

Pengembangan Alat Uji Kualitas dan Karakteristik Elemen Peltier

Nandy Putra, Axel Hidayat

Laboratorium Perpindahan Kalor

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424

Email: nandyputra@eng.ui.ac.id

Abstrak

Pengujian modul termoelektrik atau Elemen Peltier biasanya ditujukan untuk mendapatkan informasi mengenai perbedaan temperatur maksimum antara sisi panas dan sisi dingin elemen peltier dan COP (Coefficient of Performance). Sehubungan dengan pengembangan peralatan-peralatan berbasis modul termoelektrik sebagai pompa kalor, pengujian terhadap modul termoelektrik perlu dilakukan karena modul TE (termoelektrik) yang saat ini banyak beredar di pasar tidak mencantumkan standar spesifikasi yang jelas. Penggunaan modul TE yang sesuai dengan spesifikasi akan memberikan performa yang optimal pada rancangan alat. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat uji kualitas dan spesifikasi elemen peltier. Pada paper ini dijelaskan tentang alat uji yang dikembangkan dan pengujian modul TE dengan menggunakan perhitungan daya listrik, COP dan beda temperatur. Design alat uji dibuat secara sederhana, dan cara kerjanya pun tidak rumit. Alat uji memiliki 2 buah waterblock yang dialiri air, yang berfungsi sebagai alat pengukur kalor yang diserap dan dilepaskan dari masing-masing sisi modul TE. Hasil design alat pengujian cukup kompak dan dapat digunakan sebagai alat uji kualitas dan karakteristiki elemen peltier.

Kata kunci: Elemen Peltier, Termoelektrik, Pompa kalor.

1. Pendahuluan

Modul termoelektrik atau biasa disebut sebagai elemen peltier adalah sebuah alat yang dapat berkerja sebagai pompa kalor. Termoelektrik menggunakan efek peltier sebagai prinsip kerjanya. Elemen Peltier banyak dijumpai di berbagai aplikasi misalnya sebagai pendingin minuman kaleng, lemari pendingin skala kecil, aplikasi laser, alat-alat kedokteran dan saat ini elemen peltier ini juga mulai digunakan untuk mendinginkan processor di unit-unit komputer karena sistem pendingin heat sink fan yang biasa digunakan pada komputer sudah tidak lagi mampu untuk menyerap kalor yang dihasilkan oleh processor sebagai akibatnya temperatur pada procesor meningkat sehingga processor tidak dapat beroperasi dengan optimal dan cepat rusak.

Bentuk dan ukurannya yang kecil serta praktisnya elemen peltier sebagai pompa kalor, membuat makin banyak orang menggunakan elemen peltier sebagai media pendinginan pada aplikasi-aplikasi tertentu. Makin tingginya permintaan akan elemen peltier ini, mengakibatkan makin banyak elemen peltier yang ditawarkan di pasaran. Pada beberapa produk elemen peltier dengan harga yang relatif mahal, pengguna memperoleh spesifikasi yang jelas mengenai kemampuan elemen peltier dari bagaimana ukuran sampai pada perbedaan temperatur tertinggi yang bisa dicapai oleh satu elemen peltier. Namun demikian tidak semua elemen peltier yang ditawarkan di pasaran dilengkapi dengan spesifikasi dan kualitas yang jelas khususnya untuk elemen peltier dengan harga yang sangat murah untuk produk elemen peltier yang serupa.

