

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGEMBANGAN GENERATOR TERMOELEKTRIK SEBAGAI SUMBER LISTRIK

Zuryati Djafar^{a,*}, Nandy Putra^b, R.A. Koestoer^b

^aTeknik Mesin Universitas Hasanuddin

^bTeknik Mesin Universitas Indonesia

*Mahasiswa Pasca Sarjana Universitas Indonesia

Laboratorium Perpindahan Kalor, "Heat Transfer Research Group"

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424

Phone: +62-081355026518, Fax: 021-7270033, E-mail: ydjafar@yahoo.com

Abstract

Thermoelectric module is thermo element devices that can take advantage heat and to convert into electric energy. As an electrical energy generating system, these elements are not noisy, easy to maintain and relatively small dimension, light and friendly to the environment because it does not produce pollution.

This research aims to examine the characteristics of thermoelectric modules which are used as thermoelectric generators and to determine the optimal voltage difference that can be generated. This research started by the design of a thermoelectric generator is a simple model system in which the thermoelectric module is mounted on a copper plate that it functions as a solar collector and further testing of the generator system. The research results show that the intensity of solar radiation affects the temperature difference obtained between the two sides of the modules; For the single thermoelectric module (TEG), temperature difference (ΔT), maximum of about 5.02°C with voltage difference (ΔV), maximum of 143,40 mV. And for the double thermoelectric module (TEG) that is connected in the thermal series indicate the temperature difference (ΔT), maximum around 12.42°C with voltage difference (ΔV) to a maximum of 316.14 mV while the modules are connected in series electricity to generate maximum ΔT of about 10°C with ΔV of about 200 mV.

Keywords: thermoelectric generator, solar radiation, temperature difference, voltage difference.

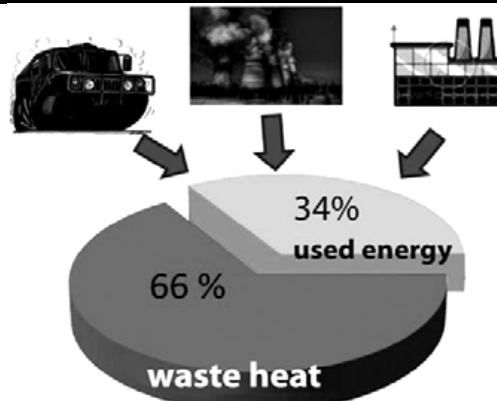
1. Pendahuluan

Salah satu permasalahan dunia yang saat ini banyak dibicarakan adalah semakin tipisnya cadangan potensial bahan bakar fosil, harga minyak mentah mengalami perubahan tiap detiknya, harganya yang naik turun membuat ketidakstabilan ekonomi banyak negara, khususnya negara-negara non penghasil minyak dan dengan konsumsi minyak mentah banyak. Namun untuk mengurangi dampak ketidakstabilan harga minyak tersebut, program pengembangan energi alternatif semakin dibutuhkan untuk memberi solusi konkret dalam penghematan bahan bakar fosil, dan salah satunya adalah pemanfaatan gas buang.

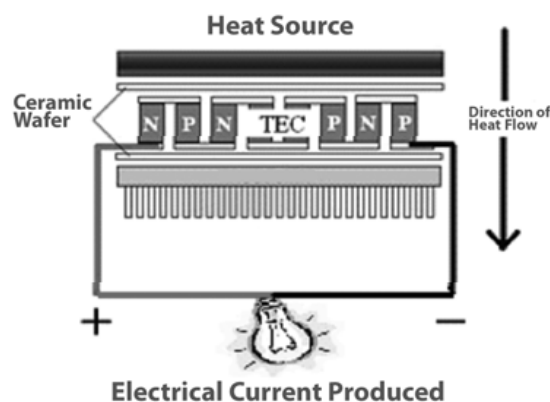
Terdapat banyak gas buang dari industri dan kendaraan bermotor yang dihasilkan yang terbuang begitu saja ke lingkungan. Dalam gambar 1, terlihat gas buang yang dimanfaatkan dari kedua sektor tersebut hanya sekitar 35-40%, sementara sisanya terbuang ke lingkungan [1]

