

# PERANCANGAN MODUL TERMoeLEKTRIK GENERATOR MENGUNAKAN PELTIER

Heri Haryanto<sup>1</sup>, M. Rifa Makhsu<sup>2</sup>Irma Saraswati<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

elektrojos@yahoo.com<sup>1</sup> rifamakhsu@gmail.com<sup>2</sup> iirma\_saraswati@ft-untirta.ac.id<sup>3</sup>

Abstrak—Elemen termoelektrik atau elemen peltier merupakan suatu bahan yang dapat mengubah perbedaan temperatur tertentu menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *seebeck*. Pada penelitian ini dirancang suatu modul termoelektrik generator menggunakan 10 elemen peltier tipe TEC1-12706. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik daya yang dihasilkan oleh modul termoelektrik generator dengan rangkaian 10 elemen peltier yang bervariasi. Dengan mensimulasikan perbedaan temperatur  $\Delta T = 64$  K dan  $\Delta T = 79$  K pada modul, masing-masing elemen peltier menghasilkan daya rata-rata sebesar 0,2004 W dan 0,301 W. Rata-rata kenaikan tegangan setiap penambahan 2 peltier rangkai seri adalah sebesar 3,4675 V pada  $\Delta T = 64$  K dan 4,9 V pada  $\Delta T = 79$  K, sedangkan rata-rata kenaikan arus setiap penambahan 2 peltier rangkai paralel adalah sebesar 0,01 A pada  $\Delta T = 64$  K dan 0,03 A pada  $\Delta T = 79$  K. Hasil pengujian variasi rangkaian menunjukkan bahwa rangkaian 10 elemen peltier pada modul yang dirangkai kombinasi paralel-seri menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan rangkaian lainnya. Daya yang dihasilkan adalah sebesar 1,9 W pada  $\Delta T = 64$  K dan 2,7 W pada  $\Delta T = 79$  K.

Kata kunci: **elemen peltier, efek *seebeck*, modul termoelektrik generator**

## 1. PENDAHULUAN

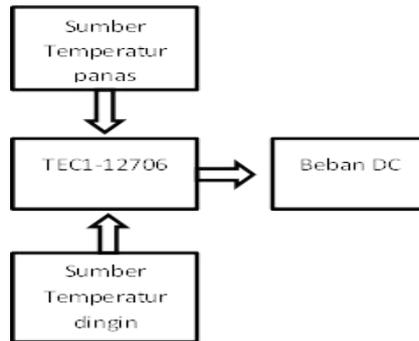
Teknologi termoelektrik merupakan alternatif dalam menjawab kebutuhan energi listrik. Namun, pengembangan teknologi termoelektrik sebagai energi alternatif perlu diperhatikan baik dari pemerintah, industri, perguruan tinggi, dan masyarakat.

Bahan termoelektrik atau yang biasa disebut elemen peltier adalah bahan yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung (termoelektrik generator), atau sebaliknya sebagai penyerap panas (pendingin termoelektrik), tanpa menghasilkan gas beracun karbondioksida maupun polutan lain seperti elemen logam berat [1]. Termoelektrik generator telah lama digunakan untuk menghasilkan energi listrik dimana ketika perbedaan temperatur terjadi antara dua logam yang berbeda, elemen peltier ini akan mengalirkan arus sehingga menghasilkan perbedaan tegangan. Prinsip ini dikenal dengan efek *seebeck* yang merupakan fenomena kebalikan dari efek peltier. Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Pada penelitian ini dilakukan berbagai percobaan rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin dengan elemen peltier, hal ini dilakukan untuk mengetahui rangkaian hubungan sumber panas dan dingin dengan elemen peltier yang lebih optimal dalam menghasilkan energi listrik..

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Metodologi Penelitian

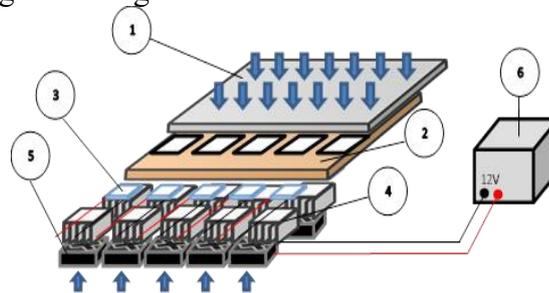
Bab ini menjelaskan tentang tahap-tahap yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian perancangan modul termoelektrik generator menggunakan peltier.



Gambar 1 Diagram Blok Implementasi Modul Termoelektrik Generator

### B. Perancangan Alat

Pada bagian ini dijelaskan mengenai beberapa komponen atau rangkaian yang dibutuhkan untuk membangun sebuah sistem yang dirancang secara keseluruhan.