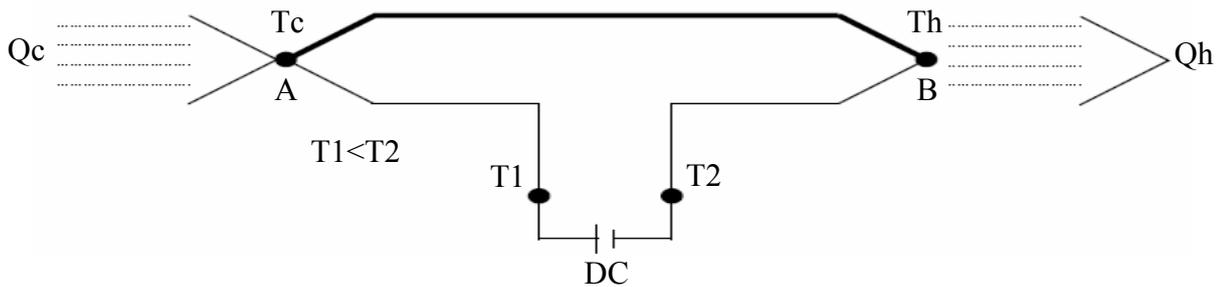
Selain daripada itu dalam pengembangan produk kotak vaksin yang dilakukan di Laboratorium Perpindahan Kalor DTM FTUI [1,2,3] telah digunakan elemen peltier yang disusun ganda untuk mendapatkan temperatur di bagian tempat penyimpanan vaksin berkisar antara 2-8°C, namun demikian unjuk kerja optimal elemen peltier yang disusun ganda belum diketahui secara tepat, untuk itu perlu diketahui unjuk kerja elemen peltier yang disusun ganda agar diperoleh hasil rancangan yang optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk pengembangan alat uji kualitas dan karakteristik elemen peltier yang nantinya dapat digunakan tidak hanya untuk mengetahui unjuk kerja atau kualitas satu elemen

peltier, akan tetapi juga apabila elemen peltier tersebut disusun ganda atau lebih (cascade). Pada paper ini akan dibahas mengenai pengembangan dan hasil pengujian untuk elemen peltier tunggal.

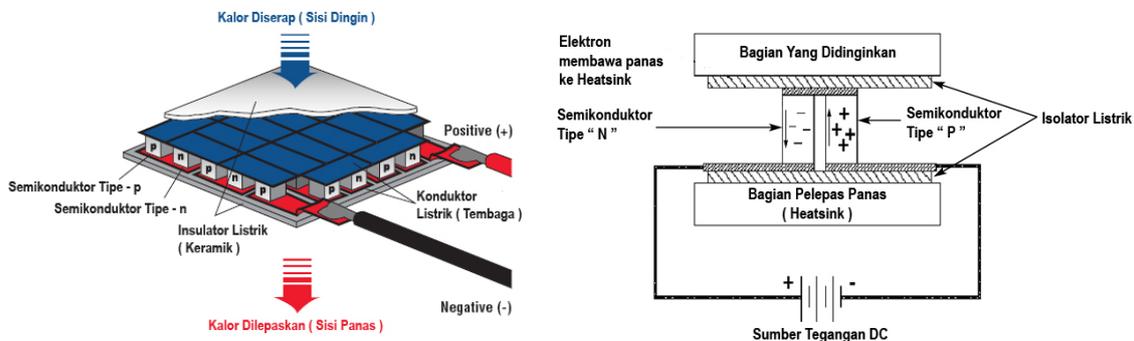
2. Elemen Peltier

Terlihat pada gambar 1, bahwa jika 2 buah kawat logam dengan material yang berbeda (material A dan B) diberikan perbedaan tegangan, maka akan menghasilkan perbedaan temperatur di kedua sisinya. Perbedaan temperatur yang dihasilkan sebanding dengan jumlah arus searah yang dialirkan, sehingga nantinya ada bagian yang akan menyerap kalor dan ada bagian yang melepaskan kalor. Fenomena tersebut adalah efek peltier merupakan kebalikan dari fenomena efek Seebeck.



Gambar 1. Efek Peltier

Pada gambar 2 dapat dilihat skema elemen peltier dengan sambungan semikonduktor p dan n. Hal yang perlu diperhatikan dari efek Seebeck dan Peltier adalah bahwa keduanya bersifat reversibel. Artinya jika kutub sumber energi dibuat terbalik, maka panas dan dinginnya akan bertukar tempat pada ujung-ujung sambungan.



