

PENGARUH RANGKAIAN SEL PELTIER TERHADAP KINERJA MINI REFRIGERATOR PORTABLE

Gilang Firmansyah¹, Robertoes Koekoeh KW², Nasrul Ilminnafik²
Digdo Listyadi S², Imam Sholahuddin²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember - Jl. Kalimantan 37 Jember 68121
Email: gilang.frmnsyah@gmail.com

ABSTRACT

Thermoelectric Cooler (TEC) / Peltier cooler box requires DC electric current in operation, so that it can be used as a tool to store portable vaccines that are useful in areas that do not have AC electricity flow. The research method uses experimental methods by making the previous research as a reference for conducting experiments with series variations on TEC. This study uses 2 TECs with a series of series and parallel TEC circuits on polyurethane cooler boxes 5,5 L (280 x 180 x 200) mm, power supplied to series and parallel TEC circuits of 20 W, 30 W, and 40 W while taking data is carried out for 60 minutes. The purpose of the study was to determine the effect of TEC cooling on the cooler, COP value, and efficiency on the system. The cooling capability of the TEC in the cooler shows the temperature in the cooler with the variation of the TEC parallel circuit lower than the series TEC. Calculation of the COP value shows the greater power given to the TEC, the COP value will be smaller, the COP value of the parallel circuit at minute 1 - 3 minutes is smaller than the series TEC, but in the 60th minute the difference in COP value between TEC series and The parallel circuit TEC is not too large. Calculation of cooling box efficiency with vaccine loading shows the highest efficiency is a parallel circuit TEC of 25,84% with input power in a 20 W system and a cooling load of 5,17 W, while the lowest efficiency is a series circuit TEC of 13,48% with input power 40 W and cooling load of 5,39W.

Keywords: Thermoelectric Cooler (TEC), Peltier, Thermoelectric Refrigerator (TER), COP, Efficiency

PENDAHULUAN

Tempat penyimpanan vaksin bisa berupa Kulkas yang memerlukan arus listrik AC untuk pengoprasianya. Namun jika terjadi hal yang tidak terduga seperti lokasi tujuan imunisasi vaksin tidak terjangkau arus listrik AC atau bencana alam yang dapat mengakibatkan pemadaman arus listrik AC, sehingga pertolongan terhadap masyarakat jadi terkendala. Telatnya pertolongan medis dapat mengakibatkan terjadinya korban jiwa, oleh karena itu dibutuhkan penyimpanan vaksin yang menggunakan arus DC, dengan begitu kita tidak akan tergantung pada arus listrik AC dan bisa membawa vaksin kepada masyarakat yang membutuhkan[1].

Thermoelectric Cooler (TEC) dapat berfungsi sebagai pompa kalor untuk memindahkan kalor didalam kotak pendingin ke lingkungan [2]. Pemakaian *Thermoelectric Cooler* (TEC) sebagai pendingin dapat memberikan hasil yang baik pada pendinginan yang kecil [3]. Semakin besar daya yang diberikan pada *Thermoelectric Cooler* (TEC) maka suhu sisi dingin TEC akan semakin rendah dan suhu di sisi panas TEC akan semakin tinggi [4]. Semakin banyak modul TEC yang diaplikasikan makin besar beban kalor yang dapat diserap, dan capaian temperatur ruang menjadi lebih rendah [5].

Perlunya penelitian lebih lanjut dengan tujuan agar mutu vaksin dapat dipertahankan atau tidak kehilangan

potensi, aman / tidak hilang, dan terhindar dari kerusakan fisik [6]. Vaksin yang rusak jika diberikan kepada sasaran tidak dapat menimbulkan kekebalan karena setelah potensi vaksin hilang tidak dapat dipulihkan kembali [7]. Penelitian mengenai pengaplikasian TEC pada kotak pendingin bisa menghasilkan suhu 20°C [6] dan 18,4°C [8]. Sehingga ada kemungkinan penelitian lebih lanjut dapat menghasilkan suhu yang lebih rendah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari 2018 – November 2018 di Laboratorium Konversi Energi II Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penelitian ini menggunakan 2 buah elemen termoelektrik (*Peltier*) dengan variasi rangkaian elemen *Peltier* seri dan paralel pada kotak pendingin *polyurethane* 5,5 L (280 x 180 x 200) mm dengan pemberian daya yang tetap yaitu untuk rangkaian seri sebesar 20 W (11,5 V – 1,74 A), 30 W (14,0 V – 2,14 A), dan 40 W (16,4 V – 2,51 A) dan rangkaian paralel sebesar 20 W (5,9 V – 3,45 A), 30 W (7,2 V - 4,23 A), dan 40 W (8,3 V - 4,96 A). Sedangkan pengambilan data dilakukan selama 60 menit.