Beberapa penelitian dari pemanfaatan kalor buangan dari industri dan kendaraan bermotor telah dilakukan. Sebagai contoh, **Rasyid et.al [2]** telah meneliti Peningkatan Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan memanfaatkan limbah kalor dari kondenser dan mengkonversinya menjadi tenaga listrik dengan penambahan siklus biner pada siklus temperatur rendah, hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi dari kinerja Pembangkit bisa naik sampai 10% dan power outputnya naik menjadi 123,46 MW atau naik mencapai 13% dan panas yang terbuang menurun sampai 10 % lebih rendah. Ada banyak kemungkinan penggunaan bahan bakar alternatif. Namun solusi sebagai upaya penghematan bahan bakar fosil sekaligus penemuan sumber energi alternatif yang ditawarkan dalam makalah ini adalah pemanfaatan radiasi kalor dari matahari untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan modul generator termoelektrik (TEG).





Gambar 1. Energi kalor gas buang yang ada [1]



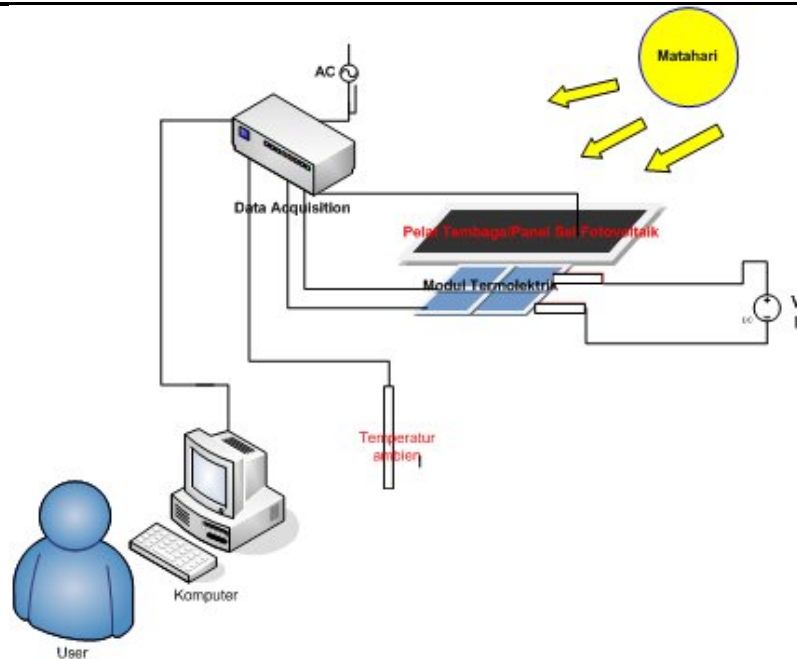
Gambar 2. Skema Struktur Generator Termoelektrik [1]

Generator termoelektrik (TEG) adalah suatu pembangkit listrik yang didasarkan pada efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck [3]. Dengan memanfaatkan teori efek seebeck, kalor radiasi surya ini bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan arus listrik. Prinsip kerja dari efek Seebeck yang bekerja pada sistem pembangkit termoelektrik adalah: jika dua buah material logam (umumnya semi konduktor) yang tersambung berada di lingkungan dengan temperatur yang berbeda maka di material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik. Apabila efek ini diterapkan pada kolektor radiasi matahari, maka perbedaan temperatur antara pelat kolektor dan temperatur lingkungan dapat dimanfaatkan untuk memperoleh gaya gerak listrik yang selanjutnya disimpan di dalam sebuah baterai.

Gambar 2 menunjukkan struktur TEG yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-n (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (material dengan kekurangan elektron). Panas masuk pada satu sisi dan dibuang dari sisi yang lainnya, menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur

Beberapa aplikasi modul Termoelektrik Generator (TEG) telah banyak diterapkan di berbagai bidang, sebuah perusahaan Amerika (Hi-Z Technology, Inc.) telah berhasil mengembangkan delapan modul *peltier* (model HZ-14) yang digunakan pada *glycol generator* dan dapat menghasilkan daya sebesar 60 Watt dengan temperatur ambien 15-30°C dan temperatur operasi berkisar 175-200°C [4]. Besarnya daya yang dihasilkan dikarenakan modul yang digunakan tersebut adalah modul khusus untuk Termoelektrik Generator, bukan modul Termoelektrik Cooling (TEC) dengan besar perbedaan temperaturnya mencapai 170°C.