Gambar 2. Skema elemen peltier

Kemudian di dalam pemilihan dan perhitungan pada modul termoelektrik terdapat tiga parameter penting yang perlu diperhatikan yaitu [4]:

1. Temperatur Permukaan Sisi Panas Peltier/hot side (T_h)

Sisi panas peltier merupakan bagian dimana kalor akan dilepaskan pada saat catu daya DC disambungkan. Untuk melepaskan kalor secara efektif maka pada sisi ini biasanya dipasang suatu alat penukar kalor (*heat Exchanger*) atau dengan *Heatsink* yang menggunakan media udara baik secara natural ataupun konveksi paksa. Pada aplikasi elemen peltier untuk proses pendinginan, temperatur pada sisi panas ini perlu dijaga konstan pada temperatur tertentu karena dapat mempengaruhi temperatur sisi dingin yang diinginkan dan apabila kalor pada sisi panas ini tidak segera diserap oleh alat penukar kalor atau dilepaskan ke lingkungan maka temperatur pada sisi panas ini akan terus meningkat yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan pada sambungan semi konduktor p dan n. Terdapat dua faktor penting yang mempengaruhi nilai temperatur sisi panas modul, yaitu:

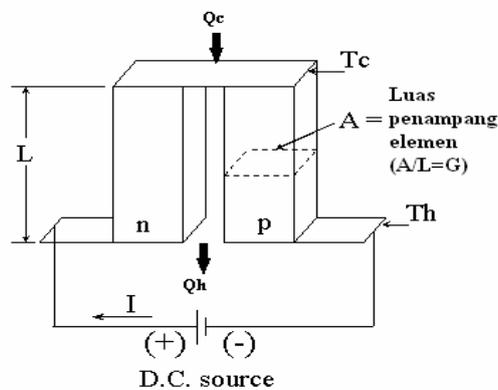
- Temperatur ambien lingkungan
- Efisiensi *Heatsink-Fan* atau *heat exchanger* yang digunakan pada sisi panas modul.

Temperatur sisi panas (*hot side*) dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$T_h = T_{amb} + (\Theta)(Q_h) \quad (1)$$

Kemudian terlihat pada gambar 3 hubungan antara suplai daya yang diberikan dengan nilai kalor yang diserap pada sisi dingin dan kalor yang dilepas pada sisi panas. Hubungan antara kalor yang dilepas pada sisi panas dan kalor yang diserap sisi dingin serta energi listrik yang diberikan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q_h = Q_c + P_{in} \quad (2)$$



Gambar 3 Skema Penampang Sambungan

2. Temperatur Permukaan Sisi Dingin Peltier/Cold Side (T_c)

Sisi dingin Peltier merupakan bagian yang temperaturnya lebih rendah saat catu daya DC disambungkan. Dalam perancangan peralatan, temperatur pada sisi dingin ini biasa terlebih dahulu ditentukan sebagai dasar perhitungan. Sehingga untuk mendapatkan temperatur dingin yang diinginkan maka temperatur sisi panas yang kemudian harus diatur. Untuk menentukan temperatur sisi panas digunakanlah parameter beda temperatur antara *hot side* dan *cold side* disimbolkan sebagai (ΔT) yang merupakan kemampuan elemen peltier selain dengan menyerap kalor yang dihasilkan pada sisi panas juga dapat memvariasikan tegangan dan kuat arus yang masuk ke elemen peltier. Beda temperatur (ΔT) dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (3)$$

Beda temperatur (ΔT) menjadi parameter penting untuk mengetahui kualitas atau kemampuan elemen Peltier khususnya untuk proses pendinginan. Dengan mengetahui (ΔT) maksimum yang dapat dicapai oleh suatu elemen peltier, maka T_c yang ingin dicapai bisa dilakukan dengan mengatur atau menjaga temperatur di sisi panas atau T_h . Secara umum pencapaian ΔT ($T_h - T_c$) dari modul termoelektrik selalu mendekati konstan, untuk lebih jelasnya lihat gambar 4. Jika T_h semakin rendah maka T_c semakin dingin, bila T_h semakin tinggi maka T_c tidak terlalu dingin. Gambar 4 juga memperlihatkan profil temperatur sistem termoelektrik.