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

- Kotak Pendingin *Polyurethane* 5,5 L (280 X 180 X 200) mm
- Elemen Termoelektrik (*Peltier*) tipe TEC1-12705
- Kipas DC model: AV-F9025MS 12V == 0,20A
- Data Logger*
- Power Supply*
- Solder
- Vaksin
- Hand Drill*
- Thermal Paste*
- Gerinda
- Multimeter
- Tachometer*
- Heatsink*
- Laptop
- Alumunium
- Styrofoem Glue*

Prosedur Pengujian

- Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian;
- Memeriksa serta melakukan tes apakah alat uji berfungsi dengan baik;
- Merangkai komponen-komponen mesin pendingin dengan benar;
- Pemasangan alat ukur temperatur (*thermocouple*), pada titik pengambilan data;
- Menjalankan alat uji dengan variasi TEC rangkaian seri dan mencatat temperatur yang ditunjukkan pada titik pengambilan data;
- Pengumpulan data pada variasi TEC rangkaian seri;
- Menjalankan alat uji dengan variasi TEC rangkaian paralel dan mencatat temperatur yang ditunjukkan pada titik pengambilan data;
- Pengumpulan data pada variasi TEC rangkaian paralel;
- Menghitung data yang diperoleh untuk mencari nilai COP dan efisiensi system sebagai pembahasan;
- Mengambil kesimpulan dari pembahasan.

Dari data hasil penelitian dapat menghitung nilai COP dan efisiensi pada sistem. Berikut persamaan yang digunakan:

COP merupakan nilai dari sistem pendinginan termoelektrik. Nilai ini dapat menunjukkan tingkat kualitas dari sistem pendinginan termoelektrik. Nilai COP yang tinggi menunjukkan bahwa kualitas dari pendinginan sangat baik atau tinggi, sebaliknya COP yang rendah akan menunjukkan kualitas yang kurang baik dalam sistem pendinginan.

$$Q_c = n (\alpha_{pn}) T_c I - K (T_h - T_c) - 0,5 I^2 R \quad (1)$$

$$W = n (\alpha_{pn}) (T_h - T_c) I + I^2 R \quad (2)$$

$$COP = Q_c / W \quad (3)$$

Di mana:

- COP = *Coefficient of Performance*
 Q_c = Panas pada terminal dingin (W)
 W = Daya yang diperlukan (W)
 α_{pn} = Koefisien *Seebeck* (V/K)
 K = Konduktivitas termal termoelektrik (WK⁻¹)

- I = Arus listrik (A)
 R = Hambatan listrik (Ω)
 T_c = Temperatur terminal dingin (K)
 T_h = Temperature terminal panas (K)

Proses perpindahan panas tergantung pada perbedaan temperatur (ΔT) dan konduktivitas jenis.

$$K = \frac{Q_{max}}{(0,5 \times Z \times (T_c)^2 - (T_h - T_c))} \quad (4)$$

Di mana:

- K = Konduktivitas termal termoelektrik (WK⁻¹)
 Q_{max} = Kapasitas pendinginan maksimum TEC (W)
 Z = Figure of merit (/K)
 T_c = Temperatur terminal dingin (K)
 T_h = Temperature terminal panas (K)

Koefisien *Seebeck* berpengaruh terhadap karakteristik bahan modul yang digunakan.

$$(\alpha_{pn}) = \sqrt{\frac{Z \times K \times R}{n^2}} \quad (5)$$

$$Z = \frac{\Delta T_{max}}{0,5 (T_c)^2} \quad (6)$$

Dimana:

- α_{pn} = Koefisien *Seebeck* (V/K)
 Z = Figur of merit (/K)
 K = Konduktivitas termal termoelektrik (WK⁻¹)
 R = Hambatan alat (Ω)
 n = Jumlah pasang kaki semi konduktor (127 pasang)
 ΔT_{max} = Perubahan temperatur maksimum TEC (K)
 T_c = Temperatur terminal dingin (K)

Efisiensi pendinginan sistem merupakan perbandingan jumlah kalor yang bekerja seluruhnya terhadap kalor yang masuk pada suatu sistem yang pada penelitian ini berupa daya listrik.

$$\eta = \frac{Q_T}{P} \times 100\% \quad (7)$$

Di mana:

- η = Efisiensi pendinginan
 Q_T = Kalor total = kalor bentuk + kalor *heatsink* dingin+ kalor beban pendingina udara + kalor beban pendingina vaksin = $Q_{dinding} + Q_{aluminium} + Q_{udara} + Q_{vaksin}$
 P = Daya listrik (Watt)

Beban pendinginan merupakan panas yang ada di dalam ruangan yang harus dipindahkan keluar ruangan dengan tujuan menurunkan temperatur didalam ruangan.

$$Q = m C \Delta T / t \quad (8)$$

Di mana:

- Q = Kalor yang dilepas atau diterima (Joule/t = W)
 m = Massa (kg)
 C = Kalor jenis (J/kg°C)
 ΔT = Perubahan temperatur (C)

t = Waktu (s)

Faktor bentuk konduksi merupakan suatu besaran yang digunakan dalam menghitung perpindahan kalor konduksi pada media atau bahan dengan bentuk geometri tertentu.