Keterangan :

- |                   |                       |                 |
|-------------------|-----------------------|-----------------|
| 1. Plat aluminium | 3. Peltier tec1-12706 | 5. Kipas dc 12v |
| 2. Papan Kayu     | 4. Heatsink           | 6. Power supply |

Gambar 2 Skema Rancangan Modul Termoelektrik Generator

Urutan penjelasan mengenai skema rancangan modul termoelektrik generator yang tertera pada Gambar 2 adalah sebagai berikut:

1. Bagian yang digunakan untuk menghantarkan panas ke peltier terbuat dari plat aluminium berukuran 350x180x30 mm.
2. Penggunaan papan kayu berfungsi sebagai isolator atau separator panas agar kalor yang mengalir ke sisi dingin melalui rongga-rongga dapat dikurangi.
3. Peltier tipe TEC1-12706 berukuran 40x40x3.9 mm berjumlah 10 buah dalam satu modul termoelektrik generator.
4. *Heatsink* bersirip rapat dengan ukuran 83x68x37 mm berjumlah 10 buah menyesuaikan dengan jumlah peltier yang digunakan, agar perbedaan panas yang diperoleh dapat maksimal.
5. Kipas dc berjumlah 10 buah dengan spesifikasi tegangan dc 12 V dan arus 0,2 A tiap kipasnya.
6. *Power supply* komputer jenis atx yang digunakan untuk menghidupkan kipas dc. Tegangan yang digunakan adalah 12 V sesuai dengan kebutuhan pada kipas dc.

### C. Variasi Pengujian

Variasi pengujian pada elemen peltier tunggal dilakukan dengan tujuan untuk menentukan karakteristik dari satu buah elemen peltier dan menentukan komposisi bahan yang tepat untuk membuat modul termoelektrik generator. Sedangkan pada pengujian terhadap modul yang telah dibuat bertujuan untuk mencari komposisi kerja yang optimal dalam implementasi nantinya. Berikut adalah variasi pengujian yang dilakukan :

## 1. Pengujian modul termoelektrik generator

### 1.1. Uji variasi temperatur panas

Uji variasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian perbedaan temperatur terhadap daya yang dihasilkan. Variasi temperatur yang diberikan sebanyak dua variasi untuk membandingkan besaran listrik yang diperoleh antara kedua temperatur yang diberikan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sumber panas dari setrika karena temperatur dapat diatur menggunakan *thermostat*, sedangkan menggunakan api spirtus panas api lebih sulit untuk diubah-ubah.

### 1.2. Uji variasi susunan peltier

Uji variasi ini bertujuan untuk mendapatkan data susunan peltier yang memiliki daya paling optimal. Variasi susunan peltier tersebut adalah seri, paralel dan seri-paralel atau kombinasi dari susunan seri dengan susunan paralel.

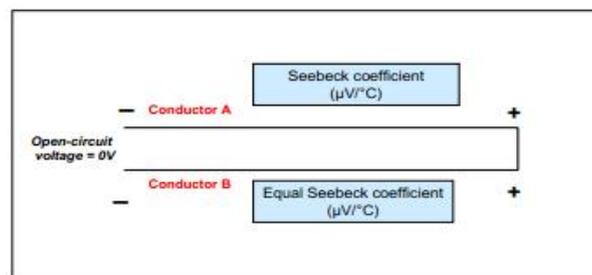
### 1.3. Uji variasi beban

Uji variasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh beban yang diberikan terhadap terhadap daya yang dihasilkan oleh modul termoelektrik generator yang telah dibuat. Contoh beban yang digunakan adalah resistor, lampu dc, dan kipas dc

## 3. TINJUAN PUSTAKA

### A. Efek Seebeck

Efek *Seebeck* menjelaskan, bahwa GGL akan timbul dalam rangkaian dari dua buah material yang berbeda (A dan B) dirangkaikan seperti pada Gambar 1, dan masing-masing ujungnya diletakkan pada suhu yang berbeda, maka akan terjadi arus listrik pada rangkaian tersebut. Arus listrik tersebut akan tetap mengalir selama dua ujung tersebut berada pada suhu yang berbeda. Jika material A bersifat lebih positif (+) terhadap logam B, maka arus akan mengalir dari A ke B melalui  $T_1$ [5].



Gambar 3 Efek *Seebeck* pada Dua Konduktor dengan Koefisien *Seebeck* [4]

Koefisien *Seebeck* adalah sifat material dan memberikan kecepatan perubahan antara tegangan termoelektrik (E) dan (T) yang ditunjukkan dengan persamaan [5]:

$$S = \frac{E}{dT}$$

### B. Efek Peltier

Pada tahun 1834 seorang fisikawan bernama *Jean Charle Athanase Peltier*, menyelidiki kembali eksperimen dari efek *Seebeck*. Peltier menemukan kebalikan dari fenomena *Seebeck* yaitu ketika arus listrik mengalir pada suatu rangkaian dari material logam yang berbeda terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas bersesuaian dengan arah arus listrik pada logam. Hal ini dikenal dengan efek Peltier[6]:

$$Q_C \text{ atau } Q_H = (\Phi_{AB}I) = (\Phi_A - \Phi_B) \times I$$

Keterangan :

$Q_C$  atau  $Q_H$  : aliran panas (J)

$\phi_A$  dan  $\phi_B$  : koefisien *Peltier*

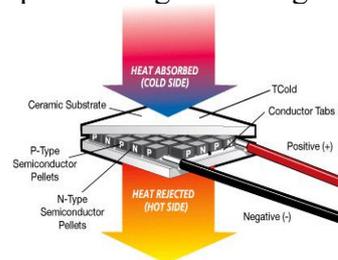
$I$  : arus (A)

