

# Studi *Thermoelectric Generator* untuk Solusi Pemanfaatan *Waste Energy* dengan *Peltier* Sebagai Sistem Pengkondisi Temperatur

Gaguk Marausna<sup>1)\*</sup>, Joni Kasmara<sup>2)</sup>, Muhammad Nadjib<sup>3)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Indonesia

<sup>3)</sup> Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia

## Abstrak

*Waste heat* dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, terutama *waste heat* dari *flue gas* mesin pesawat yang tersedia untuk membangkitkan energi listrik menggunakan *thermoelectric generator* (TEG). Penambahan *phase change materials* bertujuan meningkatkan kesetabilan sistem dan menyimpan energi dalam bentuk kalor laten dan sensibel. Untuk mendapatkan temperatur dingin pada pengujian TEG diperlukan sebuah sistem pengkondisi temperatur yang memanfaatkan *peltier*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mendapatkan karakteristik *thermoelectric generator* dengan jangkauan beda temperatur operasional 10.25-19.75 °C. Hasil penelitian menunjukkan penurunan tegangan rata-rata per menit sebesar 0.02 volt terjadi disebabkan penurunan beda temperatur sisi panas dan dingin rata-rata per menit sebesar 0.65 °C.

**Kata kunci:** *waste heat*, *thermoelectric generator*, *phase change materials*, *data logger*.

## Abstract

*Waste heat* can be utilized to produce the electricity energy, particularly the *waste heat* from *flue gas* of aircraft engine can be converted to electricity energy using *thermoelectric generator* (TEG). Additional the *phase change materials* purpose increase system stability and energy storage in latent energy form dan sensible energy form. To archieve cold temperature for TEG testing, the temperature control is needed using *peltier*. In this research, the experimental method is using to study *thermoelectric* characteristics within operational temperature difference 10.25-19.75 °C. The results shown the average voltage decrease 0.02 volt per minute caused by temperature difference between hot side and cold side module decrease 0.65 °C per minute

**Keywords:** *waste heat*, *thermoelectric generator*, *phase change materials*, *data logger*.

## Pendahuluan

*Waste heat* merupakan bentuk energi yang sudah tidak dimanfaatkan oleh perangkat utama di dalam sebuah sistem sebagaimana *flue gas* yang dibuang dari mesin kalor maupun *waste heat* dari kondensor di dalam sistem refrigerasi. Tantangan utama dalam pemanfaatan modul *thermoelectric generator* (TEG) sebagai alat konversi energi adalah efisiensinya yang rendah. Diperlukan perbedaan temperatur yang tinggi pada kedua sisi modul agar energi yang dihasilkan menjadi tinggi. Sementara itu banyak peneliti berlomba-lomba untuk mencari solusi atas permasalahan tersebut dengan merancang modul yang bervariasi maupun memanfaatkan *thermoelectric generator* pada berbagai penerapan.

Sebuah *prototype* yang menggunakan dua jenis *thermoelectric* modul berbeda dapat diaplikasikan untuk *wireless sensor* dan menghasilkan peningkatan energi 14% sementara efisiensi sistemnya 50%.

---

\* E-mail address: [gaguk.marausna@sttkd.ac.id](mailto:gaguk.marausna@sttkd.ac.id)

Available online 31 July 2020

Perangkat tersebut merupakan sistem *energy autonomous* yang dikendalikan oleh *power management* dan sensor *node* untuk diterapkan pada bagian dalam *aircraft hull* <sup>[1]</sup>.

Peningkatan efisiensi *thermoelectric generator* pernah diuji dengan menambahkan *phase change materials* (PCM) jenis *erythritol* dan H120 yang memiliki temperatur perubahan fase 118-120 °C sehingga dapat menyimpan energi ketika terjadi perubahan fase <sup>[2]</sup>.