$$S_{dinding} = \frac{A}{x} \quad (9)$$

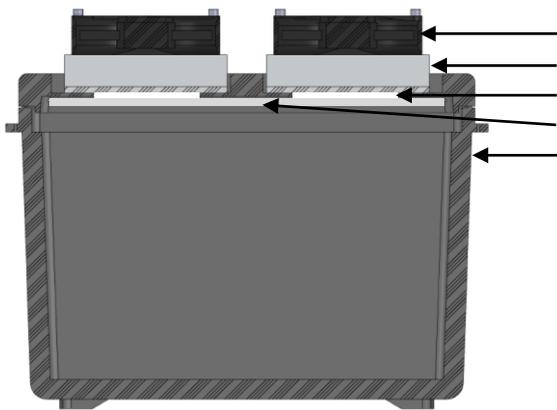
$$S_{tepi} = (0,54 \times p) + (0,54 \times l) + (0,54 \times t) \quad (10)$$

$$S_{sudut} = 0,15 \times \quad (11)$$

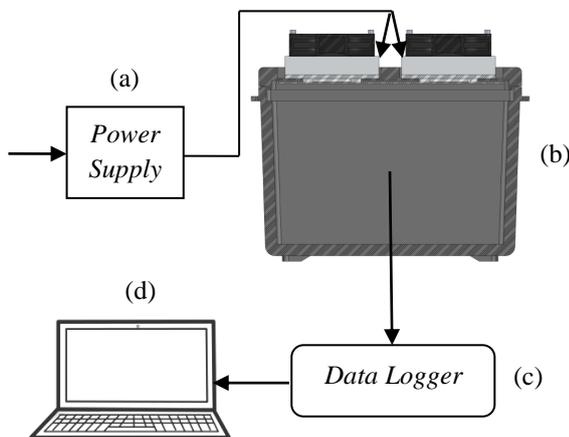
$$Q_{dinding} = k S_{total} (T15 - T14) \quad (12)$$

Di mana:

- S = Lebar permukaan (m)
- A = Luasan dinding (m²)
- x = Tebal dinding (m)
- T5 = Temperatur dinding luar (K)
- T3 = Temperatur dinding dalam (K)
- K = Konduktivitas *polyurethane* (0,02 W/m^oK)
- P = Panjang kotak pendingin (m)
- L = Lebar kotak pendingin (m)
- t = Tinggi kotak pendingin (m)



Gambar 1. Skema penempatan alat (a) kipas DC (b) heatsink sisi panas (c) TEC (d) heatsink sisi dingin (e) kotak pendingin



Gambar 2. Skema pengambilan data (a) power supply (b) kotak pendingin (c) data logger (d) laptop

Daya listrik merupakan jumlah energi listrik yang mengalir dalam setiap satuan waktu (detik). Dalam penelitian ini, daya listrik merupakan faktor yang sangat berpengaruh besar terhadap nilai efisiensi sistem pendinginan.

$$P = V I \quad (12)$$

Di mana:

- P = Daya listrik (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus listrik (A)

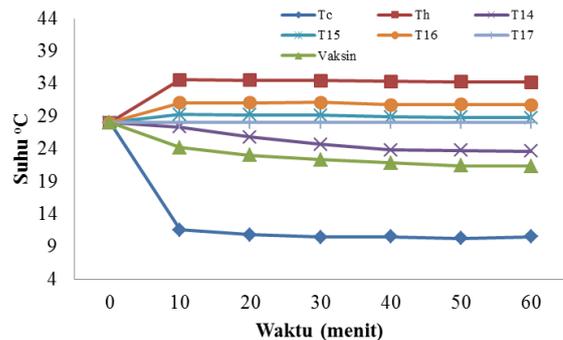
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini tentang analisa variasi rangkaian seri dan paralel pada *Thermoelectric Cooler* (TEC) dengan pemberian daya 20 W, 30 W, dan 40 W terhadap performa kotak pendingin / *Thermoelectric Refrigerator* (TER) dengan waktu pengambilan data setiap percobaan yaitu 60 menit.

Kemampuan Pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC)

Kemampuan Pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dan paralel diperoleh dengan mengolah data hasil penelitian menjadi grafik untuk menunjukkan perbedaan pendinginan yang terjadi pada titik pengambilan suhu. Sembilan titik pengambilan suhu yaitu sisi dingin TEC Tc, sisi panas Th, T14, T15, T16, T17, dan T18.

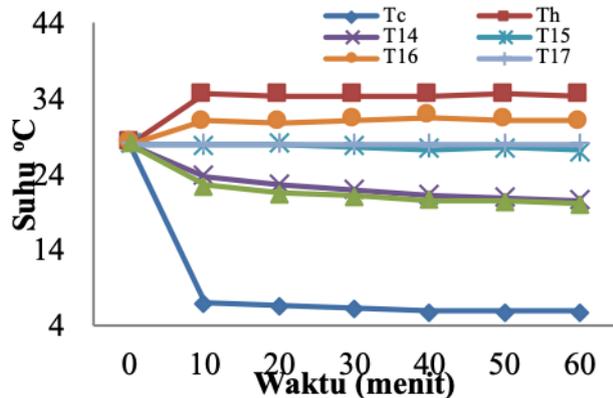
a. Kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) pada rangkaian seri



