

KONVERSI ENERGI PANAS PENGGERAK UTAMA KAPAL BERBASIS THERMOELECTRIC

Baharuddin

*Staf Pengajar Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Jurusan Teknik Perkapalan - Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea Makassar, Sulsel 90245
Telp. 0411-585637, e-mail: baharmarine@yahoo.com*

Agli Hariyanto

Alumni Program Studi Teknik Sistem Perkapalan

Abstrak

Energi sudah menjadi salah satu kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan dalam segala aktivitas manusia. Energi saat ini dapat diperoleh dari sumber daya alam seperti minyak bumi yang telah ada dan juga dengan memanfaatkan gejala alam sebagai tenaga penggerak untuk memperoleh energi. Namun ketidakseimbangan antara kebutuhan energi dan energi yang tersedia saat ini membuat manusia berfikir untuk membuat energi alternative lainnya. Tidak terkecuali dalam dunia perkapalan, salah satunya yang kemudian diangkat dalam skripsi ini adalah memanfaatkan energi panas buangan mesin penggerak utama kapal sebagai sumber energi terbarukan dengan menggunakan metode konversi energi (thermoelectric). Thermoelectric merupakan metode konversi energi yang memanfaatkan perbedaan temperatur untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan prinsip kerja peltier. Pada penelitian ini digunakan beberapa peltier yang disusun secara seri maupun parallel pada kondisi putaran mesin variasi mulai dari 1000 RPM sampai 2500 RPM yang bertujuan untuk mengetahui besar energi listrik yang dapat dihasilkan dari perbedaan temperature pada panas mesin utama kapal hasil pembakaran yang terbuang dengan suhu kamar mesin. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sebuah peltier mampu menghasilkan maksimal daya pada kondisi putaran mesin 2500RPM dengan perbedaan suhu 33 °C sebesar 1,12 Watt, dan susunan 2 buah peltier dirangkai seri memiliki daya yang lebih besar dibandingkan susunan peltier secara parallel pada kondisi putaran mesin yang sama yaitu sebesar 8,4 Watt. Ini menunjukkan sinkronisasi antara perbedaan suhu yang terjadi pada kedua sisi peltier dengan daya listrik yang dihasilkan pada peltier.

Kata Kunci

Thermoelectric, peltier, perbedaan suhu, putaran mesin, daya.

PENDAHULUAN

Di era industri dewasa ini, penggunaan energi minyak bumi secara massal tidak terelakkan lagi. Sebanyak 20 negara mengkonsumsi 80% energi dunia termaksud Indonesia. Hal ini terungkap dalam laporan *Global Tracking Framework Report* yang dirilis di Wina, Austria, Selasa (28/5/13). Dalam Seminar Konservasi Energi Nasional di Balai Kartini, Jakarta, Selasa (3/12/2013), Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional Hadi Purnomo mengatakan bahwa persediaan energi fosil dunia saat ini hanya tinggal 53 tahun lagi berdasarkan total

Konversi Energi Panas Penggerak Utama Kapal Berbasis *Thermoelectric*

seluruh cadangan minyak didunia pada 2012 yaitu dibawah 200.000 juta ton. Seiring dengan terjadinya peningkatan kebutuhan energi dan menipisnya cadangan energi dunia, terdapat masalah tersendiri tentang penggunaan energi yang tidak ramah lingkungan ini. Isu tentang pemanasan global terus menghantui dan berbagai carapun dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut.

Energi alternatif takayal menjadi jalan keluar untuk mengatasi krisis energi dunia saat ini. Contoh energi alternatif yaitu dengan memanfaatkan sumber energi matahari yang kemudian di konversi menjadi listrik (*solar cell*). Mengingat suplai energi matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat besar yaitu mencapai 3×10^{17} Joule pertahun, energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi didunia saat ini. Panas bumi (*geothermal*), energi nabati (*biofuel*) juga memiliki potensi energi yang sangat besar untuk dikembangkan. Energi terbarukan diatas sangat ramah lingkungan, namun masalah ekonomis kembali menjadi faktor penghambat dalam pengembangannya.