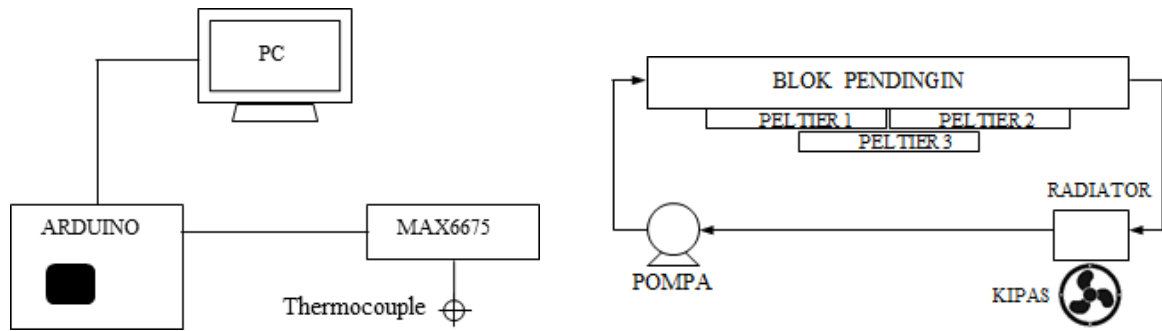
*Waste heat* seperti *flue gas* merupakan salah sumber energi yang dapat dimanfaatkan dengan mengonversi *waste heat* menjadi energi listrik. *Prototype* yang memanfaatkan *flue gas* diuji menggunakan komputasi yang menyertakan efek *thermoelectric* seperti Peltier, Seebeck, Thomson dan Joule. Penurunan temperatur *flue gas* sangat penting diperhitungkan dalam pemanfaatan *waste heat* <sup>[3]</sup>.

*Thermoelectric generator* untuk *self-powered wireless sensors* pada turbin gas memiliki *hotpipe* pada sisi dingin yang didinginkan dengan temperatur ruang sementara *heater* digunakan untuk memanaskan salah satu sisi modul *thermoelectric generator*. Tegangan *output* perangkat tersebut tidak mengalami kenaikan yang linier dengan sumber temperatur disebabkan *resistansi sink* yang nilainya tergantung pada temperatur. Penyebab lainnya adalah tegangan perangkat tersebut tidak linier dengan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin <sup>[4]</sup>.

Di dalam penelitian ini dirancang sebuah *thermoelectric generator* untuk memanfaatkan *waste heat* dari mesin pesawat sedangkan temperatur rendah untuk *thermoelectric generator* diperoleh ketika pesawat *take-off* dan *climbing*. *Thermoelectric generator* bekerja dengan cara membangkitkan energi listrik karena perbedaan temperatur di kedua sisinya. Sisi panas disuplai oleh *waste heat* dikondisikan sudah tersimpan di dalam modul *thermoelectric generator* dalam bentuk kalor laten dan sensibel. Sisi dingin dikondisikan dengan sistem pengkondisian temperatur memanfaatkan *peltier*. Diharapkan temperatur stabil sisi dingin dapat tercapai dengan sistem pengkondisian tersebut sementara fungsi penyimpanan kalor diharapkan dapat menjadi solusi untuk membuat sistem mampu tetap bekerja ketika suplai *waste heat* terganggu atau tidak ada suplai *waste heat*.

## Metode Penelitian

Rancangan *data logger* ditunjukkan pada Gambar 1a memanfaatkan ARDUINO MEGA 2560 yang dihubungkan ke sebuah PC melalui komunikasi serial. Termokopel K-type membutuhkan modul MAX 6675 agar data analog dapat dikonversi ke data digital. Rancangan yang dibuat mampu memfasilitasi pengambilan data hingga 6 termokopel pada penelitian ini. Rancangan sistem pengkondisi temperatur pada Gambar 1b dibuat guna mensimulasikan kondisi atmosfer yang sesuai dengan kondisi pesawat ketika *take-off* dan *climbing*. *Peltier* jenis TEC1 12706 disusun bertingkat untuk memperoleh temperatur yang rendah. Sebagai efeknya adalah panas berlebih di sisi pelepas kalor *peltier* harus didinginkan dengan sistem pendingin air agar *peltier* tidak rusak. Sistem pendingin menggunakan *water block* 120 x 40 mm, radiator 80 mm, dan pompa air 1000 liter/jam.