Gambar 3. Grafik kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W

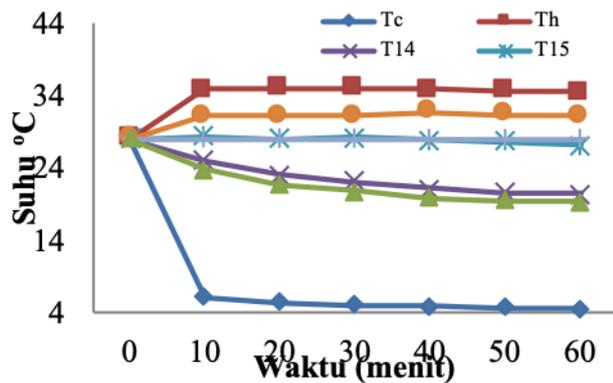
Dari Gambar 3. terlihat bahwa pada TEC rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Setelah pemberian daya pada TEC dimenit ke 1 – menit ke 60, titik pengambilan suhu mengalami perubahan. Suhu terendah beban pendingin (Vaksin) adalah 21,33 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah Th 34,20 °C dan suhu terendah adalah Tc 10,50 °C. Perbedaan suhu 10,83 °C pada menit ke 60 antara sisi

dingin TEC (T_c) dan beban pendingin (Vaksin) mengindikasikan sirkulasi udara di dalam kotak pendingin tidak rata, sehingga suhu yang dihasilkan oleh sisi dingin TEC tidak menyebar dengan rata pada kotak pendingin.



Gambar 4. Grafik kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W

Dari Gambar 4. terlihat bahwa pada TEC rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Setelah pemberian daya pada TEC dimenit ke 1 - menit ke 60, titik pengambilan suhu mengalami perubahan. Suhu terendah beban pendingin (Vaksin) adalah 20,07 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T_h 34,45 °C dan suhu terendah adalah T_c 5,97 °C. Perbedaan suhu 14,10 °C pada menit ke 60 antara sisi dingin TEC (T_c) dan beban pendingin (Vaksin) mengindikasikan sirkulasi udara di dalam kotak pendingin tidak rata, sehingga suhu yang dihasilkan oleh sisi dingin TEC tidak menyebar dengan rata pada kotak pendingin.

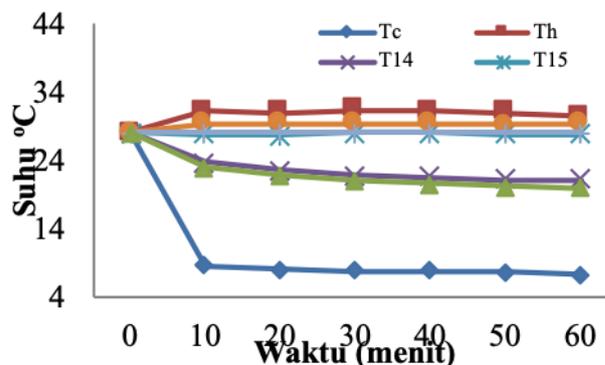


Gambar 5. Grafik kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W

Dari Gambar 5. terlihat bahwa pada TEC rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Setelah pemberian daya pada TEC dimenit ke 1 - menit ke 60, titik pengambilan suhu mengalami perubahan. Suhu terendah beban pendingin (Vaksin) adalah 19,33 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T_h 34,58 °C dan suhu terendah adalah T_c 4,67 °C. Perbedaan suhu 14,67 °C pada menit ke 60 antara sisi dingin TEC (T_c) dan beban pendingin (Vaksin) mengindikasikan sirkulasi udara di dalam kotak pendingin

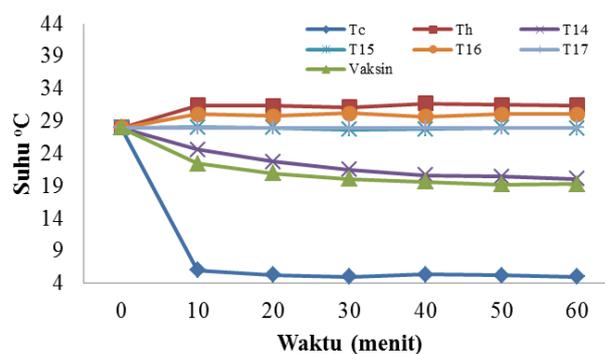
tidak rata, sehingga suhu yang dihasilkan oleh sisi dingin TEC tidak menyebar dengan rata pada kotak pendingin.

b. Kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) pada rangkaian paralel