Pemanfaatan energi alternatif yang ramah lingkungan dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi saat ini pun mulai ramai dikembangkan. Salah satunya adalah *thermoelectric generator*. *Thermoelectric generator* memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan tidak menimbulkan polusi sehingga sangat ramah lingkungan. Prinsip dasar dari *thermoelectric generator* adalah memanfaatkan perbedaan suhu yang terjadi dilingkungan menjadi energi listrik. Misalnya terjadinya perbedaan temperatur antara ruang berpendingin dengan temperatur diluar ruang, pada mesin mobil dengan lingkungan dan masih banyak lagi yang bisa ditemui dalam kehidupan sehari-hari yang jika dimanfaatkan secara benar dapat menjadi sumber energi baru.

Didalam kapal, terutama dalam kamar mesin terdapat banyak sekali komponen yang menghasilkan panas dari hasil pembakaran (*exhaust gas*) yang terbuang percuma. Pada mesin utama kapal *efisiensi termal* yang optimal yang bisa dimanfaatkan hanya sekitar 25-30%, sedangkan sisanya terbuang dalam berbagai bentuk seperti 30-35% terbuang sebagai gas buang (*Perpustakaan Digital Politeknik Negeri Bandung*). Tentunya persentase gas buang tersebut memiliki potensi panas yang sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi baru menggunakan *thermoelectric generator*.

Thermoelectric generator menggunakan sebuah elemen yang disebut *peltier*. *Elemen peltier* pada awalnya banyak digunakan sebagai pendingin CPU computer maupun sebagai pendingin pada *minicoolbox*. Namun seiring perkembangannya yang berdasar pada hasil penelitian yang dilakukan *Thomas Johann Seebeck* (*bahwa sebuah jarum kompas akan dibelokkan ketika sebuah rangkaian tertutup yang tersusun dari dua logam yang saling berhubungan di dua tempat dengan perbedaan temperatur antara sambungan yang membuat arus pada rangkaian, dan menghasilkan medan magnet*) kini *elemen peltier* banyak digunakan sebagai pembangkit listrik.

Potensi dari *thermoelectric generator* yang menggunakan *elemen peltier* yang terbuat dari bahan Bi/Sn yang mampu menahan suhu sampai 138°C dan perbedaan suhu maksimalnya 67°C sebagai energi terbarukan sangat besar. Pada penelitian yang telah dilakukan, perbedaan suhu antara 296 K dan 433 K sebuah elemen peltier mampu menghasilkan 10,7 Watt dan sebanyak 41 buah peltier dalam thermoelectric generator mampu menghasilkan listrik sebesar 450 Watt yaitu setara dengan kebutuhan listrik untuk rumah.

Dengan prinsip ramah lingkungan dan ekonomis serta besarnya potensi energi listrik yang mampu dihasilkan dan ditambah lagi dengan besarnya potensi energy panas yang terbuang percuma di lingkungan terutama pada kamar mesin kapal yang dapat menjadi energi terbarukan diatas kapal inilah yang melatar belakangi penulisan penelitian ini.

Energi Panas

Energi panas atau kalor adalah merupakan energi yang berpindah akibat perbedaan suhu. Panas bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Setiap benda memiliki energi dalam yang berhubungan dengan gerak acak dari atom-atom atau molekul penyusunnya. Sumber energi panas terbesar didunia adalah energy matahari. Panas matahari merupakan sumber energi yang sangat potensial terkhusus negara beriklim tropis seperti di Indonesia yang mendapat sinar matahari sepanjang tahun. Di bumi juga terdapat sumber energi panas bumi yang terkandung didalamnya. Sifat umum energi panas adalah tidak dapat dilihat dan didengar namun perubahan energi ini dapat dirasakan. Sifat khusus energi panas merupakan energi yang dapat berpindah dari tempat yang bersuhu lebih tinggi ke tempat yang bersuhu lebih rendah dengan 3 cara yaitu secara konduksi, konversi dan radiasi.

Konversi Energi Panas

Seperti yang telah dituliskan diatas, berbagai contoh penerapan energi panas yang dikonversi dan dimanfaatkan sebagai sumber energi dalam kehidupan sehari-hari solar cell, geothermal, dan masih banyak lainnya.