Dalam sebuah penelitian yang telah dilakukan oleh Eakburanawat *et al.*[5], yang mengembangkan *battery charger* berbasis termoelektrik. Sistem yang dikembangkan menghasilkan daya maksimum sebesar 7,99 Watt. Penelitian tersebut menggunakan sumber kalor panas buang dari tungku api dan juga dinding tungku. Generator termoelektrik ini juga telah dikembangkan untuk diaplikasikan pada laptop. Pembangkit tersebut menggunakan panas yang dihasilkan dari gas butan. Daya yang dihasilkan adalah sekitar 13,35 Watt.



Gambar 3. Skema instalasi Sistem Generator (Pembangkitan Daya) Termoelektrik

Nuwayhid *et al.* [6] dalam penelitiannya mengembangkan dan menguji pembangkit termoelektrik pada tungku api tradisional di Libanon dengan menggunakan konveksi bebas pada sisi termoelektrik yang menghasilkan daya sebesar 4,2 Watt.

Dalam laporannya Nandy *et al* [1], telah mensimulasikan sebagai sebuah sumber kalor dengan menggunakan pemanas/heater yang divariasikan tegangannya, yaitu 110V dan 220V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan dua belas elemen *peltier* yang disusun secara seri dengan tegangan pemanas 220V, dapat menghasilkan daya output maksimum 8,11 Watt dengan perbedaan temperatur rata-rata 42,82°C.

2. Metode Penelitian

Sesuai dengan tujuan penelitian untuk mengetahui dan menentukan perbedaan tegangan optimal yang dapat dihasilkan, khususnya dalam memanfaatkan radiasi kalor matahari.

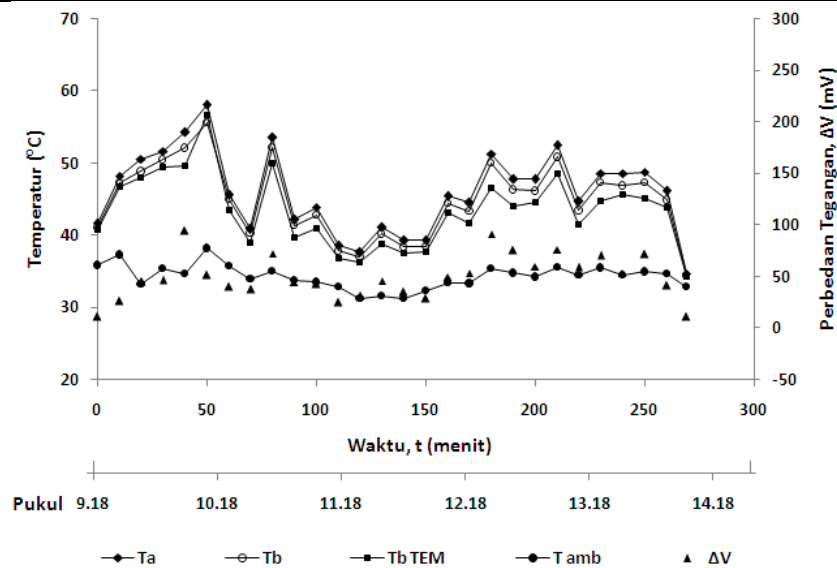
Pengujian pelat kolektor dengan berbasis termoelektrik ini dilakukan di lingkungan terbuka. Intensitas cahaya matahari diprediksi dengan menggunakan sebuah alat pengukur intensitas kalor radiasi matahari yang disebut sebagai Piranometer, dalam hal ini piranometer yang digunakan adalah Piranometer Kipp & Zonen tipe VM5 dengan daerah sensitivitas $9 - 15 \mu\text{V}/\text{Wm}^2$ dengan pembacaan data outputnya berupa tegangan yang dibaca dengan menggunakan sebuah AVOMeter. Pengambilan data akuisisi temperatur dan tegangan yang dihubungkan langsung pada komputer dengan menggunakan komponen pendukung dari National Instrumen dengan perangkat lunak program Lab. View 8.5.