Gambar 6. Grafik kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W

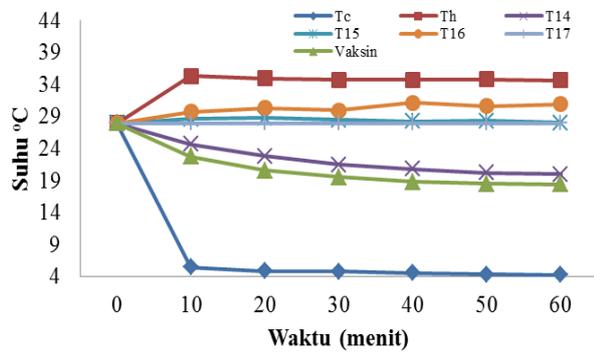
Dari Gambar 6. terlihat bahwa pada TEC rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Setelah pemberian daya pada TEC dimenit ke 1 - menit ke 60, titik pengambilan suhu mengalami perubahan. Suhu terendah beban pendingin (Vaksin) adalah 20,04 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T_h 30,47 °C dan suhu terendah adalah T_c 7,35 °C. Perbedaan suhu 12,69 °C pada menit ke 60 antara sisi dingin TEC (T_c) dan beban pendingin (Vaksin) mengindikasikan sirkulasi udara di dalam kotak pendingin tidak rata, sehingga suhu yang dihasilkan oleh sisi dingin TEC tidak menyebar dengan rata pada kotak pendingin.



Gambar 7. Grafik kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W

Dari Gambar 7. terlihat bahwa pada TEC rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Setelah pemberian daya pada TEC dimenit ke 1 - menit ke 60, titik pengambilan suhu mengalami perubahan. Suhu terendah beban pendingin (Vaksin) adalah 19,25 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T_h 31,45 °C dan suhu terendah adalah T_c 5,02 °C. Perbedaan suhu 14,24 °C pada menit ke 60 antara sisi dingin TEC (T_c) dan beban pendingin (Vaksin)

mengindikasikan sirkulasi udara di dalam kotak pendingin tidak rata, sehingga suhu yang dihasilkan oleh sisi dingin TEC tidak menyebar dengan rata pada kotak pendingin.



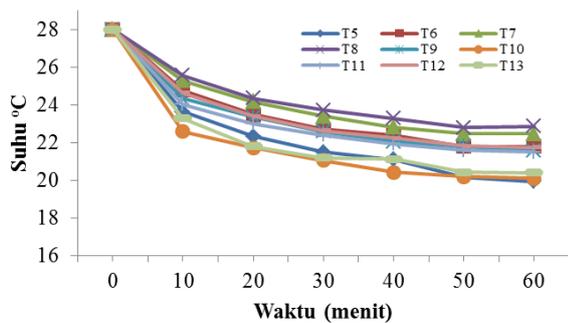
Gambar 8. Grafik kemampuan pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W

Dari Gambar 8. terlihat bahwa pada TEC rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Setelah pemberian daya pada TEC dimenit ke 1 – menit ke 60, titik pengambilan suhu mengalami perubahan. Suhu terendah beban pendingin (Vaksin) adalah 18,47 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah Th 34,63 °C dan suhu terendah adalah Tc 4,28 °C. Perbedaan suhu 14,18 °C pada menit ke 60 antara sisi dingin TEC (Tc) dan beban pendingin (Vaksin) mengindikasikan sirkulasi udara di dalam kotak pendingin tidak rata, sehingga suhu yang dihasilkan oleh sisi dingin TEC tidak menyebar dengan rata pada kotak pendingin.

Kemampuan Penyebaran Pendinginan Ruang *Thermoelectric Cooler* (TEC) pada Rangkaian Seri dan Paralel

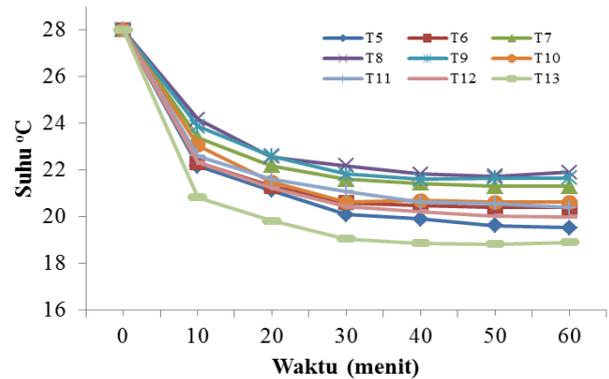
Kemampuan penyebaran pendinginan ruang pada *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dan paralel diperoleh dengan mengolah data hasil penelitian menjadi grafik untuk menunjukkan perbedaan pendinginan yang terjadi pada titik pengambilan suhu. Sembilan titik pengambilan suhu yaitu T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, dan T13.

- a. Penyebaran pendinginan ruang *Thermoelectric Cooler* (TEC) pada rangkaian seri



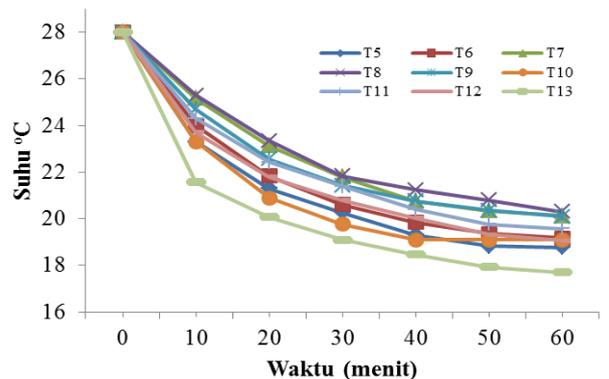
Gambar 9. Grafik penyebaran pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W

Dari Gambar 9. terlihat bahwa pada TEC rangkaian seri dengan pemberian daya 20 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Semua titik pengambilan suhu mengalami penurunan suhu secara perlahan selama durasi 60 menit pemberian daya pada TEC. Suhu terendah adalah T5 19,93 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T8 22,87 °C dan suhu terendah adalah T5 19,93 °C.