Thermoelectric

Pada dasarnya prinsip kerja alat ini sama seperti mesin panas. Pada mesin diesel maupun mesin bensin, energi yang ada pada bahan bakar dirubah menjadi tekanan uap yang mampu menggerakkan piston. Prinsip yang sama terjadi pada piranti *themoelektrik* yang mampu merubah perbedaan temperatur menjadi beda potensial, yang dapat menghantarkan arus listrik. Hubungan yang sama juga terdapat pada mesin pendingin, dimana beda potensial dapat menyebabkan perbedaan temperatur pada kedua sisi piranti *thermoelectric*.

Thermoelectric memiliki dua jenis yaitu:

1). *Thermoelektric Cooler (TEC)*

Thermoelectric Cooler adalah penerapan dari prinsip *efek peltier* yang mengkonversikan energi listrik menjadi panas dan dingin pada kedua sisi peltier. *Thermoelektrik cooler* ini

Konversi Energi Panas Penggerak Utama Kapal Berbasis *Thermoelectric*

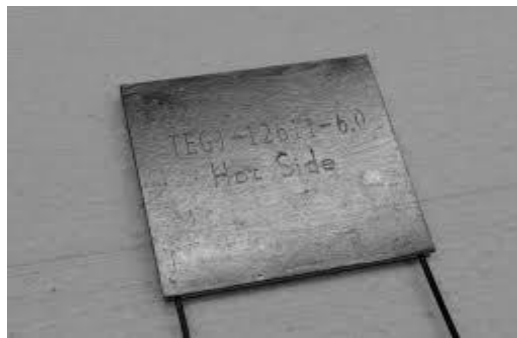
banyak dimanfaatkan sebagai pendingin *CPU* komputer, kulkas mini dan *coolbox* serta banyak lagi peralatan yang memanfaatkan sisi dingin yang dihasilkan pada peltier.



Gambar 1.
Peltier tipe TEC. (Sumber: wikipedia.org)

2). *Thermoelektrik Generator (TEG)*

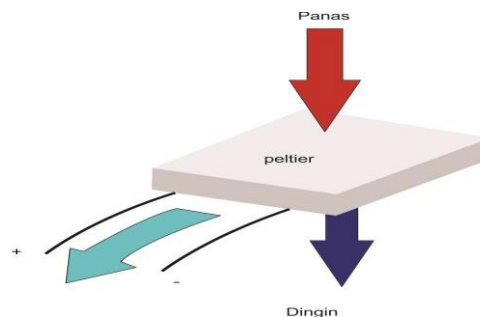
Thermoelektrik Generator adalah penerapan dari prinsip efek seebeck yang memanfaatkan perbedaan temperature pada kedua sisi peltier menjadi beda potensial listrik. Pada prinsipnya antara TEC dan TEG keduanya menggunakan peltier, namun yang menjadi perbedaan mendasar adalah ketahanan terhadap menahan panas yang dimiliki TEG jauh lebih besar karena telah dibuat dari bahan yang tahan panas.



Gambar 2.
Peltier tipe TEG. (sumber: Wikipedia.org)

Sistem Konversi Energi Panas Dengan Thermoelektrik

Elemen peltier adalah merupakan bagian terpenting dari *thermoelektrik generator*, kedua sisi yang terbuat dari keramik memiliki fungsi sebagai sisi panas dan sisi dingin yang kemudian menghasilkan arus positif dan negatif.



Gambar 3.
Cara kerja elemen peltier.

Dari gambar dapat dilihat bahwa *thermoelektrik generator* bukanlah keeping pada panel surya yang mengkonversi energi panas menjadi listrik. Pada prinsipnya *thermoelectric generator* yang dikonversikan menjadi energi listrik berupa tegangan dan arus adalah ketika terjadinya perbedaan temperatur antara kedua sisi *peltier* (*efek seeback*) dan tentunya akan terjadi perbedaan temperatur pada kedua sisi peltier bila diberi aliran listrik (*efekpeltier*).