3. Beban Pendinginan yang dapat diserap dari kompartemen dingin (Q_c)

Beban kalor adalah jumlah total kalor yang harus dipindahkan oleh modul termoelektrik dari objek yang hendak didinginkan ke lingkungan. Terdapat dua jenis beban kalor yang harus diatasi, yaitu :

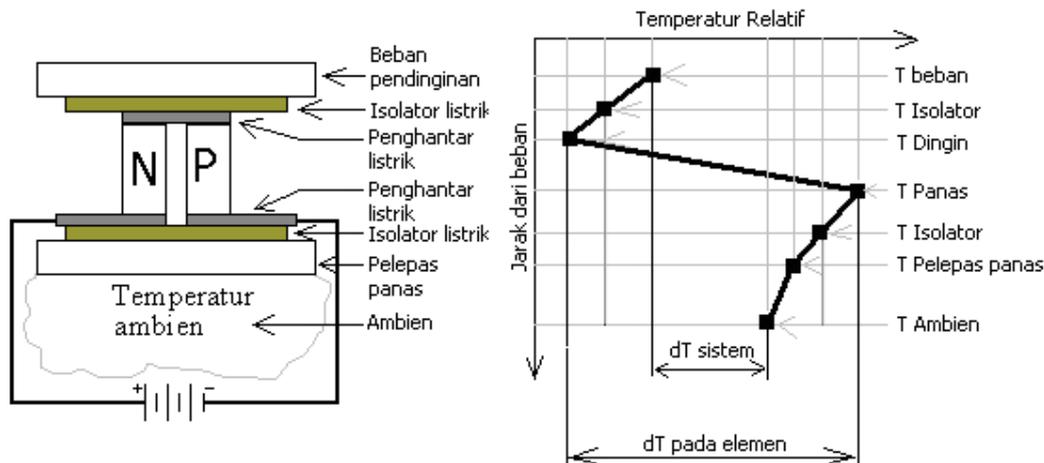
a. Beban Kalor Aktif

Beban kalor aktif terjadi jika adanya bagian dari beban yang menghasilkan kalor. Sebagai contoh adalah pelepasan kalor yang terjadi pada rangkaian listrik. Pada kasus aplikasi termoelektrik beban kalor aktif dapat sepenuhnya diabaikan. Persamaan umum untuk mencari beban kalor aktif adalah :

$$Q_{Aktif} = V.I = \frac{V^2}{R} = I^2 .R \quad (\text{Watt}) \quad (4)$$

b. Pasif

Beban kalor pasif adalah sejumlah kalor yang pindah dari lingkungan ke objek yang sedang didinginkan akibat isolasi yang kurang baik, adanya fenomena konduksi, konveksi, serta radiasi. Perpindahan kalor radiasi pada sistem ini dapat diabaikan, karena efek yang ditimbulkan cukup kecil. Beban kalor pasif yang terjadi pada perancangan sebaiknya semaksimal mungkin dihilangkan agar tidak terjadi kehilangan kalor (*heat loses*) pada proses pendinginan.



Gambar 4 Profil temperatur modul TEC [3]

Daya kerja Modul termoelektrik

Perkembangan termokopel saat ini sangatlah pesat, Bahan semikonduktor yang biasa digunakan pada termokopel di elemen peltier untuk tipe 'n' dan 'p' adalah *bismuth telluride*. Kinerja suatu modul termoelektrik secara sederhana dinyatakan dalam bentuk skema pada gambar 4 dan perhitungannya melalui persamaan-persamaan dibawah ini;

Panas yang dipompa pada permukaan dingin (watts);

$$Q_c = 2N[\alpha I T_c - I^2 \rho / 2G - \kappa \Delta T] \quad (5)$$

Tegangan listrik (volts);

$$V = 2N[I \rho / G + \alpha \Delta T] \quad (6)$$

Arus maksimum (amps);

$$I_{max} = (\kappa G / \alpha) [\sqrt{1 + 2ZT_h} - 1] \quad (7)$$

Arus listrik optimum (amps);

$$I_{opt} = \kappa \Delta T G (1 + \sqrt{1 + Z \bar{T}}) / (\alpha \bar{T}) \quad (8)$$

COP Optimum pada I_{opt} ;

$$COP_{opt} = (\bar{T} / \Delta T) \left(\frac{\sqrt{1 + Z \bar{T}} - 1}{\sqrt{1 + Z \bar{T}} + 1} \right) - 1/2 \quad (9)$$

COP terhadap P_{in} ;

$$COP = Q_C / P_{in} \quad (10)$$

Maximum ΔT , dengan $Q_C = 0$ ($^{\circ}C$ or K);

$$\Delta T_{max} = T_h - [\sqrt{1 + 2ZT_h} - 1] / Z \quad (11)$$

Tabel 1 merupakan parameter-parameter yang dapat digunakan untuk perhitungan persamaan diatas.