Gambar 10. Grafik penyebaran pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W

Dari Gambar 10. terlihat bahwa pada TEC rangkaian seri dengan pemberian daya 30 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Semua titik pengambilan suhu mengalami penurunan suhu secara perlahan selama durasi 60 menit pemberian daya pada TEC. Suhu terendah adalah T13 18,83 °C pada menit ke - 50, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T8 21,90 °C dan suhu terendah adalah T13 18,90 °C.

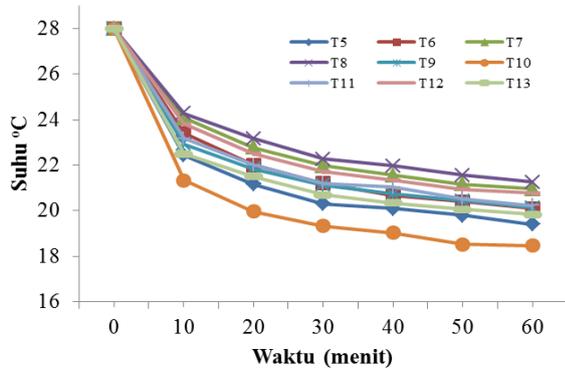


Gambar 11. Grafik penyebaran pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W

Dari Gambar 11. terlihat bahwa pada TEC rangkaian seri dengan pemberian daya 40 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Semua titik pengambilan suhu mengalami penurunan suhu secara perlahan selama durasi 60 menit pemberian daya pada TEC. Suhu terendah adalah T13 17,70 °C pada menit ke -

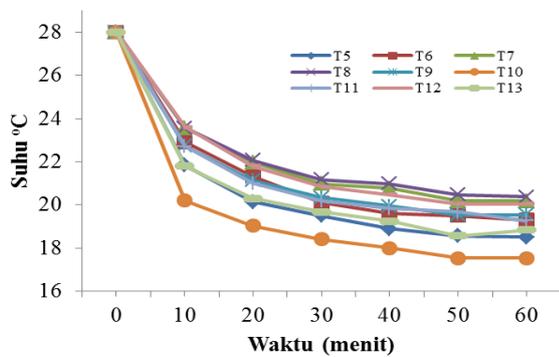
60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T8 20,30 °C dan suhu terendah adalah T13 17,70 °C.

b. Penyebaran pendinginan ruang *Thermoelectric Cooler* (TEC) pada rangkaian paralel



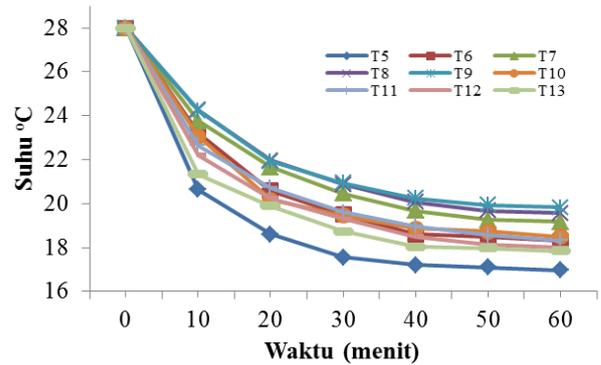
Gambar 12. Grafik penyebaran pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W

Dari Gambar 12. terlihat bahwa pada TEC rangkaian paralel dengan pemberian daya 20 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Semua titik pengambilan suhu mengalami penurunan suhu secara berlahan selama durasi 60 menit pemberian daya pada TEC. Suhu terendah adalah T10 18,47 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T8 21,27 °C dan suhu terendah adalah T10 18,47 °C.



Gambar 13. Grafik penyebaran pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W

Dari Gambar 13. terlihat bahwa pada TEC rangkaian paralel dengan pemberian daya 30 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Semua titik pengambilan suhu mengalami penurunan suhu secara berlahan selama durasi 60 menit pemberian daya pada TEC. Suhu terendah adalah T10 17,53 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T8 20,37 °C dan suhu terendah adalah T10 17,53 °C.

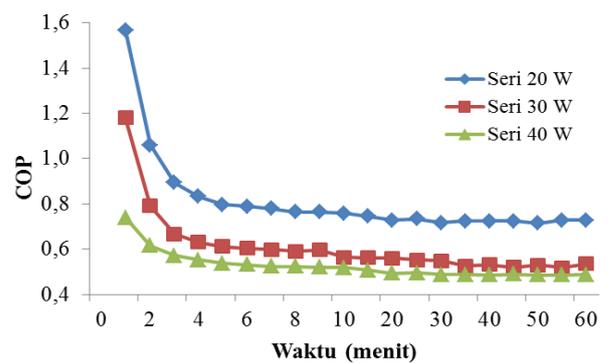


Gambar 14. Grafik penyebaran pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC) rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W

Dari Gambar 14. terlihat bahwa pada TEC rangkaian paralel dengan pemberian daya 40 W memiliki suhu awal yang sama yaitu 28 °C pada menit ke - 0. Semua titik pengambilan suhu mengalami penurunan suhu secara berlahan selama durasi 60 menit pemberian daya pada TEC. Suhu terendah adalah T5 16,97 °C pada menit ke - 60, sedangkan pada menit ke - 60 suhu tertinggi adalah T8 19,57 °C dan suhu terendah adalah T5 16,97 °C.