Sebagaimana koefisien *Seebeck*, koefisien *Peltier* merupakan fungsi kuat arus terhadap suhu. Hubungannya dengan koefisien *Seebeck* seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\phi_{AB} = T(d \text{ atau } p) S_{ab} = T(c \text{ atau } h) (S_a - S_b) = - \phi_{AB}$$

### C. Elemen Termoelektrik (Peltier)

Konsep dasar dari elemen peltier yaitu efek *Seebeck* dan efek *Peltier*, dimana elemen *Peltier* ini merupakan bahan semikonduktor yang bertipe-p dan tipe-n. Semikonduktor merupakan bahan setengah penghantar listrik yang disebabkan perbedaan gaya ikat diantara atom-atom, ion-ion, atau molekul-molekul. Dua material semikonduktor yang berbeda jenis (tipe-n dan tipe-p) ini saling terhubung satu sama lain membentuk sebuah *junction*. Jelasnya, elemen-elemen tersebut dihubungkan seri secara elektrik dan paralel secara thermal, yang dapat dipakai sebagai devais generator daya dan pompa panas[6].



Gambar 4. Elemen Peltier [2]

Gambar 4 menunjukkan aliran elektron dari semikonduktor tipe 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 ( $T_c$ ) akan mengalami penurunan temperatur. Kalor yang diserap akan berpindah melalui semikonduktor bersamaan dengan pergerakan elektron ke sisi panas modul ( $T_h$ ).

### D. Figure Of Merit (Z)

*Figure of merit (Z)* merupakan besaran yang digunakan untuk menggambarkan kinerja perangkat, sistem atau metode. Di bidang teknik, *figure of merit* sering didefinisikan sebagai bahan tertentu atau perangkat untuk menentukan kegunaan relatifnya dari suatu aplikasi. *Figure of merit* dari *thermoelectric* adalah[1]:

$$Z = \frac{(S^2 \sigma)}{\lambda} = \frac{(S^2 \sigma)}{\lambda_e + \lambda_l}$$

Keterangan :

$S$  = koefisien *Seebeck* (V/K)

$\sigma (= 1/\rho)$  = konduktivitas (resistivitas) listrik (A/Vm)

$\lambda$  = konduktivitas termal total yang merupakan jumlah dari konduktivitas elektronik ( $\lambda_e$ ) dan konduktivitas *lattice* ( $\lambda_l$ ). (W/mK)

## E. Efisiensi

Perangkat *thermoelectric* dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik arus searah (DC) ketika terjadi perbedaan temperatur. Namun, saat ini bahan *thermoelectric* yang tersedia mempunyai  $ZT < 1$  dan efisiensi perangkat dalam menghasilkan energi listrik jarang melebihi 5 %. Kinerja ini membatasi *thermoelectric* generator untuk aplikasi dimana persyaratannya untuk operasi jarak jauh, tahan uji, tidak ada bagian yang bergerak, dan tidak menimbulkan suara telah melebihi aspek yang lebih buruk dari biaya mahal dan efisiensi konversi yang rendah. Efisiensi maksimal dari perangkat *thermoelectric* dalam pembangkit listrik ditentukan oleh hubungan berikut [9]:

$$\eta_{\max} = \left[ \frac{T_H - T_C}{T_H} \right] \left[ \frac{\sqrt{ZT_m + 1} - 1}{\sqrt{1 + ZT_m + T_C/T_H}} \right]$$

keterangan:

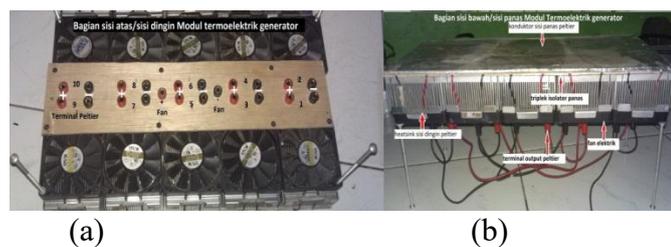
$Z$  = *Figure of merit*

$T_H$  dan  $T_C$  = Temperatur sisi panas dan dingin

$T_m = (T_H + T_C)/2$  = Nilai rata-rata  $T_H$  dan  $T$

## 4. ANALISA DAN HASIL

Modul termoelektrik generator yang telah dirancang pada penelitian ini menggunakan elemen peltier tipe TEC1-12706 yang umum digunakan sebagai elemen pendingin atau *thermoelectric cooler*. Modul ini terdiri dari beberapa bagian yaitu, plat aluminium, papan isolator dengan celah untuk menyimpan elemen peltier, heatsink, dan kipas. Semua bagian-bagian tersebut disatukan menggunakan sekrup. Perancangan modul termoelektrik ini merupakan hasil evaluasi dari berbagai eksperimen atau percobaan yang dilakukan menggunakan elemen peltier tunggal dengan berbagai model perancangan. Terminal pada bagian atas merupakan terminal output dari elemen peltier yang terdiri dari terminal positif dan terminal negatif. Satu buah modul termoelektrik generator terdiri dari 10 elemen peltier, sehingga terdapat 10 terminal positif dan 10 terminal negatif. Hasil perangkat modul termoelektrik generator yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5

