PENGARUH VARIASI THERMOELECTRIC TERHADAP PERFORMA SISTEM PENDINGIN COOLER BOX

Supriyono[1*)], Heru Kuncoro[2)], Basith Sesario Gustiansyah[3)]
[1,2,3)]Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gunadarma
Email: [1)]supriyono@staff.gunadarma.ac.id, [2)]kuncoro@staff.gunadarma.ac.id, [3)]sesariobasith@gmail.com

ABSTRAK

Sistem pendingin yang umum digunakan sekarang menggunakan sistem kompressor dan gas freon yang mana penggunan zat kimia dapat merusak lapisan ozon bumi sehingga berakibat semakin meningkatnya kebutuhan akan suatu sistem pendingin.Refrigeran yang paling banyak digunakan adalah refrigeran Chlorofluorocarbon (CFC) dan Hydrochlorofluorocarbon (HCFC). Maka dari itu diperlukan sistem refrigasi yang ramah lingkungan dan juga memiliki daya yang rendah, hal tersebut dapat terpenuhi dengan penggunaan thermoelectric. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa performa kalor yang diserap, kapasitas pendinginan dan Coefficient of Performance, (COP) pada cooler box berbasis thermoelectric, kinerja thermoelectric dan variasi penambahan variasi penambahan 1,2 dan 3 susunan thermoelectric. Dari hasil penelitian nilai kalor dari pengujian dan penelitian yang telah dilakukan nilai kalor yang diserap mengalami kenaikan dan penurunan dikarenakan pemompaan panas kapasitas modul thermoelectric meningkat seiring dengan arus input kenaikan sampai ke nilai puncak dan kemudian menurun sebagai arus masukan meningkat, namun kapasitas pemompaan panasnya maksimal dengan perbedaan suhu terendah pada setiap masukan yang diberikan arus. Dapat dilihat hasil yang di dapat dari pengujian dengan variasi yang berbeda dengan selang waktu 10 menit pada menit ke-60 dengan1 thermoelektrik nilai Qc yang di dapat sebesar 19.782 kemudian 2 thermoelektrik nilai Qc yang di dapat sebesar 32.570 dan 3 thermoelectric nilai Qc yang di dapat sebesar 26.581. Sedangkan untuk nilai COP akan menurun seiring dengan peningkatan tegangan. Untuk hasil yang di dapat dari pengujian dengan variasi yang berbeda dengan selang waktu 10 menit pada menit ke-60 dengan 1 thermoelectric nilai COP yang di dapat sebesar 0.669 kemudian 2 thermoelektrik nilai COP yang di dapat sebesar 0.405 dan 3 thermolectric nilai COP yang di dapat sebesar 0.156.

Kata kunci : performa, thermoelectric, cooler box, coefficient of performance.

I. PENDAHULUAN

Pendinginan merupakan suatu kebutuhan bagi manusia sebagai pendingin suatu ruangan sehingga temperatur benda dan ruangan tersebut turun lebih rendah dari sekelilingnya[1]. Untuk mengawetkan makanan, salah satu cara yang paling umum digunakan adalah dengan pendinginan. Penyimpanan makanan atau minuman dalam ruangan yang bertemperatur rendah, dapat menurunkan aktivitas enzimatik dan reaksi kimiawi oleh mikroba, sehingga menjadikan makanan tersebut tidak mudah rusak [2]. Saat ini mesin pendingin yang paling banyak digunakan adalah mesin pendingin yang beroperasi dengan siklus kompresi uap (SKU). Untuk mengoperasikan mesin kompresi uap dibutuhkan refrigeran sebagai fluida kerja.[3].

Sistem pendingin yang umum digunakan sekarang ini adalah menggunakan sistem kompressor dan gas freon, yang menggunakan zat kimia dan dapat merusak lapisan ozon bumi, sehingga berakibat semakin meningkatnya kebutuhan akan suatu sistem pendingin. Maka dari itu diperlukan sistem refrigerasi yang ramah lingkungan dan juga memiliki daya yang rendah, hal tersebut dapat terpenuhi dengan penggunaan thermoelectric yang merupakan *solid state technology* yang bisa menjadi alternatif teknologi pendingin pengganti sistem kompresi uap. Penggunaan thermoelectric juga tidak memerlukan ruang yang banyak memungkinkan untuk dibuat mesin pendingin yang portable, sehingga memudahkan penggunaanya jika harus dipindahkan dari satu tempat ketempat lainnya. Namun disamping kelebihannya thermoelectric memiliki kekurangan berupa efisiensinya yang cukup rendah. Sistem pendingin berbasis thermoelectric bergantung pada prinsip konversi energi thermoelektric yang memanfaatkan efek Seebeck dan efek Peltier. Efek Seebeck memanfaatkan perbedaan suhu untuk menciptakan aliran listrik dalam rangkaian thermoelektric. Sebaliknya, efek Peltier menghasilkan perbedaan suhu ketika arus listrik dialirkan melalui rangkaian thermoelektric. Performa thermoelektric dalam sistem pendingin bergantung pada efisiensi konversi energi dari efek Seebeck ke efek Peltier. Performa sistem pendingin thermoelektric juga sangat dipengaruhi oleh material thermoelektric yang digunakan. Material harus memiliki konduktivitas termal yang rendah, konduktivitas listrik yang tinggi, dan koefisien Seebeck yang besar untuk meningkatkan performa pendingin. Selain itu dipengaruhi oleh perbedaan suhu antara bagian panas dan dingin. Semakin besar perbedaan suhu ini, semakin efisien pendinginan yang dihasilkan. Desain thermoelektric yang dioptimalkan dalam hal ukuran, konfigurasi, dan pemilihan bahan sangat penting untuk meningkatkan performa pendinginan [12][13].