Pada pengujian ini, pada sisi permukaan bawah dari pelat kolektor ditempelkan termoelektrik (gambar 3) yang difungsikan sebagai sebuah sistem yang akan memanfaatkan kalor dari pelat kolektor untuk menghasilkan listrik, dalam hal ini adalah perbedaan tegangan. Perbedaan tegangan yang dihasilkan terjadi karena adanya perbedaan temperatur pada kedua sisi termoelektrik. Hal ini disebabkan karena adanya kalor yang diserap oleh permukaan atas termoelektrik yang berkontak langsung dengan permukaan bawah pelat kolektor, sementara permukaan bawah dari termoelektrik diharapkan dapat melepaskan kalor semaksimal mungkin agar perbedaan temperatur pada kedua permukaan termoelektrik tetap maksimal. Perbedaan temperatur pada permukaan bawah termoelektrik biasanya dibantu dengan sebuah sistem pendinginan, namun dalam pengujian ini pendinginan yang diberikan masih pendinginan udara bebas (tanpa bantuan sebuah komponen sistem pendingin). Data pengukuran temperatur yang diambil terdapat 11 titik dan sebuah data tegangan.

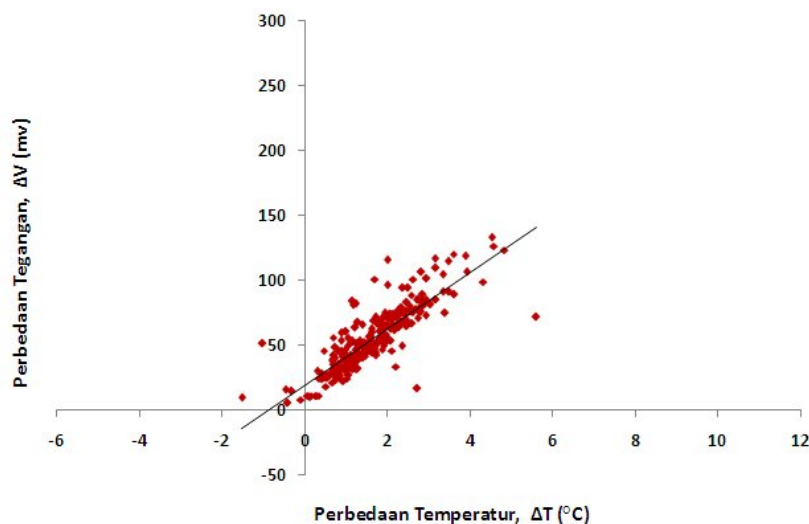
3. Hasil dan Diskusi

Gambar 4. menunjukkan grafik temperatur permukaan atas pelat (T_a), permukaan bawah pelat (T_b), permukaan bawah modul Termoelektrik (T_b TEM) dan Temperatur ambien (T_{amb}) serta perbedaan tegangan (ΔV) yang dihasilkan terhadap waktu, dan jika diperhatikan dengan seksama, terlihat $T_a > T_b > T_b \text{ TEM} > T_{amb}$.





Gambar 4. Pelat Kolektor dgn TEG Tunggal
(data Pengukuran, Kamis – 20 Mei 2010, pukul 09.18 – 14.07)



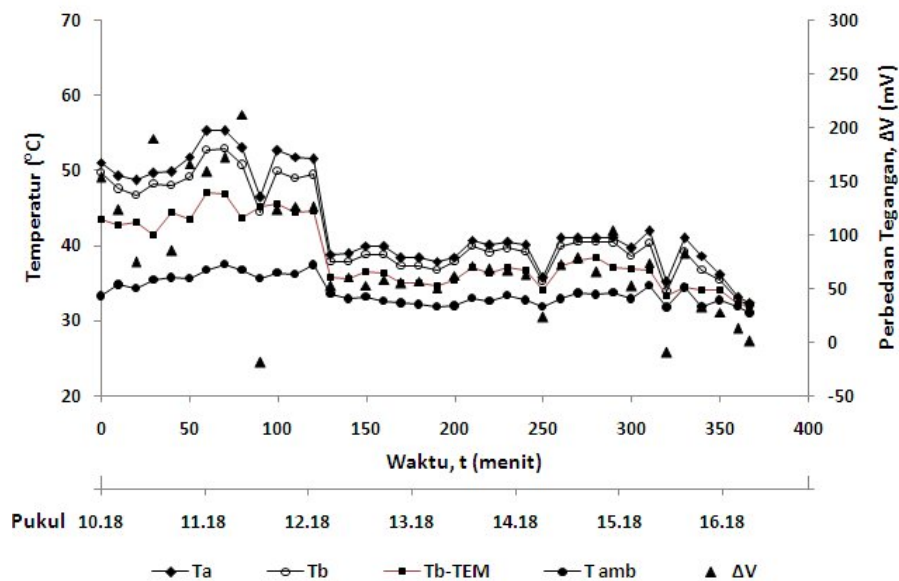
Gambar 5. ΔT Vs ΔV untuk Modul Termoelektrik Generator (TEG) Tunggal

Dari gambar terlihat temperatur berfluktuasi di sepanjang waktu, dimana secara rata-rata mulai pukul 09.18 terjadi kenaikan temperatur kemudian menurun di sekitar pukul 11.00-12.00 dan kembali meningkat hingga pukul 13.30.