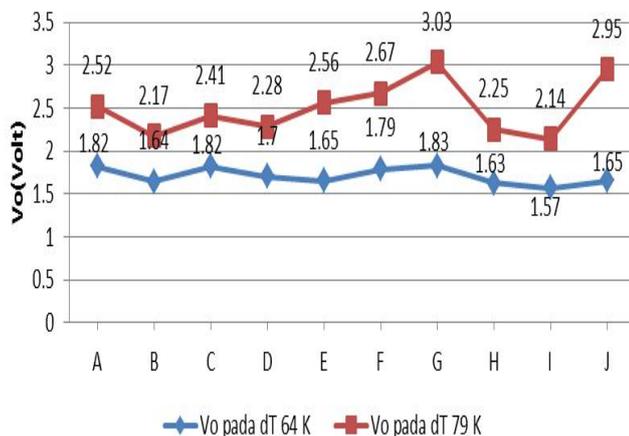


Gambar 5 Modul Termoelektrik Generator: (a) Bagian Atas Modul dan (b) Bagian Bawah Modul

### A. Pengujian Modul Termoelektrik Generator

Pengujian terhadap modul termoelektrik yang telah dirancang dilakukan dengan memberikan dua variasi temperatur terhadap modul untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur terhadap tegangan dan daya yang dihasilkan. Pengujian modul dilakukan sampai data temperatur cenderung stabil dan tidak terjadi penurunan atau kenaikan pada tegangan yang dihasilkan oleh modul. Variasi temperatur yang terukur pada sisi panas ( $T_h$ ) modul termoelektrik generator yaitu sebesar 106 °C (379 K) dan 124 °C (397 K), temperatur yang terukur merupakan rata-rata dari temperatur saat termostat terputus dan temperatur hingga termostat telah terhubung kembali.

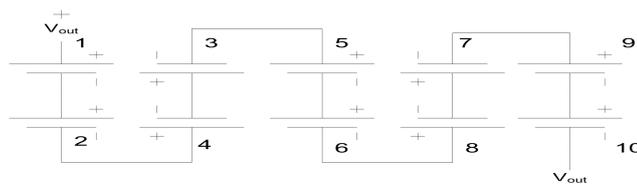
Pada pengujian modul termoelektrik ini dilakukan berbagai variasi rangkaian dari 10 peltier yang terdapat dalam modul. Susunan rangkaian peltier tersebut diantaranya dengan susunan seri, paralel dan kombinasi dari susunan seri-paralel. Hasil pengukuran dari variasi susunan peltier dibandingkan antar susunan peltier, sehingga mendapatkan susunan sepuluh peltier yang optimal dalam menghasilkan daya listrik.



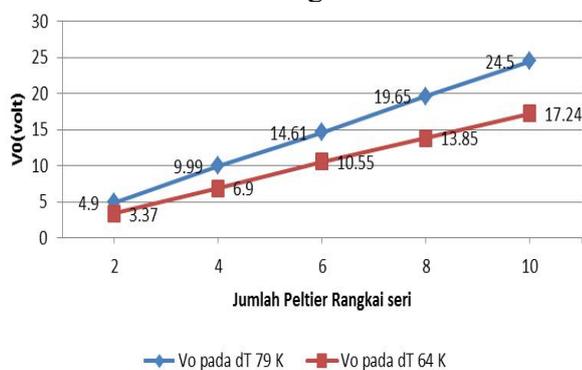
Gambar 6 Grafik Tegangan ( $V_o$ ) Setiap Peltier Dalam Modul

Pada Gambar 6. merupakan grafik tegangan tanpa beban yang dihasilkan dari setiap elemen peltier yang ada dalam modul termoelektrik generator. A adalah peltier 1, B adalah peltier 2, C adalah peltier 3, D adalah peltier 4, E adalah peltier 5, F adalah peltier 6, G adalah peltier 7, H adalah peltier 8, I adalah peltier 9, dan J adalah peltier 10. Rata-rata tegangan yang dihasilkan oleh elemen peltier tunggal dengan  $\Delta T = 64$  K adalah sebesar 1,71 V. Sedangkan pada  $\Delta T = 79$  K didapatkan rata-rata tegangan tanpa beban ( $V_o$ ) sebesar 2,498 V.

Setelah mengetahui karakteristik dari masing-masing peltier, berikut adalah hasil dari percobaan berbagai variasi rangkaian peltier yang terdapat dalam modul termoelektrik generator.