Oleh karena itu berdasarkan permasalahan tersebut, maka dalam penelitian ini untuk menganalisis performa sistem pendingin pada cooling box dengan variasi susunan 3 thermoelectric. Penelitian ini dilakukan pada suatu sistem perancangan pendingin berbasis thermoelectric jenis TEC 12706. Dengan melakukan perhitungan spesifikasi thermoelectric, selanjutnya dapat dicari nilai *Seebeck coefficient, electrical resistance, thermal resistance*, dan hasilnya bisa dianalisis dalam bentuk grafik hubungan waktu terhadap suhu, cooling capacity dan COP (*Coefficient of Performance*).

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Pendingin

Saat ini sistem pendingin umumnya menggunakan sistem kompresi uap dimana perlunya komponen berupa: kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator. Keempat komponen tersebut dihubungkan oleh pipa besi atau tembaga hingga menjadi satu rangkaian tertutup sehingga membentuk suatu siklus. Namun seiring dengan perkembangan waktu terdapat *solid state refrigration* yang tidak memerlukan komponen tersebut, cukup digantikan dengan satu komponen berupa modul thermoelectric menggunakan efek Peltier yang memanfaatkan dua logam yang berbeda disambungkan kemudian arus listrik dialirakan pada sambungan tersebut, maka akan terjadi fenomenda pompa kalor yang akan memindahkan panas dari satu sisi ke sisi lainnya.[12]

2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi termal yang terjadi akibat perbedaan

temperatur spasial. Dimana terdapat perbedaan temperatur pada medium atau antar media, perpindahan panas pasti terjadi, tersusun dan gambar detail termasuk daftar komponen, spesifikasi bahan, toleransi dan lainnya. Pada tahap ini semua pekerjaan didokumentasikan sehingga pembuatan produk dapat dilaksanakan oleh operator atau insinyur lain yang ditunjuk[6]. Perpindahan panas adalah bidang yang banyak dibahas dalam tinjauan literatur. Tinjauan ini mencakup berbagai aspek, seperti pentingnya dasar-dasar perpindahan panas dalam berbagai bidang penelitian dan teknik, peningkatan efisiensi perpindahan panas menggunakan metode yang berbeda, termasuk sisipan dan saluran mini persegi, serta pengaruh kehilangan panas dan sifat optik terhadap efisiensi energi surya. sistem termal. Tinjauan literatur perpindahan panas sering kali menyoroti pentingnya efisiensi tinggi, biaya rendah, dan kemajuan ringan dalam teknologi perpindahan panas. Para peneliti fokus pada mekanisme dan metode seperti konduksi, konveksi, radiasi, dan peningkatan perpindahan panas untuk meningkatkan aplikasi industri dan praktis[14].