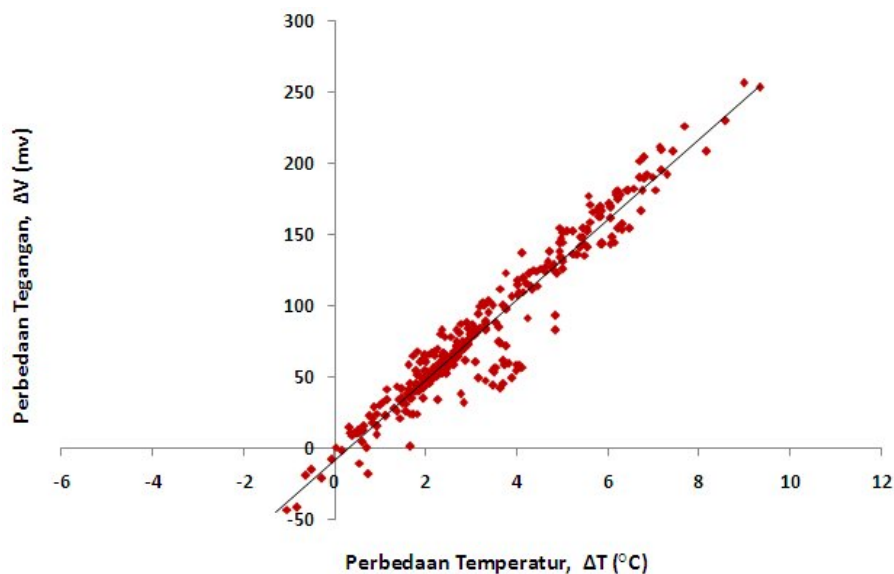
Peningkatan dan penurunan temperatur ini disebabkan oleh adanya peningkatan dan penurunan intensitas cahaya matahari yang dapat diindikasikan oleh adanya peningkatan dan penurunan temperatur udara sekeliling (T_{amb}). Selanjutnya pada gambar 4, juga terlihat bahwa peningkatan dan penurunan temperatur diikuti pula dengan peningkatan dan penurunan tegangan yang dihasilkan, yaitu sekitar 0-150mV,

dimana besar perbedaan tegangan yang dihasilkan terhadap besarnya perbedaan temperatur yang terjadi terlihat dengan jelas pada gambar 5.

Sesuai dengan teori Seebeck, bahwa beda tegangan listrik akan meningkat dengan meningkatnya perbedaan temperatur [7], gambar 5 menunjukkan adanya peningkatan perbedaan tegangan (ΔV) akibat adanya perbedaan temperatur (ΔT) di antara kedua sisi modul termoelektrik (T_b & T_b TEM). Sebagai contoh peningkatan perbedaan temperatur (ΔT) dari 1°C ke 5°C menghasilkan peningkatan perbedaan tegangan dari 41mV-120mV.



Gambar 6. Pelat Kolektor dengan TEG Ganda - Seri Termal
(data Selasa – 04 Mei 2010, pukul 10.18 – 16.25)