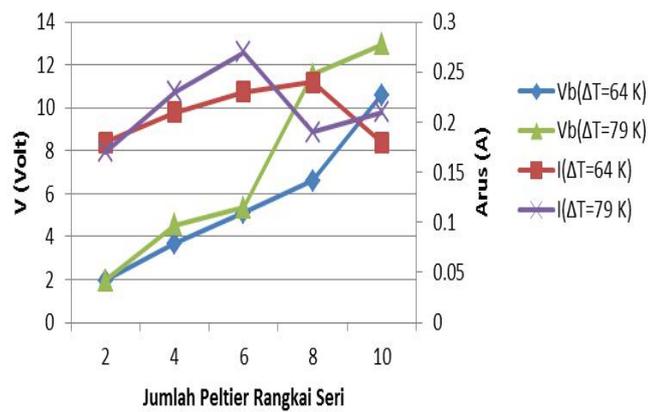


Gambar 7 Skema Rangkaian Peltier Seri



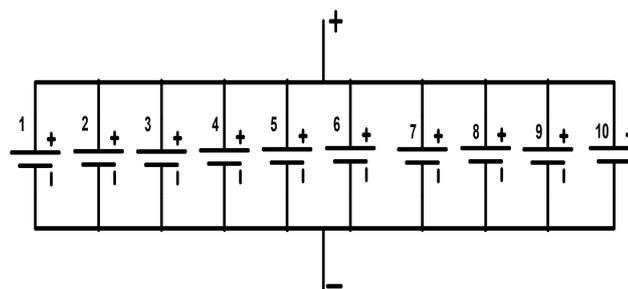
Gambar 7. Grafik Tegangan Tanpa Beban Terhadap Penambahan Peltier Rangkaian Seri

Pada Gambar 7 kenaikan tegangan setiap penambahan 2 peltier terlihat linier, ini berarti bahwa semakin banyak jumlah susunan seri dari elemen peltier maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Dari hasil pengujian pada  $\Delta T = 64$  K menghasilkan rata-rata tegangan keluaran tanpa beban setiap penambahan 2 buah peltier adalah sebesar 3,4675 V. Sedangkan pada  $\Delta T = 79$  K, rata-rata perubahan kenaikan tegangan setiap penambahan 2 buah peltier disusun secara seri adalah sebesar 4,9 V. Berikut adalah data tegangan dan arus setiap penambahan peltier terhadap beban maskimal dari masing-masing rangkaian.

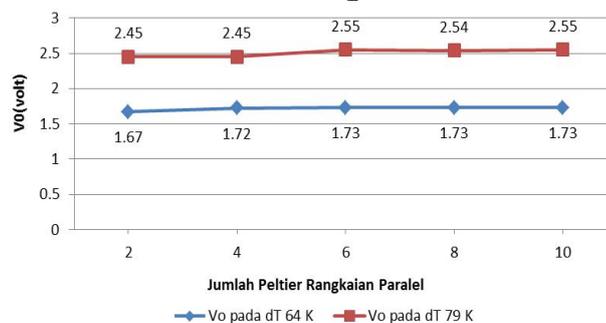


Gambar 8. Grafik Tegangan dan Arus Terhadap Penambahan 2 Peltier Rangkaian Seri

Berdasarkan Gambar 9 dapat diketahui pengaruh penambahan peltier yang dirangkai secara seri terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan dengan beban maksimal. Peltier yang dirangkai seri dapat menghasilkan tegangan yang cukup besar, namun penambahan peltier secara seri tidak terlalu mempengaruhi besarnya arus yang dihasilkan.

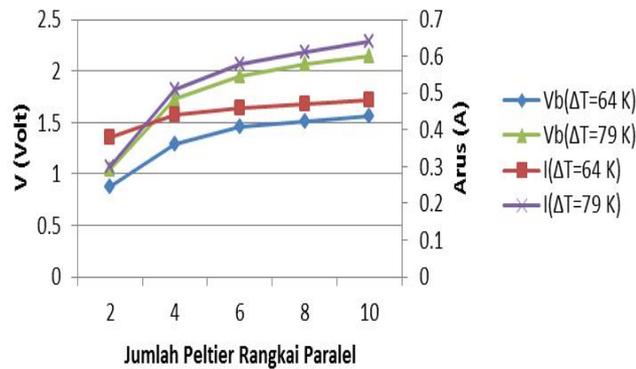


Gambar 9. Skema Rangkaian Peltier Paralel



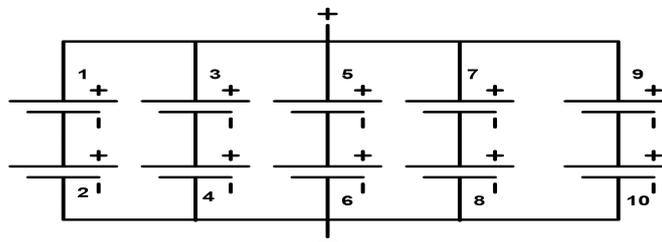
Gambar 9. Grafik Tegangan Tanpa Beban Terhadap Penambahan 2 Peltier Rangkaian Paralel

Dari Gambar 10 terlihat bahwa penambahan elemen peltier secara susun paralel tidak terlalu mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan. Pada  $\Delta T = 64 \text{ K}$  atau  $\Delta T = 79 \text{ K}$  tegangan keluaran relatif sama dalam setiap penambahan elemen peltier. Pada  $\Delta T = 64 \text{ K}$  menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 1,73 V. Sedangkan pada selisih temperatur 79 K menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 2,55 V.