Tabel 1 Material parameter [4]

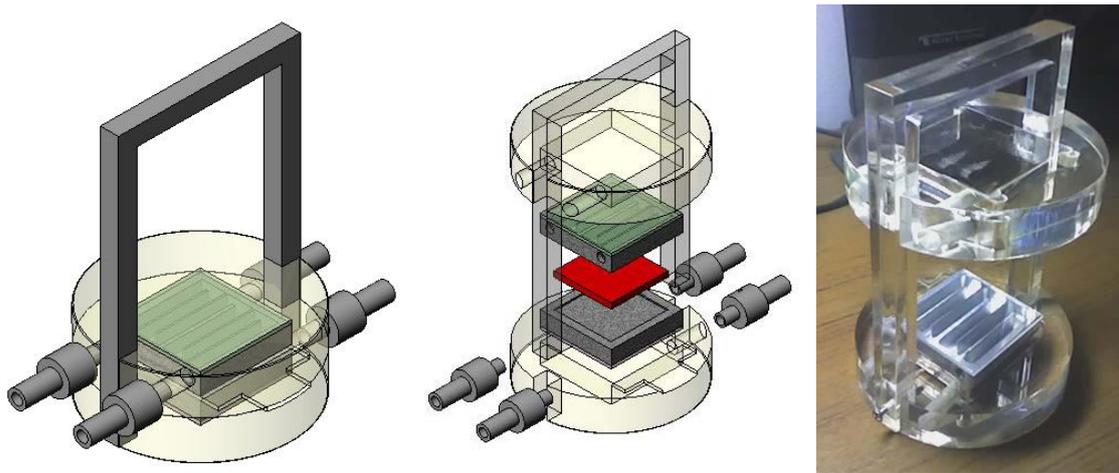
\bar{T} (K)	α ($10^{-4}V/K$)	ρ (10^3ohm.cm)	κ ($10^3W/cm.K$)	Z ($10^{-3}1/K$)
225	1.70	0.68	1.87	2.23
250	1.84	0.80	1.77	2.38
273	1.94	0.92	1.61	2.54
300	2.02	0.10	1.51	2.68
325	2.07	1.16	1.53	2.44
350	2.10	1.28	1.55	2.22
375	2.00	1.37	1.58	1.88
400	1.96	1.48	1.63	1.59
425	1.90	1.58	1.73	1.32
450	1.85	1.68	1.88	1.06
475	1.85	1.76	2.09	0.87