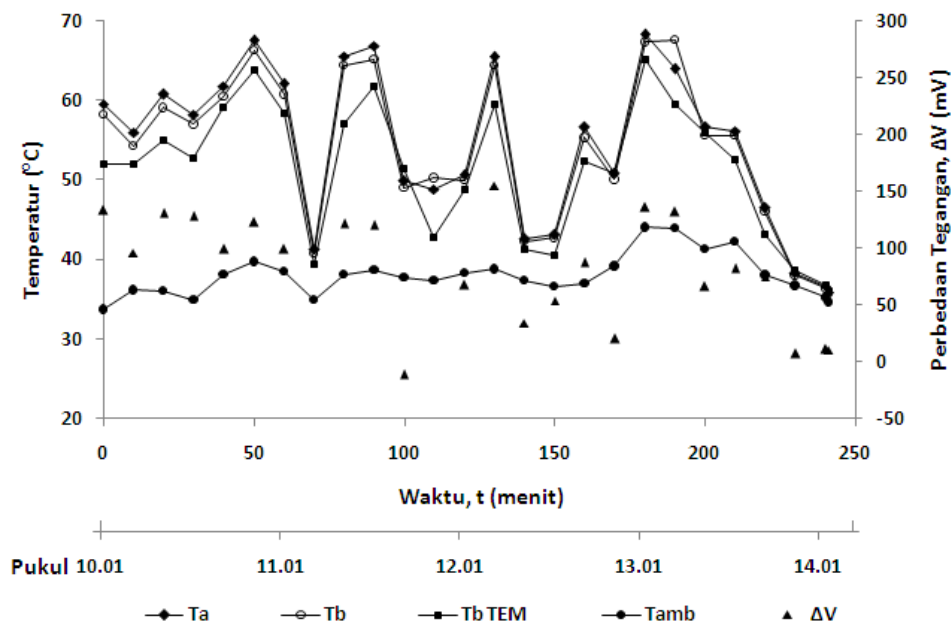


Gambar 7. ΔT Vs ΔV untuk Modul TEG Ganda- Seri Termal pada Pelat Kolektor

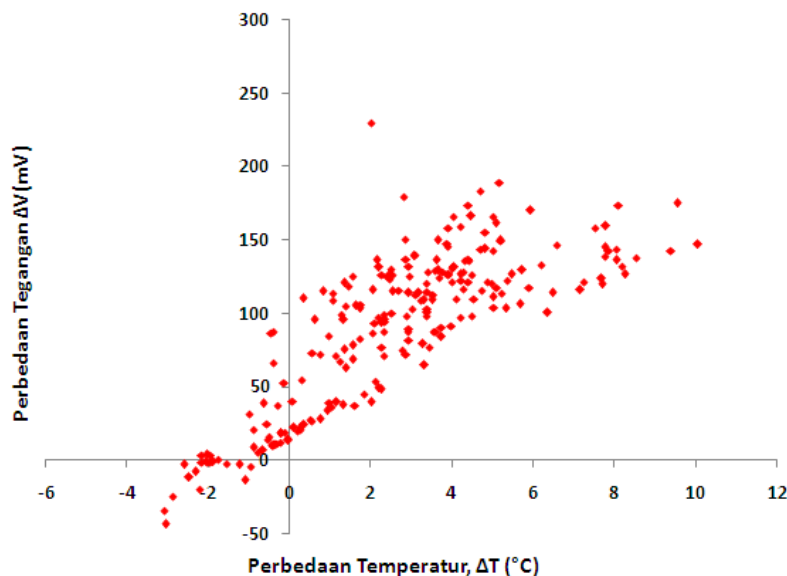
b. Pelat Kolektor dengan 2 buah TEG - Seri Termal

Gambar 6 mempunyai sejarah temperatur dan tegangan seperti pada gambar 4, tetapi menggunakan modul termoelektrik ganda (dua buah) yang dikoneksikan secara seri Termal (dengan posisi modul disusun bertumpuk). Dari gambar 6. terlihat karakteristik temperatur yang juga berfluktuasi seperti pada Gambar 4, namun perbedaan temperatur (ΔT) antara Tb dan Tb TEM terlihat sangat jelas. Gambar 7. menunjukkan peningkatan perbedaan temperatur antara Tb dan Tb TEM diikuti dengan peningkatan perbedaan

tegangan yang dihasilkan. Bila diperhatikan bahwa dengan adanya penambahan modul termoelektrik dan dikoneksikan serial Termal terjadi peningkatan besar perbedaan temperatur (ΔT) dari besar perbedaan temperatur yang dicapai modul termoelektrik tunggal, Seiring hal tersebut, perbedaan tegangan yang dihasilkan terjadi peningkatan, sebagai contoh untuk ΔT rata-rata sekitar 4°C dapat mencapai ΔV sebesar 155mV, sementara pada modul termoelektrik tunggal sebesar 123mV.