2.3 Thermoelectric

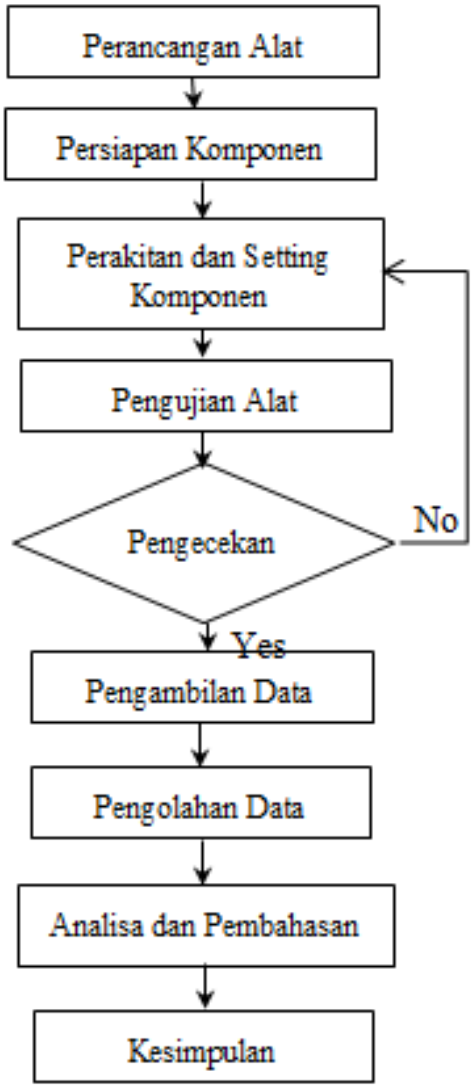
Modul thermoelektric merupakan sirkuit terintegrasi dalam bentuk solid yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek Seebeck, Peltier dan Thompson. Konstruksi thermoelektric terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk termokopel. Modul ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas dan dingin di masing-masing sisinya jika arus listrik digunakan biasanya diaplikasikan sebagai sistem pendingin.[7][8].

Efek Peltier adalah fenomena ketika energi listrik diubah menjadi energi panas yaitu jika dua buah logam material yang berbeda kemudian dialirkan arus listrik searah pada sambungan tersebut, maka akan menghasilkan perbedaan temperatur pada kedua sisi termoelektrik[9]. Efek thermoelektric merupakan fenomena reversibel yang mengarah ke konversi langsung antara energi termal dan listrik[10]. Prinsip inilah yang digunakan thermoelektric sebagai pendingin atau pompa kalor, dimana perbedaan temperatur yang dihasilkan sebanding dengan jumlah arus searah yang dialirkan.

Efek Seebeck adalah fenomena ketika energi panas diubah menjadi energi listrik, pengaplikasiannnya biasa digunakan sebagai pembangkkit listrik, dimana alat yang digunakan disebut thermoelectric generator (TEG)[11][12].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, dimana eksperimen yang dilakukan diawali dari identifikasi masalah dan studi literatur, perakitan dan setting komponen. Eksperimen pada perancangan sistem pendingin cooler box dilakukan dengan variasi 3 thermoelektric, pertama diuji coba untuk menguji apakah berfungsi sesuai harapan atau tidak. Jika terdapat kesalahan, maka dilakukan perbaikan dalam setting atau perakitan komponennya. Selanjutnya dilakukan pengambilan data untuk diolah dan dianalisa terhadap performa sistem pendingin coller box tersebut, yang alurnya disusun Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Alur proses penelitian variasi thermoelectric pada performa cooler box

Sistem pendingin cooler box saat ini yang banyak digunakan untuk penyimpanan makanan, masih menggunakan pendinginan dari es batu (es basah) atau sistem pendingin kompresi uap. Dalam melakukan penelitian ini didasari dengan teori-teori baik dari jurnal atau buku terkait, dengan mempelajari konsep perpindahan panas, pembebanan panas, efek Peltier pada thermoelectric. Studi empiris dilakukan dengan mempelajari dan dengan melakukan perkiraan kebutuhan media pendingin, beban pendingin pada cooler box dan juga penggunaan variasi thermoelectric.

a. **Komponen pada Cooler Box**

Komponen sistem pendingin cooler box yang digunakan adalah :

1. Thermoelectric
   Thermoelectric yang digunakan dengan kode TEC1-12706 yang memiliki dimensi 40x40x3.8 (mm)dengan surface material Aluminum oxide (Al2O3) 96%. Material thermoelectric diambil dari salah satu manufaktur yang membuatnya.
2. Kipas yang digunakan merupakan kipas dengan sumber tegangan satu arah yang memiliki perbedaan ukuran, spesifikasi kipas yang digunakan menggunakan spesifikasi rata-rata kipas pada dimensi yang sama.
3. Thermometer digital
   Thermometer di sini digunakan untuk mengukur suhu ataupun untuk mengetahui derajat dingin atau panas pada sistem pendingin cooler box
4. Voltmeter digital
   Alat ukur yang digunakan untuk mengukur besar tegangan listrik yang ada dalam sebuah rangkaian listrik. Susunannya sesuai dengan lokasi komponen yang diukur, dalam hal ini untuk mengukur tegangan yang digunakan pada sistem pendingin cooler box.
5. Thermostat W 1209
   Thermostat W1209 adalah sistem digital yang berfungsi untuk mengatur adan menjaga suhu sistem pendingin. Untuk menjaga panas dan dingin, dan mengaktifkan pemanas atau pendingin agar suhu tercapai pada derajat tertentu.
6. Converter step down DC
   Converter step down DC adalah rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai penurun tegangan dari DC ke DC (*converter DC-to-DC atau choppers*) dengan metode switching. Untuk menghasilkan tegangan output

yang konstan, DC chopper tipe buck harus ditambah dengan rangkaian feedback sebagai pembanding nilai output dengan nilai refrensi. Selisih antara tegangan keluaran rangkaian yang dibandingkan tegangan referensi akan digunakan untuk menghasilkan duty cycle PWM yang disesuaikan (*auto adjust*) untuk mengontrol switching mosfet.