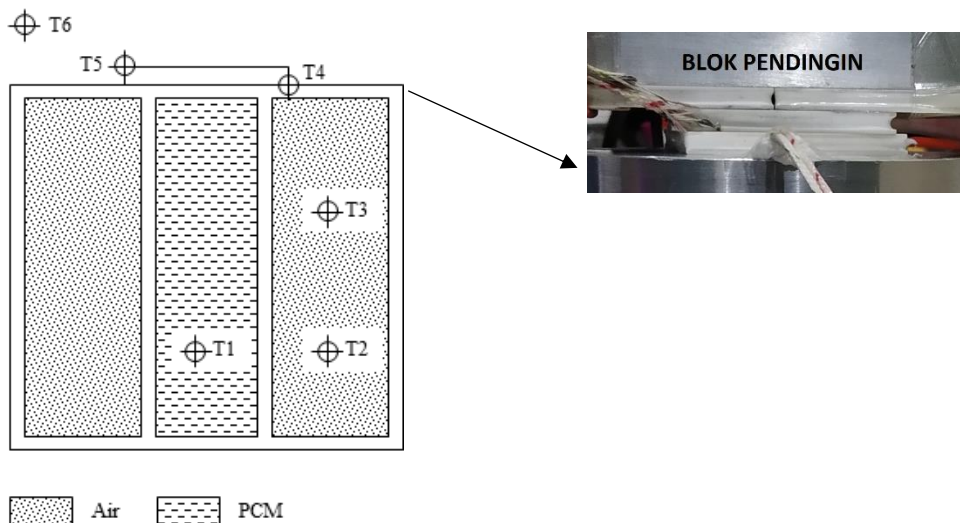
Gambar 1. Skema (a) data logger (b) pengkondisi temperatur

Gambar 2 menunjukkan TEG yang memiliki tinggi 53 mm dan diameter luar 38 mm berisi air dengan massa 141.03 gr. Bagian silinder dalam TEG berdiameter 28 mm berisi PCM jenis *paraffin wax* RT52 dengan variasi 4.3%, 7%, dan 10.3% dari massa air yang diwakili dengan parameter P4, P7, dan P10. Spesifikasi *paraffin wax* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik *paraffin wax* RT52

Sifat Fisik	Nilai
Temperatur pelelehan, $T_m$ (°C)	49-53
Kalor laten peleburan, $L$ (J/kg)	173000
Kalor spesifik, $C_{p,l}, C_{p,s}$ (J/kg °C)	2000
Massa jenis padat, $\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	880
Massa jenis cair $\rho_l$ (kg/m <sup>3</sup> )	760
Konduktivitas termal, $k$ (W/m °C)	0.2
Viskositas kinematik, $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	$31.28 \times 10^{-6}$

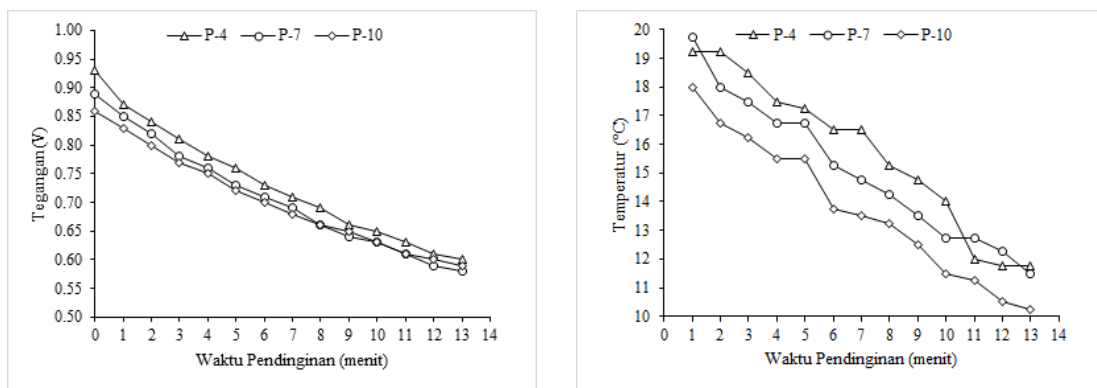
*Prototype* TEG diamati melalui pengamatan perubahan temperatur PCM dengan termokopel T1, temperatur air dengan termokopel T2 dan T3. Sisi panas TEG diamati perubahan temperaturnya dengan termokopel T4. Sisi dingin TEG bersentuhan dengan sisi bawah *peltier* TEC1 12706 di amati dengan T5. Sistem TEG maupun sistem pengkondisi temperatur kinerjanya sangat dipengaruhi oleh temperatur ruang yang diamati dengan termokopel T6.