Perhitungan COP (*Coefficient of Performance*)

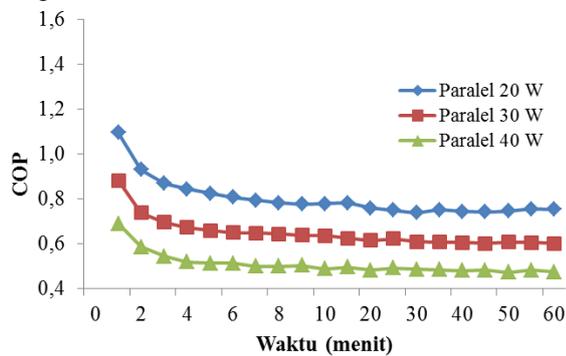
COP adalah nilai dari sistem pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC). Nilai COP dapat menunjukkan kualitas dari sistem pendinginan *Thermoelectric Cooler* (TEC). Semakin tinggi nilai COP suatu sistem pendingin maka semakin tinggi atau baik kualitas sistem pendingin tersebut. Sebaliknya, kualitas sistem pendingin akan rendah jika nilai COPnya rendah. Pada Persamaan 3. dapat diketahui cara menghitung nilai COP pada *Thermoelectric Cooler* (TEC) sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 15. Perbandingan nilai COP *Thermoelectric Refrigerator* (TER) pada rangkaian seri

Nilai COP pada rangkaian seri pada Gambar 15. atau rangkaian paralel pada Gambar 16. akan semakin kecil jika daya yang diberikan pada TEC lebih besar. Nilai akhir COP pada rangkaian seri dan paralel tidak menunjukkan perbedaan yang sangat besar, namun perbedaan nilai COP rangkaian seri dan paralel sangat terlihat pada menit ke 1 - menit ke 3 yang menunjukkan

nilai COP rangkaian seri lebih besar dari rangkaian paralel. Hal ini mengindikasikan pendinginan yang dihasilkan TEC pada rangkaian paralel lebih cepat sehingga pada menit ke 1 - menit ke 3 suhu yang dihasilkan TEC rangkaian paralel lebih rendah dari rangkaian seri.



Gambar 16. Perbandingan nilai COP *Thermoelectric Refrigerator* (TER) pada rangkaian paralel

Perhitungan Efisiensi Pendinginan Sistem

Efisiensi pendinginan sistem adalah perbandingan jumlah kalor yang bekerja seluruhnya pada sistem terhadap jumlah kalor yang masuk pada sistem. Pada penelitian ini kalor yang masuk berupa daya listrik, dan jumlah kalor yang bekerja pada sistem adalah beban pendinginan *heatsink* sisi dingin (aluminium), udara, dinding kotak pendingin, dan vaksin. Untuk perhitungan beban pendinginan dapat diketahui melalui Persamaan 7. sehingga mendapatkan hasil perhitungan efisiensi sebagai berikut:

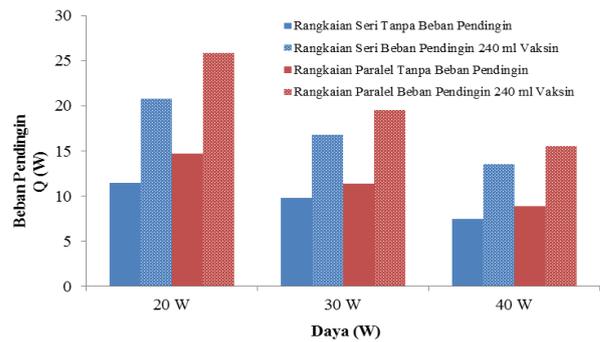
Tabel 1. Nilai efisiensi pendinginan sistem

Beban Pendinginan	Rangkaian TEC	Daya (W)	Q _{total} (W)	$\eta = \frac{Q_{total}}{P_{input}} \times 100\%$
Tanpa beban pendingin	Seri	20	2,288	11,43818
		30	2,933	9,77701
		40	2,975	7,43680
	Paralel	20	2,95	14,73407
		30	3,42	11,40461
		40	3,55	8,88535
Beban pendingin 240 ml Vaksin	Seri	20	4,148	20,74041
		30	5,035	16,78469
		40	5,393	13,48324
	Paralel	20	5,167	25,83644
		30	5,862	19,54004
		40	6,215	15,53644

Dari hasil perhitungan efisiensi pada Tabel 1. Dirubah dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 17.