7. Power supply unit
   Power supply di sini sebagai perangkat keras yang digunakan untuk menyuplai arus listrik yang sebelumnya diubah dari bentuk arus listrik AC menjadi arus DC. Power supply akan menyuplai arus listrik DC yang dibutuhkan dalam sistem pendingin cooler box dengan tegangan 12V, arus 10 A.
8. Cooler box
   Cooler box yang dengan kapasitas 10 L iter dengan ukuran (32.5 x 22.5 x 28.5) cm, material yang digunakan adalah polyethilene sebagai pelapis bagian luar dan dalam dan polyurethane sebagai insulasi. Material tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam menjaga temperatur dalam suatu alat dan juga untuk mencegah masuknya kalor dari luar.
9. Heatsink
   Heatsink digunakan untuk melepas sarana melepas kalor Heatsink yang berbahan aluminum memiliki dimensi (90×90) mm dengan jumlah sirip 20 buah, memiliki nilai thermal conductivity 170 W/m.K dan untuk Heatsink yang berbahan cooper memiliki dimensi (40×40) mm dengan jumlah sirip 10buah.

b. Perakitan dan Setting Komponen

Adapun langkah-langkah perakitan komponen pada sistem pendingin cooler box adalah sbagai berikut :

1. Proses pengukuran dan manufaktur cooler box yang berfungsi untuk memasukan sistem pendingin ke dalam cooler box.
2. Memasang sistem pendingin ke dalam cooler box, yang sudah meliputi berbagai komponen yang mempunyai fungsi masing-masing guna untuk melengkapi di sistem pendinginnya.
3. Hasil akhir cooler box ini semua komponen- komponen pendukung sudah tersusun dan tertempel secara rapih sesuai dengan posisi dan laju aliran listriknya.

c. Pengujian Alat dan Pengambilan Data

1. Pengambilan data menggunakan camera handphone dengan aplikasi intervalometer yang akan mengambil gambar setiap 10 menit dimana output berupa gambar yang akan dicatat manual. Data yang diambil adalah temperatur sisi panas dan sisi dingin thermoletric yang ditampilkan termometer dan juga temperatur ambient dalam cooler box yang tercatat di thermostat.
2. Pengambilan data voltmeter serta ampere meter untuk mengukur tegangan masuk dan arus masuk pada thermoelectric.
3. Pengujian performa thermoelectric dengan variasi yang berbeda yaitu menggunakan 1, 2 dan 3 *thermoelectric*

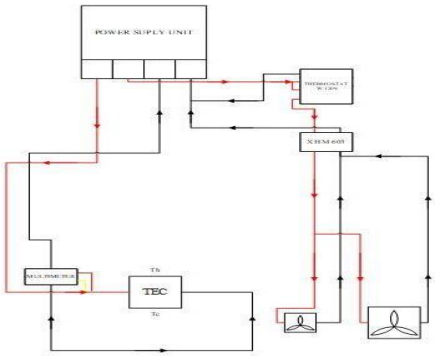
Adapun rancangan sistem pendingin pada cooler box yang digunakan dalam penelitian ini, dapat dilihat seperti Gambar 2 berikut ini.

Gambar 2. Sistem pendingin cooler box

Keterangan gambar:

T1 : Temperatur sisi dingin *thermoelectric*
T2 : Temperatur sisi panas *thermoelectric*
T3 : Temperatur pada cooler box
V2 : Tegangan keluar
V3 : Tegangan masuk thermoelectric

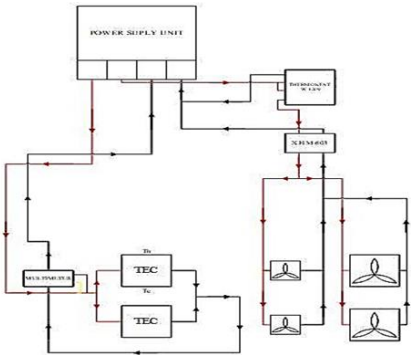
Pengujian yang pertama dalam sistem pendingin cooling box ini menggunakan rangkaian 1 unit thermoelectric, sesuai Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Rangkaian sistem pendingin dan skema pengujian (dengan 1 thermoelectric)

Pengujian dilakukan dengan pengambilan data temperatur panas (Th) dan temperatur dingin (Tc), pada sistem alat pendingin cooling box selama 60 menit dengan mencatat perubahan temperatur tiap selang waktu 10 menit. Selanjutnya dilakukan pengambilan data dan perhitungan terhadap performa sistem pendingin cooling box dengan 1 thermoelectric.