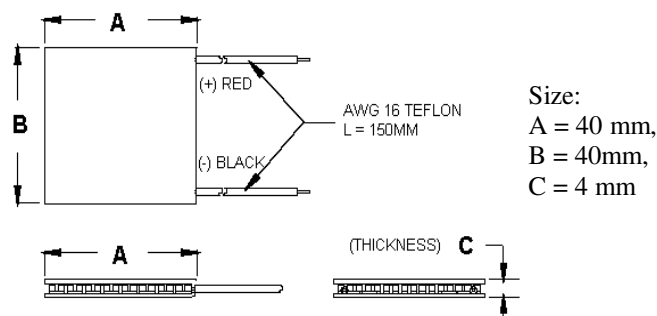
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada mesin diesel MITSUBISHI type 4DR50A yang ada di Laboratorium Permesinan Kapal Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Alat dan Bahan Penelitian

1. Elemen peltier

Elemen peltier yang digunakan memiliki batasan maksimal tegangan 15,4 volt dan arus 6 ampere yang terbuat dari bahan *ceramic material* Alumina (Al_2O_3) yang mampu menahan suhu hingga $138^{\circ}C$, dan memiliki ukuran seperti digambarkan dibawah ini:



Gambar 4.
Ukuran peltier.

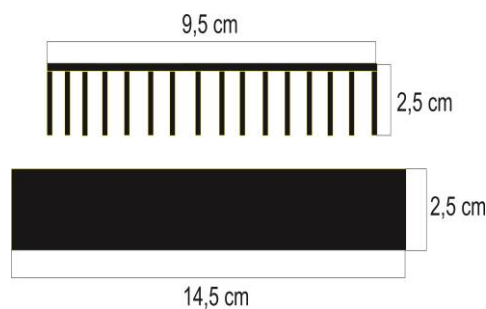
Dipasaran *elemen peltier* pada umumnya memiliki 2 macam tipe, yakni *elemen peltier* tipe TEC dan *elemen peltier* tipe TEG. Pada penelitian ini digunakan *elemen peltier* tipe TEC.

Konversi Energi Panas Penggerak Utama Kapal Berbasis *Thermoelectric*

2. *Heatsink*

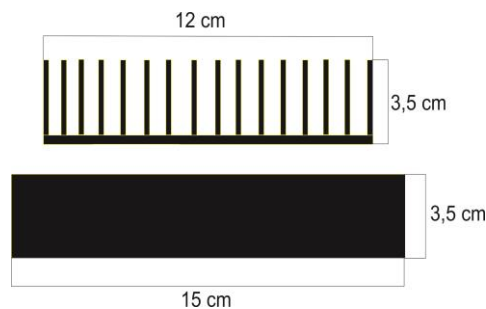
Pada penelitian ini menggunakan *heatsink* yang digunakan sebagai penghantar panas dari pipa buang mesin ke sisi panas peltier dan juga dari sisi dingin peltier ke udara bebas. Selain itu *heatsink* berfungsi sebagai media pengimplan *elemen peltier* yang digunakan agar *elemen peltier* tidak bersentuhan langsung dengan pipa buang mesin. Berikut adalah *heatsink* yang digunakan berbahan aluminium.

Ukuran *heatsink* yang digunakan digambarkan dibawah ini:



Gambar 5.

Ukuran heatsink sisi panas



Gambar 6.

Ukuran heatsink sisi dingin.

3. *Termometer*

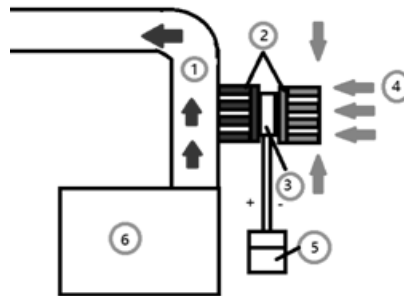
Termometer digunakan untuk mengukur perubahan suhu yang terjadi di *heatsink* pada putaran mesin tertentu. Kedua sisi *heatsink* diukur pada sisi panas dan sisi dinginnya. *Termometer* yang digunakan adalah *thermometer* air raksa yang memiliki batas ukur maksimal 110°C dengan berbahan kaca.

4. *Multimeter*

Multimeter digunakan untuk mengukur besar tegangan dan arus yang terjadi pada *peltier*. Arus DC yang dihasilkan *elemen peltier* tunggal, rangkaian seri dan parallel selanjutnya digunakan untuk menentukan besar daya yang dihasilkan. Berikut *multimeter* yang digunakan:

Rangkaian Alat Pengujian

Alat-alat yang telah disebutkan diatas kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan *thermoelectric generator* yang kemudian dipasangnkan pada pipa buang mesin (bagian mesin yang dipilih). Dibawah ini digambarkan skema peletakan alat.



