan dipasang pada bagian atas *cool box* yang telah dibuat lubang dengan ukuran yang disesuaikan dengan ukuran rangkaian pendingin *thermoelectric*.

2.2. Pengambilan Data

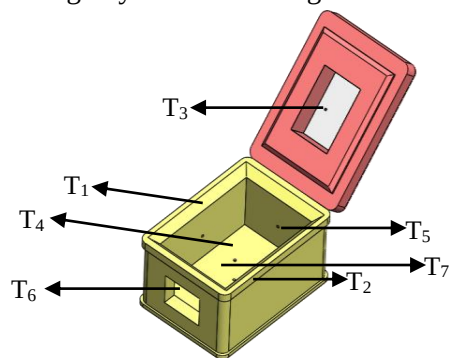
Untuk mengetahui performa dari sistem pendingin termoelektrik ini maka diambil data temperatur pada setiap sisi di dalam *cool box*. Data temperatur diperoleh dengan memasang termokopel pada tiap sisi dalam *cool box* dan menghubungkannya dengan sensor suhu. Data yang diinginkan akan didapatkan melalui *data logger* dari waktu ke waktu dan diantarmukakan dengan komputer dengan software untuk mengaktifkan *data logger* tersebut.



Gambar 5. Proses pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dengan selang waktu 3 menit setiap kali pengambilan data dalam durasi waktu 1 jam. Data temperatur setiap sisi akan otomatis tercatat di komputer sesuai dengan waktu yang dikehendaki

Pengambilan data temperatur dilakukan dengan posisi kotak pendingin berdiri, sumber pendinginnya terletak di bagian berlubang di atas kotak.



Keterangan :

T_1 = diukur di dinding sisi kanan

T_2 = diukur di dinding sisi kiri

T_3 = diukur di dinding sisi depan atau pada bagian tutup

T_4 = diukur di dinding sisi belakang

T_5 = diukur di dinding sisi bawah

T_6 = diukur di dinding sisi atas

T_7 = diukur di tengah-tengah ruangan cool box
(digunakan sebagai T_∞ atau T_{sur})

Gambar 6. Titik-titik pengukuran data temperatur

Selain data temperatur juga dilakukan pengukuran pada kuat arus dan tegangan selama proses pengujian dengan menggunakan joulemeter. Data tersebut nantinya diperlukan untuk menghitung seberapa besar daya yang diperlukan untuk sistem pendingin termoelektrik ini.

Data temperatur rata-rata tiap dinding kemudian digunakan untuk menentukan properties udara pada masing masing temperaturnya. Setelah itu, dapat dilakukan proses perhitungan dengan rumusan sebagai berikut.

Bilangan Reynolds:

$$R_{eL} = \frac{\rho VL}{\mu} \dots\dots\dots(1)$$

Bilangan Nusselt :

$$N_{uL} = 0.664(R_{ex})^{\frac{1}{2}}(Pr)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2)$$

Coefficient of Convection :

$$h = \frac{N_{uL}k}{L} \dots\dots\dots(3)$$

Newton Law of Cooling :

$$q'' = hA(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(4)$$

Perpindahan Panas Konveksi :

$$q = hA(T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(5)$$

Dengan memasukkan rumus-rumus tersebut beserta data-data yang sudah dimiliki pada perhitungan maka diperoleh hasil perhitungan untuk masing-masing dinding

3. Pembahasan

Dari data-data yang diperoleh berdasarkan pengujian, didapatkan rata-rata temperatur pada setiap dinding sebagai berikut.

Tabel 1. Data Rata-Rata Temperatur di Tiap Dinding

	T_s (°C)	T_{sur} (°C)	T_∞ (°C)
T_1	25,56	23,13	24,34
T_2	26,44	23,13	24,78
T_3	26,21	23,13	24,67
T_4	24,65	23,13	23,89
T_5	24,2	23,13	23,66
T_6	20,29	23,13	21,71

Dapat dilihat dari rata-rata hasil pengujian bahwa temperatur di masing-masing titik pengukuran berbeda. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan jarak antara titik pengukuran dengan sumber pendingin dan luasan permukaan dari masing-masing dinding.