3. Alat Uji Kualitas Elemen Peltier

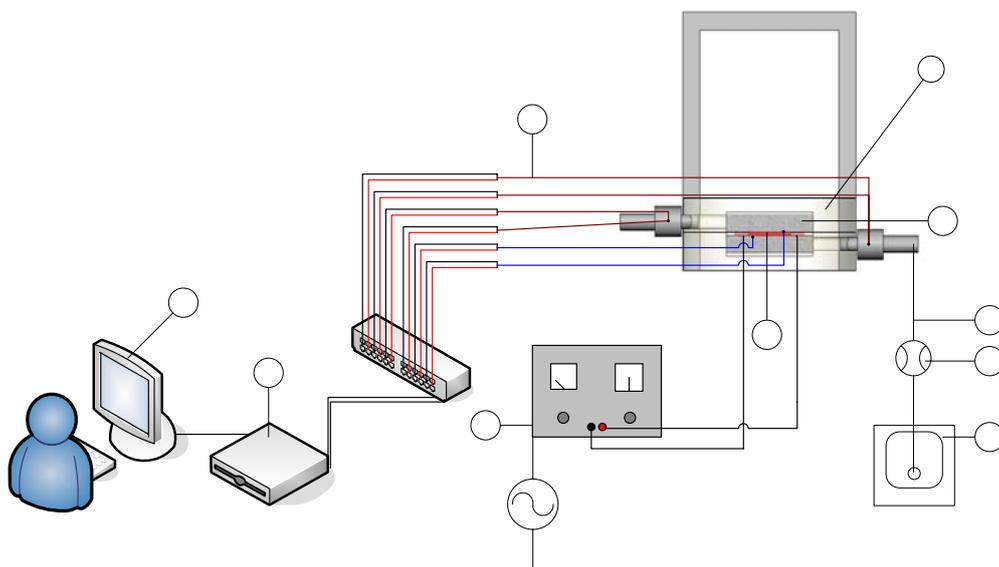
Parameter yang dibutuhkan untuk mengetahui kualitas dan karakteristik elemen peltier adalah ΔT antara sisi panas dan sisi dingin elemen peltier, tegangan atau kuat arus optimal, dan COP elemen peltier. Selain daripada itu alat uji ini juga dikembangkan untuk menguji kualitas dan karakteristik elemen peltier apabila elemen peltier tersebut disusun bertingkat (*cascade*) nantinya. Untuk menghitung COP dari elemen peltier perlu diketahui parameter seperti q_{cold} , dan P_{in} , untuk itu alat uji dilengkapi dengan dua alat penukar kalor yang masing-masing berfungsi untuk mengukur kalor yang diserap dan kalor yang dilepaskan oleh sisi dingin dan sisi panas elemen peltier. Gambar 5 memperlihatkan alat uji kualitas elemen peltier yang telah dikembangkan. Alat ini terdiri dari casing yang terbuat dari acrylic, alat penukar kalor atau *waterblock* yang terbuat dari aluminium, dan alat penunjang lainnya seperti *DC voltage regulator*, selang air dan *flow meter*. Elemen Peltier yang diuji maksimum berukuran 40 x 40 mm, dengan dimensi alat uji antara lain adalah: casing bagian bawah berdimensi 100 mm dan tebal 22 mm, casing bagian atas berdiameter 100 mm dengan tebal 20 mm. Agar alat uji dapat digunakan untuk pengujian elemen peltier bertingkat maka pada alat uji dipasang batang penyangga agar *waterblock* bagian atas dapat digerakan secara vertikal ke atas dan ke bawah. Batang penyangga memiliki ukuran sekitar 150mm tinggi dan 10 mm tebal. Instalasi alat secara keseluruhan ditampilkan pada gambar 5.

Pada gambar 6 dapat dilihat skema instalasi alat uji. Pada skema alat uji dapat dilihat bahwa modul termoelektrik (5) yang akan diuji kualitasnya diletakan di antara dua buah *waterblock* (7) yang diisolasi dengan casing acrylic (6). Air dialirkan dari kran (10) menuju *waterblock* yang laju alirannya diukur dengan flowmeter (9). Temperatur air masuk *waterblock* diukur dengan termocouple(4). Kalor aliran air yang mengalir di dalam *waterblock* yang dipasang pada sisi dingin Peltier Elemen akan diserap oleh elemen peltier, kemudian temperatur air keluar dari *waterblock* diukur dengan

termocouple, begitu pula untuk sisi panas elemen peltier, air yang mengalir di dalam *waterblock* akan menyerap kalor dari sisi panas elemen peltier dan temperatur air keluar dari *waterblock* ini diukur dengan termocouple. Termocouple juga dipasang masing-masing pada lokasi antara *waterblock* dan sisi-sisi elemen peltier. Keseluruh kabel termocouple disambungkan dengan data akusisi (2) yang terkoneksi dengan komputer (1) dan dengan software tertentu temperatur yang terukur dikontrol dan data yang tercatat langsung tersipan di dalam harddisc untuk pengolahan data selanjutnya. Voltage regulator yang berfungsi juga sebagai DC power supply (3) disambung ke Elemen Peltier, dengan alat ini tegangan pada elemen peltier dapat divariasikan sehingga tegangan optimal pada elemen peltier dapat diketahui.