Gambar 10.

Skema peletakan thermoelectric generator pada pipa buang mesin

Keterangan:

1. Pipa pembuangan yang dilewati gas buang hasil pembakaran mesin
2. *Heatsink* (penghantar)
3. *Elemen peltier*
4. Udara kamar mesin
5. *Multimeter*
6. Mesin utama kapal

Teknik pengambilan data

Metode perhitungan besarnya daya keluaran yang di hasilkan mengacu pada hasil penelitian yang telah dilakukan oleh *J. Richard Buist and Paul G. Lau* [2]. Hasil dari penelitiannya adalah performa dari *thermoelectric generator* ditentukan dari parameter-paramater tegangan (V), arus (I), dan daya yang dihasilkan.

Pengambilan data dilakukan pada 3 kondisi yang berbeda yang berbeda, yakni:

- Peltier Tunggal

Sebuah peltier akan diukur besar tegangan dan arus yang dihasilkan pada empat putaran mesin yang berbeda yang akan mengalami empat perbedaan suhu.

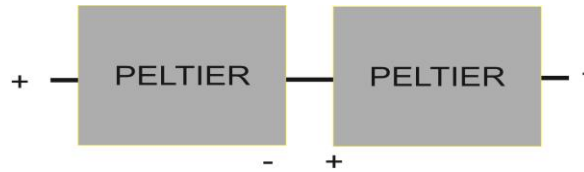


Gambar 12.

Peltier Tunggal

Konversi Energi Panas Penggerak Utama Kapal Berbasis *Thermoelectric*

- Susunan 2 (dua) buah peltier pada susunan seri dan paralel
penelitian ini juga akan menentukan besar tegangan dan arus yang dihasilkan lebih dari satu peltier yang kemudian disusun secara seri dan paralel



Gambar 13.
Susunan seri 2 peltier



Gambar 14.
Susunan paralel 2 peltier

Hasil dari pengambilan data thermoelectric generator yang menggunakan peltier tunggal berupa besar tegangan maksimal *peltier* (V_{maks}), arus maksimal *peltier* (V_{maks}), daya (P), *efficiency* maksimal *peltier* (E_{maks}), dan *heatsink resistance* (HSR).

HASIL DAN BAHASAN

Berikut tabel dari hasil pengambilan data yang dilakukan.

Tabel 1.

Hasil pengambilan data percobaan pada putaran 1000 RPM

No.	Rangkaian Peltier	Variabel	Pengambilan data		
			I	II	III
1	Tunggal	Temperatur (°C)			
		T_{Hot}	58	58	58.5
		T_{Cold}	33	34.7	34.7
		Tegangan (Volt)	0.61	0.70	0.86
2	Seri	Arus (Ampere)	0.44	0.52	0.53
		Temperatur (°C)			
		T_{Hot}	58	58	58
		T_{Cold}	34	34.4	34.6
3	Paralel	Tegangan (Volt)	2.59	2.66	2.67
		Arus (Ampere)	0.83	0.93	1.12
		Temperatur (°C)			
		T_{Hot}	58	58	58.9
		T_{Cold}	34.6	35	35.4
		Tegangan (Volt)	0.64	0.7	0.77
		Arus (Ampere)	3.2	3.23	3.2

Tabel 2.

Hasil pengambilan data percobaan pada putaran 1500 RPM

No.	Rangkaian Peltier	Variabel	Pengambilan data		
			I	II	III
1	Tunggal	Temperatur (°C)	T_{Hot}	65	65
			T_{Cold}	37	37
		Tegangan (Volt)		0.75	0.74
		Arus (Ampere)		0.63	0.61
2	Seri	Temperatur (°C)	T_{Hot}	65	65
			T_{Cold}	37	38
		Tegangan (Volt)		2.70	3.51
		Arus (Ampere)		1.22	1.25
3	Paralel	Temperatur (°C)	T_{Hot}	65	65
			T_{Cold}	38	38
		Tegangan (Volt)		0.73	0.71
		Arus (Ampere)		4.62	4.73

Tabel 3.