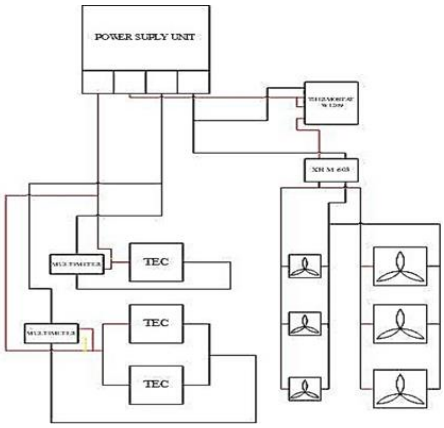
Pengujian yang kedua dilakukan dengan pengambilan data temperatur panas (Th) dan temperatur dingin (Tc), pada sistem alat pendingin cooling box selama 60 menit dengan mencatat perubahan temperatur tiap selang waktu 10 menit, dalam sistem pendingin cooling box ini menggunakan rangkaian 2 unit thermoelectric, sesuai Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Rangkaian sistem pendingin dan skema pengujian (dengan 2 thermoelectric)

Pengujian yang ketiga dilakukan dengan pengambilan data temperatur panas (Th) dan temperatur dingin (Tc), dalam sistem pendingin cooling box ini dengan menggunakan rangkaian 3 unit thermoelectric. Pengujian pada sistem alat pendingin cooling box selama 60 menit dengan mencatat perubahan temperatur tiap selang waktu 10 menit, sesuai Gambar 5 di bawah ini.

Setelah didapat data berupa tegangan, suhu maksimum dan minimum, suhu cooler box data bisa diolah untuk mencari beban pendinginan untuk mendapat peforma thermoelectric. Data bisa disusun untuk membentuk grafik agar lebih mudah dianalisa. Analisa data dan pembahasan yang dilakukan dengan mengolah data hasil pembacaan thermometer dan simulasi. Data hasil pembacaan thermometer dilakukan pengolahan sehingga didapatkan grafik dari beberapa variable yang terkontrol yaitu tegangan masuk.



Gambar 5. Rangkaian sistem pendingin dan skema pengujian (dengan 3 thermoelectric)

Kesimpulan diambil dari hasil percobaan yang telah dilakukan dan analisa sistem pendingin yang telah dirancang. Saran diberikan untuk percobaan dan pengembangan variasi alat dan komponen selanjutnya karena tidak menutup kemungkinan dilakukan penyempurnaan rancangan pada sistem sehingga didapatkan hasil yang maksimal.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prinsip kerja dari sistem pendingin cooler box ini adalah berbasis thermoelectric, ketika diberi tegangan masuk maka akan menyebabkan perbedaan suhu pada sisi dingin dan sisi panas, pada sisi dingin thermoelectric akan menyerap kalor dari dalam cooler box dan membuangnya keluar pada sisi panas dengan bantuan heatsink dan kipas.

Pada sistem pendingin cooler box ini dilakukan pengujian dengan variasi susunan 1, 2 dan 3 thermoelectric yang berbeda, yang akan dianalisa terhadap performa thermoelectric tersebut. Dimana data akan disajikan berupa grafik hubungan antara kalor yang diserap, tegangan masuk dan nilai COP. Untuk titik pengujian terletak pada sisi panas dan sisi dingin thermoelectric dapat dilihat pada skema pengujian dimana terdapat termometer untuk mengukur temperaturnya, dan untuk tegangan masuk dapat dilihat pada voltmeter.

Sebelumnya akan dilakukan perhitungan spesifikasi thermoelectric, yang berguna untuk mencari nilai hasil dari *Seebeck coefficient, electrical resistance, thermal resistance*. Kemudian dari nilai tersebut dapat dilanjutkan ke perhitungan untuk mengetahui performa sistem pendingin cooling box dengan variasi 1,2 dan 3 unit thermoelectric

4.1 Perhitungan Performa Pendingin dengan Variasi 1,2 dan 3 Thermoelectric

Berikut ini adalah perhitungan performa sistem pendingin dengan 2 *thermoelectric* pada tegangan masuk 10V pada menit ke 10:
Seebeck Coefficient (Sm) : 0.053 V/K
Electrical Resistance (Rm) : 2.1 Ω
Thermal Resistance (Θm) : 1.95 K/W
Arus thermoelectric (I) : 5.77 A
Temperatur sisi panas thermoelectric (Th):317.5 K
Temperatur sisi dingin thermoelectric (Tc):280.6 K

a. *Cooling Capacity* (Qc) :

$$Qc = Sm\ x\ Tc\ x\ I - \frac{I^2 \times R_m}{2} - \frac{(Th-Tc)}{\theta m} \quad (1)$$