Gambar 5. Alat uji kualitas Elemen Peltier.



Gambar 6. Skema instalasi alat

4. Hasil dan analisa

Pada penelitian ini alat uji digunakan untuk pengujian elemen peltier tunggal. Pengujian dilakukan untuk beberapa variasi antara lain adalah:

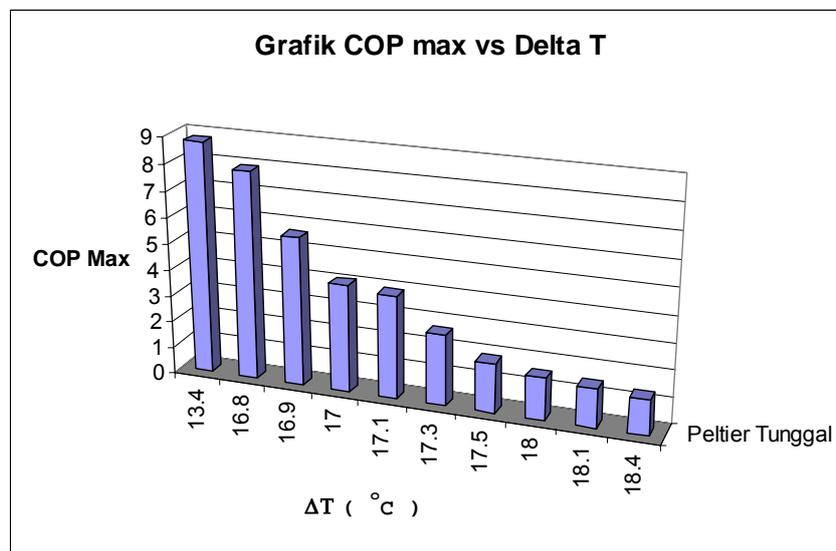
- Pengujian Coefficient of Performance (COP) elemen peltier, dalam pengujian ini temperatur sisi panas dijaga konstan 35 °C dengan asumsi elemen peltier diaplikasikan pada temperatur ambient. Agar supaya temperatur tersebut tetap konstan maka dilakukan dengan cara

mengatur laju aliran air di waterblock sisi panas. Pada pengujian ini daya input divariasikan dengan kuat arus konstan.

- Pengujian beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin (ΔT). Pada pengujian ini daya input divariasikan dengan kuat arus konstan.

Pengujian COP elemen Peltier

Pengujian dilakukan dengan variasi daya, dimana kuat arusnya dijaga konstan sementara tegangan pada elemen peltier divariasikan. Pada gambar 7 dapat dilihat grafik hubungan COP dengan beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin. COP tertinggi diperoleh pada ΔT yang rendah dan COP tersebut akan menurun dengan semakin meningkatnya ΔT . Hal tersebut dimungkinkan untuk meningkatkan ΔT atau menurunkan temperatur sisi dingin diperlukan tambahan energi P_{in} . Sehingga apabila dilihat pada persamaan 10, dengan bertambahnya energi yang diberikan ke elemen peltier akan membuat COP elemen peltier semakin rendah. Dari grafik tersebut diperoleh COP sebesar 8.8 pada beda temperatur 13.4 atau pada temperatur sekitar 21 °C. Kemudian COP terendah adalah 1 pada beda temperatur 18.4 atau pada temperatur 16°C. Hasil dari pengujian ini mengindikasikan bahwa apabila elemen peltier digunakan untuk aplikasi pendinginan pada temperatur dibawah 10°C akan memiliki COP yang rendah dan lebih rendah dari COP dari sistem pendinginan konvensional