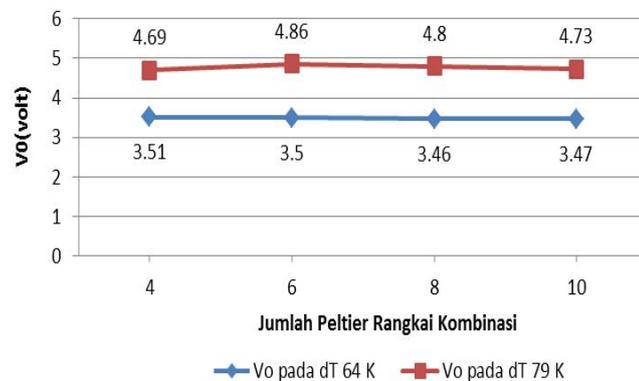


Gambar 10 Grafik Tegangan dan Arus Terhadap Penambahan 2 Peltier Rangkaian Paralel

Berdasarkan Gambar 10 dapat diketahui pengaruh penambahan peltier yang dirangkai secara paralel terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan dengan beban maksimal atau beban penuh. Berbeda dengan rangkaian seri, peltier yang dirangkai paralel dapat meningkatkan arus yang cukup besar dibandingkan rangkaian seri. Sedangkan pengaruh penambahan peltier secara paralel terhadap tegangan yang dihasilkan tidak terlalu besar, karena tegangan tanpa beban yang telah dijelaskan sebelumnya cenderung sama.

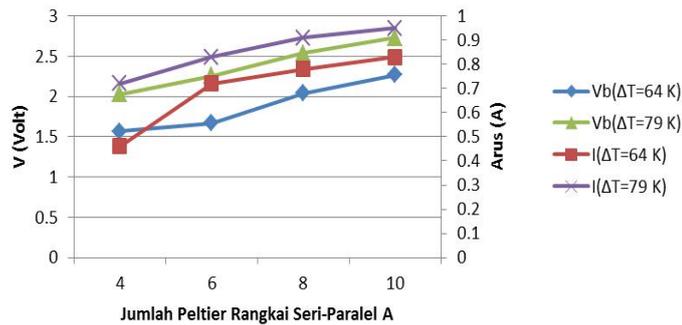


Gambar 11 Skema Rangkaian Kombinasi Seri-Paralel A



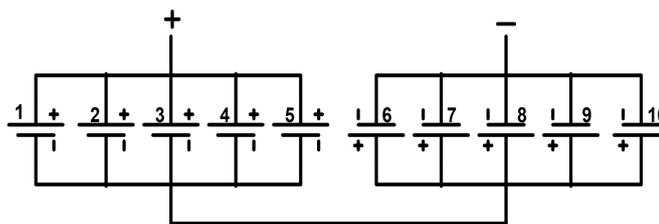
Gambar 12. Grafik Tegangan Tanpa Beban Terhadap Penambahan 2 Peltier Rangkaian Seri-Paralel A

Dari data yang dihasilkan, rangkaian kombinasi seri-paralel A didapatkan tegangan yang relatif sama pada setiap penambahan peltier. Pada  $\Delta T = 64 \text{ K}$  tegangan tanpa beban yang dihasilkan rata-rata sebesar 3,48 V, sedangkan pada  $\Delta T = 79 \text{ K}$  tegangan rata-rata yang dihasilkan adalah 4,77 V.



Gambar 13 Grafik Tegangan dan Arus Terhadap Penambahan 2 Peltier Rangkaian Seri-Paralel A

Berdasarkan Gambar 13 tegangan dan arus yang dihasilkan oleh kombinasi rangkaian seri-paralel lebih besar dibandingkan rangkaian paralel. Hal ini membuktikan bahwa mengkombinasikan rangkaian paralel dan seri dengan susunan seperti Gambar 14 dapat menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan rangkaian peltier secara paralel saja.

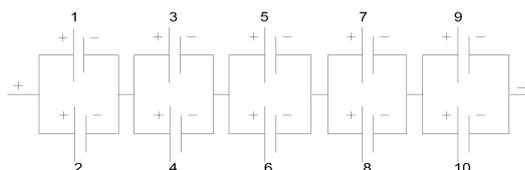


Gambar 14 Skema Rangkaian Kombinasi Seri-Paralel B

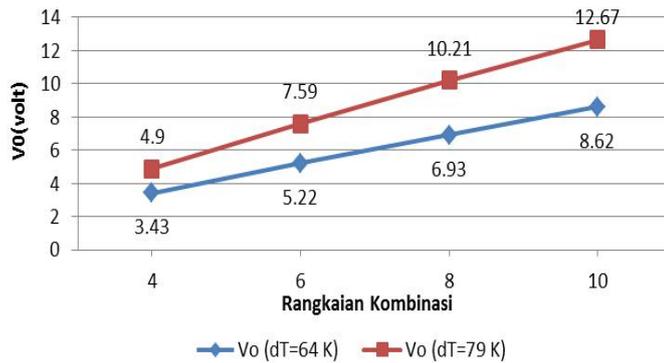
Tabel 1 Data Perbandingan Hasil Antara Rangkaian Kombinasi Seri-Paralel A dengan Kombinasi Seri-Paralel B

Rangkaian Peltier	$\Delta T = 64 \text{ K}$				$\Delta T = 79 \text{ K}$			
	Vo (Volt)	Vb (volt)	I (Amp)	P=V*I (W)	Vo (Volt)	Vb (volt)	I (Amp)	P=V*I (W)
Kombinasi Seri-Paralel A	3.47	2.27	0.83	1.8841	4.73	2.73	0.95	2.5935
Kombinasi Seri-Paralel B	3.31	2	0.66	1.32	4.72	2.8	0.77	2.156

Berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa untuk rangkaian kombinasi seri-paralel, rangkaian kombinasi seri-paralel A) menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan kombinasi seri-paralel.