Q_c = 31.93 W

b. *Heat Rejected* (Qh) :

$$Qh = Sm\ x\ Th\ x\ I + \frac{I^2 \times R_m}{2} - \frac{(Th-Tc)}{\theta m} \quad (2)$$

Q_h = 113.129 W

c. *Electrical Power Input to Module* (Pm) :

$$Pm = Sm\ x\ (Th - Tc) x\ I + I^2\ x\ R_m \quad (3)$$

P_m = 81.199 W

d. *Coefficient of Performance* (COP) :

$$COP = \frac{Qc}{Pm} \quad (4)$$

$COP = 0.393$

Berikut data rata-rata hasil pengujian dengan 1 thermoelectric dengan selang waktu 10 yang ditabelkan seperti di bawah ini:

Tabel 1. Hasil perhitungan performa (1 TEC)

Waktu (menit)	Tc (k)	Th (k)	I (A)	Qc (W)	Qh (W)	Pin (W)	COP
10	281.7	317.7	3.33	19.612	49.253	29.640	0.662
20	281.1	317.6	3.33	19.250	48.979	29.729	0.648
30	281	317.4	3.33	19.284	48.995	29.711	0.649
40	281.8	317.5	3.33	19.784	49.371	29.587	0.669
50	281.6	317.3	3.33	19.749	49.336	29.587	0.667
60	281.5	317.1	3.33	19.782	49.352	29.570	0.669

*Untuk nilai Tc dan Th telah dikonversi dari celcius menjadi kelvin

Data rata-rata hasil pengujian dengan 2 thermoelectric selang waktu 10 menit yang ditabelkan seperti di bawah ini:

Tabel 2. Hasil perhitungan performa (2 TEC)

Waktu (menit)	Tc (k)	Th (k)	I (A)	Qc (W)	Qh (W)	Pin (W)	COP
10	280.6	317.5	5.77	31.930	113.129	81.199	0.393
20	280.6	317.8	5.77	31.776	113.067	81.291	0.391
30	280.9	317.5	5.77	32.175	113.283	81.108	0.397
40	281.2	317.4	5.77	32.444	113.168	80.724	0.402
50	280.9	317.3	5.77	32.222	112.746	80.524	0.400
60	281.2	317.1	5.77	32.570	112.942	80.372	0.405

*Untuk nilai Tc dan Th telah dikonversi dari celcius menjadi kelvin

Adapun data rata-rata hasil pengujian dengan 3 thermoelectric selang waktu 10 menit yang ditabelkan seperti di bawah ini:

Tabel 3. Hasil perhitungan performa (3 TEC)

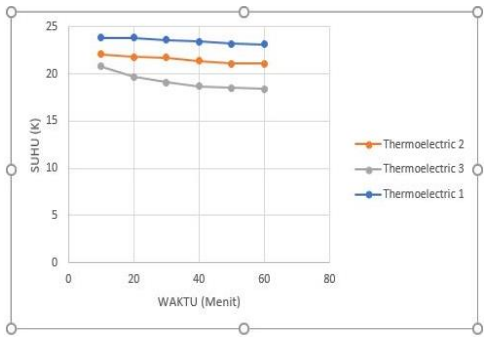
Waktu (menit)	Tc (k)	Th (k)	I (A)	Qc (W)	Qh (W)	Pin (W)	COP
10	276.3	315.2	8.5	28.662	197.911	169.249	0.169
20	275.5	315.2	8.5	27.891	197.501	169.610	0.164
30	275.1	314.9	8.5	27.660	197.315	169.655	0.163
40	274.9	314.7	8.5	27.570	197.225	169.655	0.163
50	274.6	315.4	8.5	26.922	197.027	170.105	0.158
60	274.3	315.5	8.5	26.581	196.867	170.286	0.156

*Untuk nilai Tc dan Th telah dikonversi dari celcius menjadi kelvin

4.2 Hubungan Performa Waktu dengan Suhu, Cooling Capacity dan COP

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan, maka bisa disusun grafik untuk mengetahui hubungan beberapa parameter yang digunakan. Berikut pembahasan dengan menggunakan grafik hubungan antara waktu (menit) terhadap suhu (^{o}K) dengan variasi 1,2 & 3 thermoelectric, seperti Gambar 4 dibawah ini.