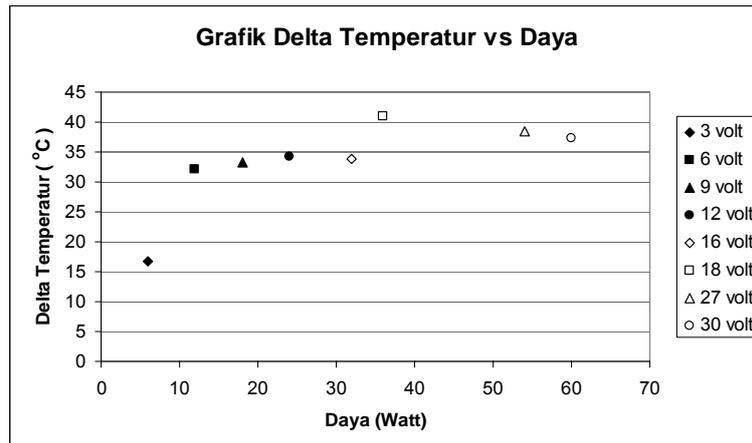
Gambar 7. Grafik COP maximum vs ΔT

Pengujian beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin (ΔT)

Pada gambar 8 dapat dilihat grafik pengujian perbedaan temperatur (ΔT) yang dapat dicapai terhadap daya yang diberikan. Perbedaan temperatur yang dapat dihasilkan oleh elemen peltier meningkat seiring meningkatnya input daya sampai pada titik tertentu dan kemudian perbedaan temperatur yang dihasilkan akan menurun lagi. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat titik optimum tegangan untuk mencapai (ΔT) maksimum. Dalam pengujian ini elemen peltier yang diuji mampu mencapai ΔT sebesar 40 °C dengan daya kurang dari 40 Watt.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini alat uji kualitas elemen peltier telah dikembangkan dengan menggunakan dua buah waterblock yang berfungsi untuk menyerap dan melepaskan kalor. Alat uji dirancang tidak hanya untuk menguji elemen peltier tunggal akan tetapi juga untuk elemen peltier bertingkat atau cascade. Pada pengujian elemen peltier tunggal, diperoleh hasil karakteristik pengujian dimana COP elemen peltier akan tinggi pada ΔT yang rendah dan COP akan menurun dengan ΔT yang tinggi dan Elemen Peltier memiliki tegangan optimum untuk mencapai ΔT yang maksimum.



Gambar 8. Grafik delta temperatur elemen peltier dengan variasi daya.

6. Notasi

T_h	= Temperatur sisi panas (Kelvin)	ρ	= Resistivity (ohm.cm)
T_c	= Temperatur sisi dingin (Kelvin)	κ	= Termal Konduktivitas (watt/(cm.K))
ΔT	= $T_h - T_c$ (Kelvin)	Z	= Bilangan Merit ($\alpha^2 / (\rho \kappa)$ (K^{-1}))
\bar{T}	= $(T_h + T_c) / 2$ (Kelvin)	P_{in}	= Input Daya (Watt)
G	= A/L	Q_{Aktif}	= Baban kalor aktif (Watt)
N	= Jumlah junction pada modul	V	= Tegangan (Volt)
I	= Arus (Ampere)	R	= Hambatan listrik (Ohm)
COP	= Coefficient of Performance	T_{amb}	= temperatur ambient ($^{\circ}C$)
α	= Koefisien Seebeck (Volt/Kelvin)		
Θ	= thermal resistance dari heat exchanger ($^{\circ}C/Watt$)		
Q_h	= kalor yang dilepaskan pada bagian hot side elemen Peltier (Watt)		
Q_c	= kalor yang diserap pada bagian cold side elemen Peltier (Watt)		
P_{in}	= daya input (Watt)		

7. Daftar Pustaka

- [1] Nandy Putra, Pattas P. Siregar, RA Koestoer, Pengembangan "VACCINE CARRIER" dengan memanfaatkan efek Peltier, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin III, 6-7 Desember 2004, ISBN 979-97158-0-6, Universitas Hasannudin Makasar Indonesia
- [2] Nandy Putra, Haryo Tedjo, RA Koestoer, Pemanfaatan Elemen Peltier Bertingkat dua pada aplikasi Kotak Vaksin, Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IV, 21-22 November 2005, Universitas Udayana, Bali, Indonesia
- [3] Nandy Putra, Uji Unjuk Kerja Kotak Vaksin berbasis Elemen Peltier Ganda, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 27 Juni 2006.
- [4] www.melcor.com (download 29.10.2006)
- [5] Incopera, Frank P., Dewitt, David P., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", New York, Fifth Edition: John Wiley and Sons, 2002