Gambar 8. Pelat Kolektor dengan TEG Ganda - Seri Listrik
(data Pengukuran, Selasa – 04 Mei 2010, pukul 10.01 – 14.02)



Gambar 9. ΔT Vs ΔV untuk Modul TEG Ganda- Seri Listrik pada Pelat Kolektor

d. Pelat Kolektor dengan TEG Ganda- Seri Listrik

Gambar 8 adalah untuk menunjukkan karakteristik temperatur dan tegangan terhadap waktu pengukuran yang terjadi yang menggunakan modul termoelektrik (TEG) berganda (2 buah) namun dikoneksikan secara serial Listrik dimana posisi modul TEG diletakkan berbaris, masing-masing keduanya berkontak langsung dengan pelat kolektor.

Karakteristik dari sejarah temperatur dan tegangan yang diperlihatkan dalam gambar 9, sama seperti Gambar-gambar sebelumnya, besarnya berfluktuasi seiring peningkatan dan penurunan

Intensitas radiasi matahari yang diberikan.

Gambar tersebut menunjukkan besar perbedaan temperatur yang diperoleh dari penggandaan modul TEG yang dikoneksikan secara serial listrik, di sini jelas terlihat adanya peningkatan perbedaan temperatur (ΔT) namun tidak berkorelasi dengan baik dengan peningkatan perbedaan tegangan (ΔV) seperti gambar 5 dan 7.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik yang dilakukan di bawah pengaruh radiasi matahari, selain pengaruh intensitas radiasi matahari mempengaruhi



perbedaan temperatur yang diperoleh antara kedua sisi modul juga adanya pengaruh jumlah dan koneksi rangkaian modul yang diberikan yang selanjutnya mempengaruhi besar perbedaan tegangan yang dihasilkan.

Perolehan peningkatan perbedaan tegangan dari hasil koneksi modul secara seri termal sangat berbeda dengan secara seri listrik; Untuk modul TEG seri termal perbedaan temperatur (ΔT) 4°C menghasilkan ΔV sekitar 155 mV, dan untuk koneksi secara seri listrik sebesar 126.28 mV, dan sebagai bahan perbandingan untuk modul TEG tunggal sekitar 123mV.

Modul termoelektrik (TEG) tunggal menghasilkan perbedaan temperatur (ΔT) maksimal sebesar 5.02°C dan 143.40 mV. Untuk modul termoelektrik (TEG) yang dikoneksikan secara seri termal pada kolektor matahari diperoleh perbedaan temperatur (ΔT) maksimal sekitar 12.42°C dengan besar perbedaan tegangan (ΔV) maksimal sekitar 316.14 mV untuk 2 buah modul termoelektrik, sementara untuk modul yang dikoneksikan secara seri listrik sekitar ΔT maksimal sekitar 10°C namun ΔV maksimal diperoleh sekitar 200 mV.

Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui skema RUUI 2009.

Daftar Pustaka

[1]. Nandy Putra, Raldi Artono Koestoer, M. Adhitya,

Ardian Roekettino, dan Bayu Trianto., “Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid”, *J. Makara Teknologi*. Vol. 13, No.2, .53-58. 2009.

- [2]. Rasyid, H.A., N. Putra, Nasruddin, R.A.Koestoer. 2008. *Energy Analysis for Power and Efficiency Improvement of Steam Power Plant by Installing Dual Pressure Bottoming Binery Cycle to Utilize Thermal Waste*. The Seventh JSME-KSME Thermal & Fluid Engineering Conference, No.08-201,. Oct.13-16. Japan: Sapporo.
- [3]. G. Min, D.M. Roe, *Handbook of Thermoelectrics, Peltier devices as generator*, CRC Press LLC, Florida, p.479, 1994.
- [4]. Anonymous, “HZ-14 Thermoelectric Module”, Hi-Z Technology inc, available at: www.hi-z.com/hz14.php, diakses 14 Desember 2008.
- [5]. J. Eakburanawat, I.Boonyaroonate, “Development of a thermoelectric batter-charger with microcontroller-based maximum power point tracking technique” *J. Appl. Energy*, 83/7, 687-704. 2006
- [6]. Rida Y. Nuwayhid, Alan Shihadeh, Nesreen Ghaddar, “Development ad Testing of a Domestic Woodstove Thermoelectric Generator with Natural Convection Cooling”, *J.Energy Conversion and Management*, Volume 46, Issues 9-10, 1631-1643.
- [7]. N. Putra, H. Hardanu, P.A. Sugiarto, F.N. Iskandar, *Proceedings of 10th Quality in Research*, Depok, Indonesia, 2007, IMM-28