Gambar 2. Titik pemasangan termokopel

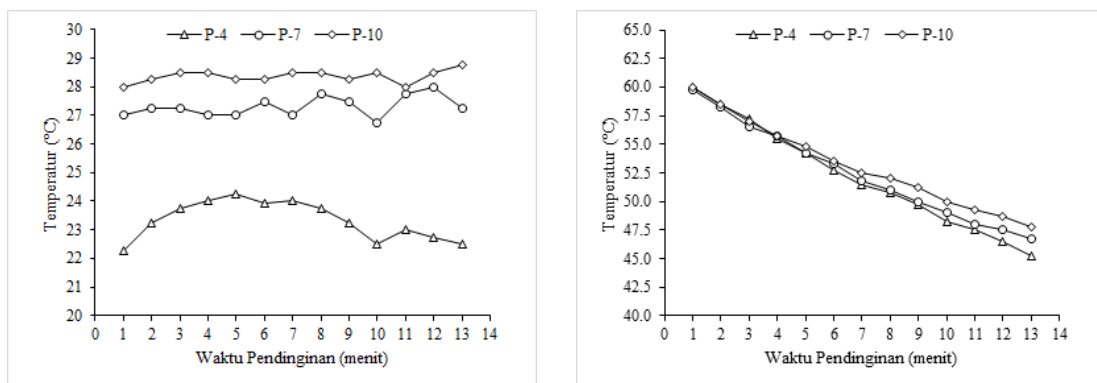
## Hasil dan Pembahasan

TEG dipanaskan mencapai temperatur 70 °C sebelum diambil datanya. Temperatur TEG tidak bisa diatur melebihi 70 °C disebabkan terjadinya rembesan air pada *prototype* dengan tekanan yang meningkat di dalam TEG. Sistem pendingin diaktifkan setelah temperatur 70 °C dicapai. Gambar 3a menunjukkan penurunan tegangan yang dihasilkan TEG seiring dengan penurunan beda temperatur sisi panas dan dingin modul TEG ditunjukkan pada Gambar 3b. Beda temperatur menit ke 1 pada P4 sebesar 19.25 adalah 0.87 volt. Rata-rata penurunan tegangan setiap menit sebesar 0.02 volt. Meskipun tegangan yang dihasilkan mendekati 1 volt namun arus yang dihasilkan oleh modul TEG tidak mampu digunakan untuk membangkitkan sebuah LED disebabkan pada penelitian ini hanya digunakan 1 modul. Perlu adanya tambahan modul TEG yang dirangkai secara paralel agar arus modul keseluruhan dapat meningkat.