Tabel 2. Data Properties Udara

	ρ (kg/m ³)	$\mu \times 10^7$ (kg/ms)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	$k \times 10^3$ (W/m.k)	Pr
T_1	1,1738	183,3	15,65	26,11	0,708
T_2	1,1717	183,5	15,69	26,17	0,708
T_3	1,1723	183,4	15,68	26,15	0,708
T_4	1,1759	183	15,61	26,1	0,708
T_5	1,177	182,9	15,59	26	0,708
T_6	1,1861	182	15,42	25,9	0,708

Tabel 3. Hasil Perhitungan Tiap Dinding (*Cascade*)

	L (m)	ReL	NuL	h (W/m ² .K)	q (Watt)
T_1	0,206	23295,15	90,43	11,449	1,291
T_2	0,206	23228,13	90,30	11,459	1,760
T_3	0,237	26693,15	96,80	10,693	1,910
T_4	0,237	26833,65	97,05	10,700	0,943
T_5	0,178	20180,82	84,16	12,310	0,421
T_6	0,217	24962,84	93,61	11,166	0,964

Selama proses pengujian, sistem pendingin ini menggunakan sumber listrik yang berasal dari *power supply*, untuk mengetahui berapa daya yang digunakan oleh sistem pendingin *Cool box* selama sekali pengujian dalam waktu sejam, berikut data yang dimiliki;

$$I = 3,93 \text{ Ampere}$$

$$V = 10,55 \text{ volt}$$

Maka daya yang dibutuhkan untuk sekali percobaan,

$$P = I.V$$

$$P = 3.93 \times 10.55 = 41.46 \text{ W}$$

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, maka setiap melakukan pengujian membutuhkan daya 41,46 Watt dengan temperatur terendah 19° C pada titik T_6 pada kurun waktu satu jam.

Perbandingan dengan Sistem Pendingin satu termoelektrik

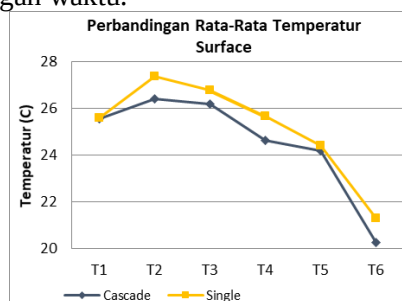
Pada prinsipnya, siklus *cascade* dibuat untuk menghasilkan temperatur yang lebih rendah yang tidak mampu dihasilkan oleh sistem pendinginan tunggal. Berikut ini hasil perhitungan perpindahan panas konveksi pada sistem pendinginan tunggal

Tabel 4. Laju perpindahan panas sistem pendingin

	q (Watt) <i>Single</i>	q (Watt) <i>Cascade</i>
T ₁	0,77	1,291
T ₂	1,72	1,760
T ₃	1,63	1,910
T ₄	0,94	0,943
T ₅	0,11	0,421
T ₆	1,29	0,964

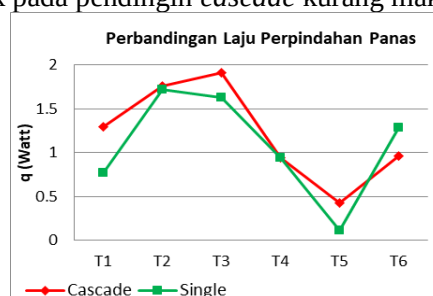
Dengan menggunakan metode pengujian yang sama, data temperatur yang diperoleh pada sistem pendingin *single* ini menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi dari data temperatur hasil pengujian *cascade*.