Hasil pengambilan data percobaan pada putaran 2000 RPM

No.	Rangkaian Peltier	Variabel	Pengambilan data		
			I	II	III
1	Tunggal	Temperatur (°C)	T_{Hot}	73.7	73.9
			T_{Cold}	42.3	42.5
		Tegangan (Volt)		0.78	0.92
		Arus (Ampere)		0.73	0.75
2	Seri	Temperatur (°C)	T_{Hot}	73.8	73.8
			T_{Cold}	42.7	42.6
		Tegangan (Volt)		3.73	3.92
		Arus (Ampere)		1.70	1.68
3	Paralel	Temperatur (°C)	T_{Hot}	74	74
			T_{Cold}	43	43
		Tegangan (Volt)		0.91	0.91
		Arus (Ampere)		5.42	5.71

Tabel 4.

Hasil pengambilan data percobaan pada putaran 2500 RPM.

No.	Rangkaian Peltier	Variabel	Pengambilan data		
			I	II	III
1	Tunggal	Temperatur (°C)	T_{Hot}	78	78
			T_{Cold}	45.3	45.2
		Tegangan (Volt)		1.13	1.25
		Arus (Ampere)		0.94	0.94

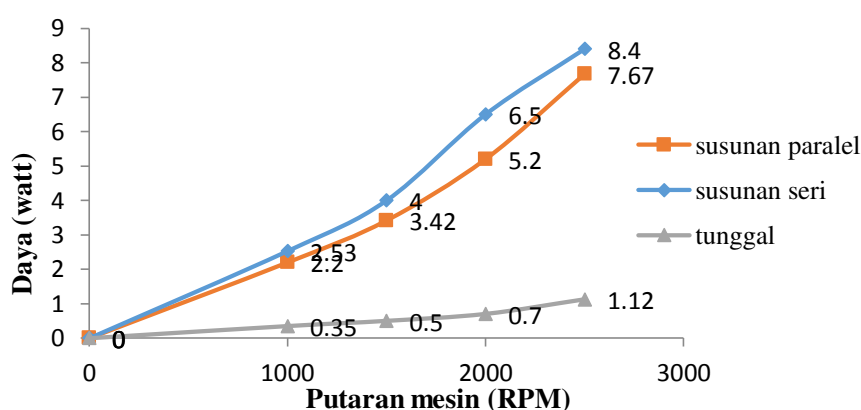
Konversi Energi Panas Penggerak Utama Kapal Berbasis *Thermoelectric*

Tabel 4. (lanjutan)

Hasil pengambilan data percobaan pada putaran 2500 RPM.

No.	Rangkaian Peltier	Variabel	Pengambilan data		
			I	II	III
2	Seri	Temperatur (°C)	T_{Hot}	78	78
			T_{Cold}	45.2	45.2
		Tegangan (Volt)	3.98	4.01	4.01
		Arus (Ampere)	2.15	2.15	2
3	Paralel	Temperatur (°C)	T_{Hot}	78	78
			T_{Cold}	45.3	45
		Tegangan (Volt)	1.27	1.31	1.51
		Arus (Ampere)	5.8	5.8	6.01

Dari hasil perhitungan di atas selanjutnya dapat digambarkan hubungan antara kenaikan putaran mesin terhadap besar daya yang dihasilkan pada masing-masing rangkaian, berikut grafik dibawah ini,



Gambar 15.

Grafik putaran mesin (RPM) dan daya pada rangkaian peltier.

Berdasarkan hasil pengolahan data diatas, pada putaran mesin 1000, 1500, 2000 dan 2500 RPM diperoleh hasil sebagai berikut:

- Daya terkecil dan terbesar yang dihasilkan 1 buah *peltier* dengan perbedaan terperatur sisi panas dan dingin 24 °C pada putaran 1000 RPM dan 33°C pada putaran 2500 RPM adalah 0.35 Watt dan 1,12 Watt. Sebuah *peltier* untuk mendapatkan daya sebesar 1,12 Watt hanya membutuhkan sekitar 70 joule energi panas hasil pembakaran dari mesin.
- Daya yang dihasilkan 2 buah *peltier* disusun seri dengan perbedaan terperatur sisi panas dan dingin masing –masing 24 °C, 28 °C, 33 °C dan 33 °C adalah 2,53 Watt , 4 Watt , 6,5 Watt dan 8,4 Watt.