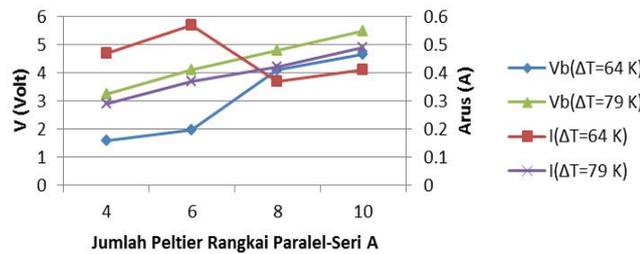


Gambar 15 Skema Rangkaian Kombinasi Paralel-Seri A



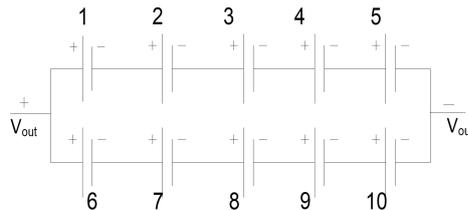
Gambar 16 Grafik Tegangan Tanpa Beban Terhadap Penambahan 2 Peltier Rangkaian Kombinasi Paralel-Seri A

. Dari data yang dihasilkan penggunaan 10 peltier dalam rangkaian kombinasi paralel-seri A didapatkan tegangan maksimal pada  $\Delta T = 64 \text{ K}$  dan  $\Delta T = 79 \text{ K}$  berturut-turut sebesar 8,62 V dan 12,67 V.



Gambar17 Grafik Tegangan dan Arus Terhadap Penambahan 2 Peltier Rangkaian Paralel-Seri A

Berdasarkan Gambar 17 rangkaian paralel-seri A ini dapat mengalirkan arus yang lebih besar dibandingkan dengan rangkaian seri, meskipun tegangan yang dihasilkan tidak terlalu besar. Namun, dengan tegangan dan arus yang diperoleh, rangkaian ini mempunyai daya yang besarnya tidak jauh berbeda dengan rangkaian seri. Daya yang mampu dihasilkan ketika  $\Delta T = 64 \text{ K}$  dan  $\Delta T = 79 \text{ K}$  dengan 10 peltier adalah 1,9065 W dan 2,6803 W.



Gambar 18 Skema Rangkaian Kombinasi Paralel-Seri B

Setelah dilakukan pengujian, berikut adalah perbandingan tegangan dan arus maksimal yang dapat dihasilkan oleh rangkaian 10 elemen peltier dengan kombinasi paralel-seri A dan rangkaian 10 peltier kombinasi paralel-seri B.

Tabel 2 Data Perbandingan Hasil Antara Rangkaian Kombinasi Paralel-Seri A dengan Kombinasi Paralel-Seri B

Rangkaian Peltier	$\Delta T = 64 \text{ K}$				$\Delta T = 79 \text{ K}$			
	Vo (Volt)	Vb (volt)	I (Amp)	P=V*I (W)	Vo (Volt)	Vb (volt)	I (Amp)	P=V*I (W)
Kombinasi Paralel-Seri A	8.62	4.65	0.41	1.9065	12.67	5.47	0.49	2.6803
Kombinasi Paralel-Seri B	8.14	4.15	0.32	1.328	12.11	5.45	0.48	2.616

Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa untuk rangkaian kombinasi paralel-seri, rangkaian kombinasi paralel-seri A menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan kombinasi paralel-seri B. Namun perbedaan yang dihasilkan tidak terlalu jauh berbeda karena prinsip kerja kedua penyusunan rangkaian sama saja.

## 5. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

Telah dihasilkan rancangan modul termoelektrik generator menggunakan 10 elemen peltier dengan beberapa karakteristik elemen peltier sebagai berikut :