Gambar 17. menunjukkan efisiensi tertinggi pada TEC rangkaian paralel adalah 25,84% dengan daya input pada sistem 20 W dan beban pendingin sebesar 5,17 W, sedangkan efisiensi tertinggi pada TEC rangkaian seri adalah 20,74% dengan daya input pada sistem 20 W dan beban pendingin sebesar 4,15 W. Efisiensi terendah pada TEC rangkain paralel adalah 15,54% dengan daya input 40 W dan beban pendingin sebesar 6,22 W, sedangkan efisiensi terendah pada TEC rangkain seri adalah 13,48%

dengan daya input 40 W dan beban pendingin sebesar 5,39 W.



Gambar 17. Perbandingan nilai efisiensi pendinginan sistem

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini adalah suhu pada kotak pendingin dengan variasi TEC rangkaian paralel lebih rendah daripada TEC rangkaian seri. Hal ini ditunjukkan dari hasil penyebaran suhu pada kotak pendingin, perhitungan beban pendingin, dan nilai COP. Terbukti pendinginan maksimal pada kotak pendingin dengan pemberian daya 20 W, 30 W, dan 40 W pada rangkaian seri masing-masing 19,93 °C, 19,53 °C, dan 18,77 °C sedangkan pada rangkaian paralel masing-masing 19,40 °C, 18,50 °C, dan 16,97 °C.

Dikarenakan suhu pada kotak pendingin dengan variasi TEC rangkaian paralel lebih rendah daripada TEC rangkaian seri sehingga menghasilkan nilai COP pada TEC rangkaian paralel lebih rendah dari COP TEC rangkaian seri. Selain itu hasil perhitungan efisiensi dengan penambahan beban pendingin vaksin menunjukkan efisiensi tertinggi adalah TEC rangkaian paralel 25,84% dengan daya input pada sistem 20 W dan beban pendingin sebesar 5,17 W, sedangkan efisiensi terkecil adalah TEC rangkaian seri 13,48% dengan daya input 40 W dan beban pendingin sebesar 5,39 W. Hal ini disebabkan suhu yang dihasilkan pada variasi TEC rangkaian paralel lebih rendah dari TEC rangkaian seri, mengindikasikan pada TEC rangkaian paralel arus listrik (I) yang masuk pada TEC lebih besar.

SARAN

Saran yang dapat peneliti berikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan agar kipas DC pada *heatsink* sisi panas menyala secara otomatis jika panas *heatsink* melebihi kapasitas panas maksimum TEC, dan mati saat suhu *heatsink* sudah di bawah kapasitas panas maksimum TEC. Karena suhu pada sisi dingin TEC akan semakin dingin jika suhu sisi panas TEC semakin panas. Penyebaran udara di dalam kotak pendingin juga harus diperhatikan dengan penambahan kipas DC di dalam kotak pendingin, selain itu penempatan TEC lebih baik pada sisi atas kotak pendingin agar penyebaran udara lebih merata.

Penambahan jumlah modul TEC dapat dilakukan untuk menghasilkan suhu yang lebih rendah, akan tetapi efisiensi sistem akan berkurang karena daya yang dipakai semakin besar. Pertimbangkan berat kotak pendingin,

karena penelitian ini tentang penyimpanan vaksin yang *portable* sehingga berat kotak pendingin perlu dipertimbangkan. Berat kotak pendingin dalam penelitian ini 1,81 kg (1 *heatsink* sisi dalam, 2 *heatsink* sisi luar, 2 kipas DC, 2 TEC, kotak pendingin). Jika diasumsikan kotak pendingin terisi penuh oleh beban pendingin (vaksin), maka berat kotak pendingin adalah 7,31 kg.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2005. *Pedoman Teknis Pengelolaan Vaksin dan Rantai vaksin*. Jakarta: Depkes RI.
- [2] Sugiyanto. 2008. Pengembangan Peti insulasi Sepeda Motor Berbasis Termoelektrik dan Heat Pipe. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [3] Wahyu, D., Andriyanto, Hanif, Sukma, R., & Rosa, Y. 2016. Kajian Eksperimental Alat Multi Fungsi Bercahu Daya Termoelektrik Untuk Pendinginan Dan Pemanasan. *Jurnal Rotor*. 2: 46-51.
- [4] Jugsujinda, S., Vora-Ud, A. & Seetawan, T. 2010. Analyzing of Thermoelectric Refrigerator Performance. *Procedia Engineering*. 8: 154–159.
- [5] Aziz, A., Subroto, J. & Silpana, V. 2016. *Aplikasi Modul pendingin Termoelektrik Sebagai Media Pendingin Kotak Minuman*. Riau: Universitas Riau.
- [6] Nulhakim, L. 2017. *Uji Unjuk Kerja Pendingin Ruang Berbasis Thermo Electric Cooling*. Indorama: Politeknik Enjinereng Indorama.
- [7] UNICEF. 2010. *Handbook for Vaccine and Cold Chain Handlers*. New Delhi: UNICEF.
- [8] Putra, F.C., & Repi, V.V.R. 2015. *Perancangan Dan Pembuatan Kotak Pendingin Berbasis Termoelektrik Untuk Aplikasi Penyimpanan Vaksin Dan Obat-Obatan*. Jakarta: Universitas Nasional.