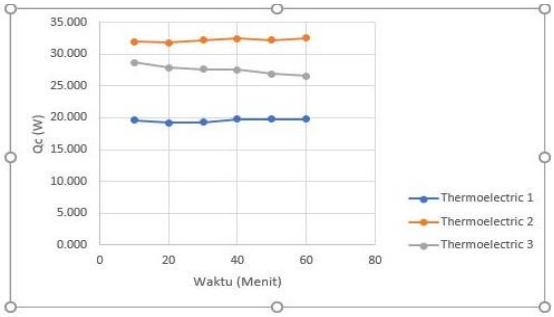
Berdasarkan Gambar 4. menunjukan hasil pengukuran menggunakan 3 thermoelectric mengalami penurunan di setiap pengujian 1 thermoelectric, 2 thermoelectric maupun 3 thermoelctric. Dan dari 3 variasi penggunaan thermoelectric menunjukan bahwa dengan 3 buah thermoelectric (TEG) dengan elemen 3 peltier menghasilkan capaian suhu lebih rendah.



Gambar 4. Hubungan waktu dan suhu dengan variasi 1,2 & 3 thermoelectric

Capaian suhu tiap-tiap pendingin TEC tergantung pada jumlah arus yang digunakan. Capaian suhu pada tiap TEC juga dipengaruhi oleh volume ruang pendingin.

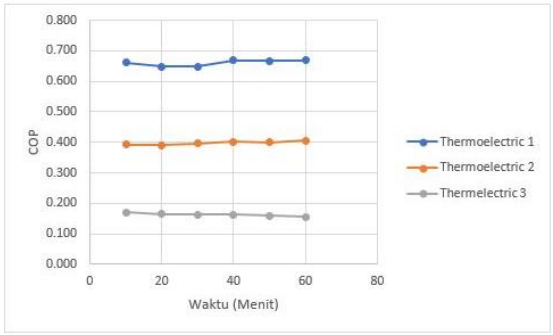
Selanjutnya berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan juga bisa disusun grafik hubungan antara waktu (menit) dengan cooling capacity (Qc) dengan variasi 1,2 dan 3 thermoelectric, seperti Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Hubungan waktu terhadap cooling capacity dengan variasi 1,2 & 3 thermoelectric

Berdasarkan Gambar 5 menunjukan grafik pengaruh tegangan listrik yang diberikan terhadap cooling capacity (Qc) yang diserap sisi dingin rata-rata selama menit 60. Dari grafik dapat dilihat peningkatan dan penurunan nilai kalor yang diserap dipengaruhi dari peningkatan tegangan listrik. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai kalor yang diserap sebanding dengan peningkatan tegangan yang diberikan, dimana semakin besar tegangan yang diberikan maka kalor yang diserap akan lebih tinggi, hal ini akan membuat penurunan temperatur jauh lebih tinggi.

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan juga bisa disusun grafik hubungan antara waktu (menit) dengan *coefficient of performance* (COP) dengan variasi 1,2 dan 3 thermoelectric, seperti Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Hubungan waktu terhadap COP dengan variasi 1,2 & 3 thermoelectric

Berdasarkan Gambar 6 menunjukan grafik pengaruh waktu yang diberikan terhadap COP untuk rata-rata selama 60 menit. Dari grafik dapat dilihat nilai COP akan menurun seiring dengan pemakaian thermoelectric yang berbeda. Nilai COP merupakan ukuran efisiensi dari suatu termoelektrik pendingin yang dapat diketahui dari perbandingan besarnya kalor yang diserap pada sisi dingin (Qc) terhadap besarnya daya listrik yang masuk pada modul *thermoelectric* (Pm). Untuk saat ini thermoelektric pendingin memiliki nilai COP yang masih rendah sehingga belum bisa bersaing dengan sistem pendingin kompresi uap. Pengamatan pada sisi panas, sisi dingin, dan beda temperature bertujuan untuk melihat bagaimana kinerja thermoelektric ketika pemberian tegangan yang berbeda pula. Semakin tinggi tegangan listrik yang diberikan maka temperatur sisi panas akan semakin tinggi dan setelah pengamatan selama 60 menit temperatur sisi panas belum konstan, masih terjadi peningkatan dan penurunan . Begitu juga untuk temperatur sisi dingin.

V. SIMPULAN

Beradasarkan hasil pengujian dan perhitungan terhadap performa sistem

pendingin dengan menggunakan variasi 1,2 dan 3 thermoelectric maka dapat disusun kesimpulan:

1. Perancangan sistem pendingin *cooler box* disusun sedemikian rupa, yang terdiri dari beberapa komponen seperti : kipas besar dan kecil, *thermoelectric* (1,2 &3), *heat shink,* thermometer digital, voltmeter digital, thermostat W 1209, *converter step down DC, power supply unit.*
2. Dari pengujian yang telah dilakukan nilai kalor yang diserap mengalami kenaikan dan penurunan dikarenakan pemompaan panas kapasitas modul thermoelectric meningkat seiring dengan arus input kenaikan sampai ke nilai puncak dan kemudian menurun sebagai arus masukan meningkat, namun kapasitas pemompaan panasnya maksimal dengan perbedaan suhu terendah pada setiap masukan yang diberikan arus. Dapat dilihat hasil yang di dapat dari pengujian dengan variasi yang berbeda dengan selang waktu 10 menit untuk di menit ke-60 1 dengan thermoelectric, nilai Qc yang di dapat sebesar 19.782 W, kemudian 2 thermoelektric nilai Qc yang di dapat sebesar 32.570 W. Dan dengan 3 thermoelectric nilai Qc yang di dapat sebesar 26.581 W. Sedangkan untuk nilai COP akan menurun seiring dengan peningkatan tegangan. Untuk hasil yang di dapat dari pengujian dengan variasi yang berbeda dengan selang waktu 10 menit untuk di menit ke-60 dengan 1 thermoelectric nilai COP yang di dapat sebesar 0.669 kemudian 2 thermoelektrik nilai COP yang di dapat sebesar 0.405 dan 3 thermolektrik nilai COP yang di dapat sebesar 0.156.
3. Dari ketiga pengujian thermoelectric menunjukan bahwa penggunaan 3 buah thermoelectric menghasilkan capaian suhu yang paling rendah. Capaian suhu heatshink tiap-tiap pendingin thermoelectric tergantung pada jumlah arus yang digunakan. Semakin kecil volume benda mengakibatkan jumlah panas yang berpindah ke heatshink juga makin sedikit sehingga menghasilkan suhu heat shink yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Munib Ahsani, 2016 “Rancang Bangun Pendingin Ruangan Portable Dengan Memanfaatkan Efek Perbedaan Suhu Pada Thermo Electric Cooler (TEC)”.

2] Soedjono, D. M., Pamungkas, G. A., Mirmanto, H., & Gianita, F. S., 2019, “Kaji Eksperimental Portable Cool Box Menggunakan TEC1-12705 Cascade”,Prosiding SENIATI, 281-287.

[3] Siagian, S., 2017, “Perhitungan Beban Pendingin Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Ikan Tuna Pada PT. X.”, Jurnal Bina Teknika, 13(1), 139-149.

[4] Flipse, J., Bakker, F. L., Slachter, A., Dejene, F. K., & Van Wees, B. J., 2012, “Direct observation of the spin-dependent Peltier effect”, Nature nanotechnology, *7*(3), 166-168.

[5] Incropera, DeWitt, Bergman, dan Lavine, 2007, “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*”, Edisi 6, John Wiley & Sons, USA.

[6] Champier, D., Bédécarrats, J. P., Kousksou, T., Rivaletto, M., Strub, F., & Pignolet, P., 2011, “*Study of a TE (thermoelectric) generator incorporated*

in a multifunction wood stove. Energy", 36(3), 1518-1526.

[7] Champier, D., Bedecarrats, J. P., Rivaletto, M., & Strub, F.,2010, "*Thermoelectric power generation from biomass cook stoves*" Energy, *35*(2), 935-942.

[8] Enescu, D., 2019, "*Thermoelectric Energy Harvesting: Basic Principles and Applications",* In *Green Energy Advances*. IntechOpen.

[9] Brownell, E., & Hodes, M., 2014, "*Optimal design of thermoelectric generators embedded in a thermal resistance network*". IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, *4*(4), 612-621.

[10] Champier, D., Bédécarrats, J. P., Kousksou, T., Rivaletto, M., Strub, F., & Pignolet, P.,2011, "*Study of a TE (thermoelectric) generator incorporated in a multifunction wood stove*", Energy, *36*(3), 1518-1526.

[11] C. Qi, Z. Bian, J. Liu, "*Experimental study and theory analysis of semiconductor refrigerator optimization design design working status*", Cryogenics , 155 (1) (2007) 43- 46.

[12] Wisnu Indrawan dan Suryono Suryono, 2019, Sistem Pendingin menggunakan Thermoelectric Cooler dengan Kontroler Proportional-Integral-Derivative", Berkala Fisika, Vol.22, No.2, 68-76.

[13] Saleh Al-Shehri, Hamed H. Saber, 2020, "*Experimental Investigation of using Thermoelectric Cooling for Computer Chip*" Journal of King Saud University-Engineering Sciences, Vol.32, 321-329.

[14] R.J. Goldstein, E.R.G. Eckert, W.E. Ibele, S.V. Patankar, T.W. Simon, T.H. Kuehn, P.J. Strykowski, K.K. Tamma, A. Bar-Cohen, J.V.R. Heberlein, J.H. Davidson, J. Bischof, F.A. Kulacki, U. Kortshagen, S. Garrick.,2002, "*Heat Transfer – a Review of 2000 Literature*", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.45, 2853-2957.