1. Satu buah elemen peltier yang digunakan dalam modul termoelektrik generator menghasilkan tegangan tanpa beban rata-rata sebesar 1,71V ( $\Delta T = 64 \text{ K}$ ) dan 2,498 V ( $\Delta T = 79 \text{ K}$ ). Daya maksimal rata-rata yang dihasilkan untuk 1 peltier adalah 0,2004 W ( $\Delta T = 64\text{K}$ ) dan 0,30114 W ( $\Delta T = 79\text{K}$ ).
2. Pada pengujian penambahan setiap 2 peltier yang dirangkai secara seri menghasilkan rata-rata kenaikan tegangan tanpa beban sebesar 3,4675 V pada  $\Delta T = 64 \text{ K}$  dan rata-rata kenaikan tegangan sebesar 4,9 V pada  $\Delta T = 79 \text{ K}$ . sedangkan ketika dirangkai paralel tegangan tanpa beban relatif sama atau tidak mengalami kenaikan, yaitu sebesar 1,73 V pada  $\Delta T = 64 \text{ K}$  dan 2,55 V pada  $\Delta T = 79 \text{ K}$ .
3. Pada beban yang sama besar, setiap penambahan jumlah elemen peltier untuk rangkaian seri maupun paralel menghasilkan kenaikan daya yang linier.
4. Dari hasil pengujian rangkaian 10 elemen peltier menunjukkan bahwa rangkaian kombinasi paralel-seri menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan rangkaian lainnya. Daya yang dihasilkan adalah sebesar 1,9 W pada  $\Delta T = 64 \text{ K}$  dan 2,7 W pada  $\Delta T = 79 \text{ K}$ .

### B. Saran

Dalam penelitian berikutnya dapat digunakan elemen peltier dengan tipe yang berbeda atau yang khusus digunakan sebagai termoelektrik generator dan memiliki ketahanan temperatur yang lebih tinggi. Desain pembuatan modul termoelektrik generator untuk bagian pendingin bisa menggunakan fluida air dinamis sebagai media pembuang panas pada sisi dingin modul.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grup riset fisika magnetik dan fotonik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITB.2011."Penelitian Bahan Termoelektrik Bagi Aplikasi Konversi Energi Di Masa Mendatang".Jurnal Material dan Energi Indonesia.1, (01), 58-70: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran
- [2] Oktarina, Dwi Handayani.2006. "Kajian Karakteristik Modul Termoelektrik Untuk Sistem Penyimpanan Dingin".Skripsi. Institut Pertanian Bogor: Bogor
- [3] Nam,Wai.Yip.2012."Thermoelectric Materials and Device".City University of Hongkong: Hong Kong

- [4] DH, Shepta.2012.”*Rancang Bangun Sistem Pengukur Efisiensi Sel Peltier Berbasis Mikrokontroler*”.Skripsi. Universitas Indonesia : Depok
- [5] Roekettino, Ardian. 2008. ”*Perancangan Awal Dan Manufaktur Thermoelectric Generator Menggunakan Dua Belas Modul Thermoelectric Untuk Aplikasi Kendaraan Hybrid*”. Universitas Indonesia: Jakarta
- [6] Frank P. Incropera, David P. Dewitt, “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer* “. (New York: John Wiley & Sons, Inc, 2002)
- [7] Widjaja, Soelistio P.2012.”*Pengukuran dan Analisis Karakteristik Thermoelectric generator dalam Pemanfaatan Energi Panas Yang Terbuang*”. Universitas Kristen Satya Wacana: Salatiga
- [8] Cengel, Yunus.A.2006.”*Heat Transfer:A Practical Approach*”.Mc Graw-Hill Science Engineering
- [9] Kavei, G, Khakpour, A.A, Hadifakoor, A, Nikbin, S, Kavei A.2013.”*Thermoelectric Element Assigned As Electricgenerator From Waste Heat*”.IJTPE. vol 5,(4), 113-117:International Organization of IOTPE
- [10] Fahrudin, A’Rasy.2011. “*Kajian Simulasi dan Eksperimen Sistem Pendingin Lemari Radio Base System (RBS) Berbasis Termoelektrik*”.Skripsi.Universitas Indonesia: Depok
- [11] Custom Thermoelectric. ”*How to Tell What Kind of Peltier Module You Have*”. Diakses 27 Agustus 2014 (21.00) [www.customthermoelectric.com](http://www.customthermoelectric.com)
- [12] Wellen Tech.”*Approval Sheet TEC1-12706 Spesification*”. Diakses Kamis 15 September 2014(22.00) [www.wellentech.com](http://www.wellentech.com)
- [13] Farid,Ahmad.Lagiyono.Ivayana,Yanu.”*Analisa Sistem Pembangkit Berbasis Termoelektrik Dengan Rangkaian Seri Pada Pemanfaatan Panas Buang Mesin Toyota Tipe 4k*”.Universitas Pancasakti:Tegal
- [14] Ryanuargo.Anwar,Syaiful.Poernomo S,Sri.2013.”*Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin*”.Jurnal Rekayasa ElektriKa 10, (4): Jurusan Teknik Elektro Universitas Gunadarma
- [15] Irawan,Rio.2012.”*Analisa Penggunaan Heat Pipe pada Thermoelectric Generator*”.Universitas Indonesia: Depok
- [16] Rowe, D.M.1995.”*CRC Handbook of Thermoelectric*”. CRC Press LLC: New York
- [17] Snyder, G.Jeffrey. 2008. ”*Thermoelectric Efficiency and Compability*”. California Institute of Technology.vol 91(14): California
- [18] Steven O’Halloran, Matthew,Rodrigues. 2012. “*Power and Efficiency Measurement In A Thermoelectric Generator*”.University of Portland: American Society For Engineering Education