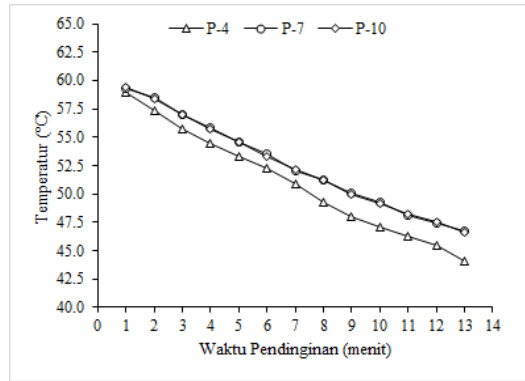


**Gambar 3. Perubahan (a) tegangan (b) beda temperatur sisi panas dan dingin**

Temperatur lingkungan ditunjukkan pada Gambar 4a mempengaruhi kemampuan sistem pengkondisi temperatur terutama pada kemampuan melepas kalor. Temperatur lingkungan yang rendah mampu meningkatkan temperatur dingin yang dihasilkan sistem pendingin yang mana beda temperatur kedua sisi modul TEG semakin tinggi dan menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. Perbedaan temperatur sisi panas dan dingin setiap menit terjadi penurunan rata-rata sebesar 0.65 °C. Temperatur PCM di dalam silinder utama pada TEG mengalami penurunan dengan melepas kalor laten selama perubahan fase cair ke padat. Rata-rata penurunan temperatur PCM setiap menit adalah 1.11 °C. Massa PCM yang sedikit tidak memberi pengaruh signifikan untuk memperlambat laju penurunan temperatur PCM ditunjukkan pada Gambar 4b dan temperatur air pada Gambar 5.



**Gambar 4. Perubahan (a) temperatur lingkungan (b) temperatur PCM**



**Gambar 5. Perubahan temperatur air**

Grafik perubahan temperatur PCM menunjukkan perbedaan semakin besar antara P4, P7, dan P10 mulai menit ke 5. Grafik perubahan temperatur air selama proses pendinginan menunjukkan grafik berimpit pada P7 sebesar 46.75 °C dan P10 sebesar 46.63 °C pada menit ke 13 sementara temperatur untuk P4 sebesar 44.13 °C. Grafik temperatur P4 yang posisinya di bawah grafik P7 dan P10 disebabkan temperatur lingkungan yang mempengaruhi temperatur silinder yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan air, silinder ini tidak terisolasi dari lingkungan sehingga terjadi *heatloss*.

## Kesimpulan

Di dalam penelitian ini beberapa kesimpulan dapat ditarik:

1. ARDUINO MEGA 2560 dengan Modul MAX 6675 dapat memfasilitasi pengambilan data hingga 8 termokopel. Dengan temperatur mendekati kontan termokopel akan menampilkan hasil berubah-ubah  $\pm 0.5$  °C.
2. Menyusun bertingkat peltier dapat menurunkan temperatur sisi dingin namun kinerja peltier sebagai sistem pendingin bergantung pada kemampuan pelepasan kalor sisi panas *peltier*, semakin banyak kalor dilepas akan semakin dingin temperatur *peltier*.
3. Penurunan tegangan *thermoelectric generator* dengan penurunan rata-rata 0.02 volt setiap menit terjadi akibat penurunan rata-rata beda temperatur sisi panas dan dingin setiap menit sebesar 0.65 °C.
4. Jumlah PCM yang digunakan tidak memberikan efek signifikan pada laju penurunan tegangan setiap menit karena jumlah PCM yang sedikit.

## Daftar Pustaka

- [1] D. Samson, M. Kluge, Th. Becker, and U. Schmid, "Wireless sensor node powered by aircraft specific thermoelectric energy harvesting", *Sensors and Actuators A: Physical*, no. 172, pp. 240-244, 2011.
- [2] A. Elefsiniotis, N. Kokorakis, Th. Becker, and U. Schmid, "A novel high-temperature aircraft-specific energy harvester using PCMs and state of the art TEGs", *Materials Today: Proceedings 2*, pp. 814-822, 2015.
- [3] P. Aranguren, M. Araiz, D. Astrain, and A. Martínez, "Thermoelectric generators for waste heat harvesting: A computational and experimental approach", *Energy Conversion and Management*, no. 148, pp. 680-691, 2017.
- [3] Yongjia Wu, Haifeng Zhang, and Lei Zuo, "Thermoelectric energy harvesting for the gas turbine sensing and monitoring system", *Energy Conversion and Management*, no. 157, pp. 215-223, 2017.