Jika ditampilkan dalam grafik, perbandingan rata-rata temperatur yang mampu dihasilkan oleh sistem *single* dan *cascade* dapat terlihat lebih jelas. Dan dapat diketahui bahwa keduanya mengalami penurunan temperatur seiring dengan waktu.

Gambar 3.4 Grafik perbandingan temperatur *cascade* dan *Single*

Temperatur yang mampu dihasilkan atau terukur di setiap dinding pada pengujian dengan sistem *single* TEC1-12705 cenderung lebih tinggi dari rata-rata temperatur yang dihasilkan oleh sistem pendingin *cascade*. Hal tersebut sesuai dengan prinsip sistem *cascade* yang memang ada untuk menghasilkan temperatur yang lebih rendah dari sistem *single*.

Namun perbedaan temperatur yang diperoleh tidak terlalu besar karena sistem pembuangan panas di sisi panas termoelektrik pada pendingin *cascade* kurang maksimal.

Gambar 3.5 Grafik perbandingan laju perpindahan panas *cascade* dan *single*

Laju perpindahan panas di setiap titik pengukuran pada sistem *single* maupun *cascade* berbeda dikarenakan temperatur yang terukur di tiap permukaan dinding berbeda. Selain itu juga karena luas permukaannya berbeda di setiap sisi.

Perbedaan antara temperatur permukaan tiap dinding dengan temperatur *surrounding* yang semakin besar juga mengakibatkan lebih besarnya nilai laju perpindahan panas. Semakin besar luas permukaannya, nilai laju perpindahan panas di sisi tersebut juga semakin besar.

Karena perbedaan temperatur permukaan dinding dengan temperatur *surrounding* pada sistem *single* lebih kecil dari sistem *cascade*, maka nilai laju perpindahan panas pada sistem *cascade* cenderung lebih tinggi dari sistem *single*.

4. Kesimpulan

Dari percobaan dan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Temperatur ruangan di luar *cool box* mempengaruhi temperatur awal setiap titik pengukuran
2. Temperatur di dalam *cool box* paling rendah yang mampu dihasilkan dengan sistem pendinginan *cascade* adalah 19° C dengan rata-rata nilai laju perpindahan panas sebesar 1,215 Watt.
3. Arah aliran fan untuk mendinginkan heatsink dan heat sink-fan penyebar dingin berpengaruh pada nilai temperatur di dalam *cool box*.
4. Sistem pendingin *cascade* mampu menghasilkan temperatur lebih rendah dari sistem pendingin *single*.

Daftar Pustaka

1. Aziz, Azridal., Silpana, Villager., Subroto, Joko. 2015. *Aplikasi Modul Pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman*. Pekanbaru : Universitas Riau.
2. Gouws, Rupert dan Eilers, Houston. 2013. *A Review on Thermoelectric Cooling Modules : Installation Design, Performance and Efficiency*. Potchefstroom, South Africa : North-West University
3. Holman, J. P. 2002. *Heat Transfer SI units* . McGraw-Hill Education. India.
4. <http://alitputraiputu.blogspot.co.id/2012/04/pendingin-termoelektrik-termoelectric.html> (di akses 7/12/2018)
5. Moran, Michael J dan Howard N Saphiro. 2014. *Fundamental of Engineering Thermodynamics* 8th Edition. John Wiley & Sons Inc Kingdom.
6. Soedjono, Denny M E, at.all., 2017, *Kaji Numerik Portable Portable Cold Storage Termoelektrik Tec1-12706*. Seniati 2017, p E9.1-7, Malang, 4 Februari 2017.
7. Soedjono, Denny M E, at.all., 2018, *Kaji Eksperimental Cold Box Menggunakan Termoelektrik TEC1-12705*. Seniati 2018, p 229-234, Malang, 3 Februari 2018.
8. Sugiyanto. 2008. *Pengembangan Cool Box Modul Termoelektrik*. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
9. Wikipedia. *Thermoelectric Cooling*. From Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_cooling (diakses 17/03/2017)