- c. Daya yang dihasilkan 2 buah peltier disusun Paralel dengan perbedaan temperatur sisi panas dan dingin masing –masing 24 °C, 28 °C, 33 °C dan 33 °C adalah 2,2 Watt , 3,42 Watt , 5,2 Watt dan 7,67 Watt.

Peltier dapat digunakan sebagai energi alternatif pada kamar mesin dimasa mendatang, ini telah dibuktikan bahwa peltier mampu menghasilkan listrik dari pemanfaatan energi panas buangan pada penggerak utama kapal melalui hasil percobaan di laboratorium permesinan kapal. Penelitian ini menyimpulkan, pada kondisi putaran 1000 RPM mesin MITSUBISHI type 4DR50A yang digunakan perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin pada *peltier* tunggal sebesar 24 °C dan menghasilkan daya sebesar 0,35 Watt, sedangkan pada putaran 2500 RPM perbedaan suhu yang terjadi sebesar 33 °C dan menghasilkan daya sebesar 1,12 Watt. Ini menunjukkan bahwa semakin besar perbedaan suhu yang terjadi maka daya dari *peltier* meningkat.

Elemen peltier telah terbukti mampu mengubah polusi menjadi energi listrik. *Elemen peltier* sangat ramah lingkungan, tidak menimbulkan suara serta mampu bekerja mengubah tiap derajat temperatur yang terbuang selama 200.000 jam. *Elemen peltier* tipe TEG yang memiliki dimensi sama dengan *elemen peltier* tipe TEC bahkan mampu bekerja pada suhu 300°C dan menghasilkan daya yang lebih besar. *Thermoelectric generator* dengan *elemen peltier* didalamnya bersifat portable, dimana saja ada panas yang terbuang maka *thermoelectric generator* menjadikannya lebih bermanfaat.

SIMPULAN

Pada *peltier* susunan seri nilai tegangan (V) lebih besar dari nilai arus (I), sedangkan pada *peltier* susunan paralel berlaku sebaliknya. Dari hasil analisis data daya yang dihasilkan *peltier* pada susunan seri lebih besar dibandingkan dengan daya peltier pada susunan paralel, yaitu diperoleh daya terbesar yang dapat dihasilkan *peltier* adalah 8,4 Watt pada kondisi putaran mesin 2500 RPM dan perbedaan suhu sebesar 33 °C.

Nilai efisiensi maksimal terbesar adalah 1,6 % pada putaran 2500 RPM berbeda dengan catalog produk peltier Tipe TEC yang digunakan yakni 5%, hal ini bisa disebabkan banyak hal seperti kehilangan panas, pengaruh luas permukaan penerima panas, tidak tercapainya gradient suhu maksimal dan masih banyak lagi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- J. Richard Buist and Paul G. Lau. *Thermoelectric Power Generator Design and Selection from TE Cooling Module Specifications*. TE Technology, Inc., 1590 Keane Drive, Traverse City, MI 49686 USA.
- Supri, Pratiwi Oktaviani, Andreas Setiawan. *Panen energi listrik diantara sungai dan matahari: gagasan pemanfaatan thermoelectric di kalimantan barat, program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Jl. Diponegoro 52-60, Salatiga 50711, Jawa Tengah, Indonesia*.

**Konversi Energi Panas Penggerak Utama Kapal
Berbasis *Thermoelectric***

Susilo, Danang., Rusminto Tj.W., Eng., dan Agus Indra G. *Peningkatan Daya Keluaran Sel Surya dengan Penjejak Matahari dan Pemantulan Cahaya Matahari sebagai Sumber Daya Pendukung Perusahaan Listrik Negara (PLN), Sub judul: Penjejak Matahari Berbasis Sensor Cahaya dan Waktu.* Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Kampus PENS-ITS Sukolilo, Surabaya.

Alemi, H., Aghanajafi, C., Kashi, A., 2013, *Optimization and Investigation of Multi-Stage Thermoelectric Generation System With Particle Swarm Optimizaton (PSO), Toosi University of Technology Iran*

[https://Marine.cat.com/marine engine catalog](https://Marine.cat.com/marine-engine-catalog), diakses 24 desember 2014.