

Model Distribusi Panas Saluran Gas Buangan Kendaraan Untuk Optimalisasi Elemen Peltier Sebagai Generator Termal

Walfred Tambunan, Defrianto, Yanuar Hamzah, Lazuardi Umar
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru
Kampus Bina Widya Sp. Baru 28293 Pekanbaru
email:walfred.tambunan@gmail.com

Abstrak. Model distribusi panas saluran buangan kendaran bermotor telah dikembangkan untuk optimalisasi generator termoelektrik. Modul termoelektrik (*thermal electric modules, TEMs*) memanfaatkan efek Seebeck untuk membangkitkan listrik dari perbedaan gradien suhu, yang banyak dipergunakan bidang otomotif sebagai penghasil energi. Paper ini menyajikan suatu model matematis dipergunakan untuk mensimulasikan distribusi panas pada knalpot automotive dan untuk mereduksi kompling termal antara elemen Peltier dan sumber panas sesuai dengan bentuk dan geometri sumber dan serta elemen. Distribusi suhu pada model ditentukan dengan komputasi dimana model dibagi menjadi m pada arah sumbu x dan sumbu y pada arah n , menggunakan pemograman Matlab. Persamaan diskritisasi mensimulasikan distribusi suhu pada model generator termoelektrik pada nilai panjang penyangga aluminium $L_a = 5, 7.5, 10, 15$ dan 20 mm pada suhu sumber sebesar 120°C . Hasil model memperlihatkan variasi penurunan suhu dan dipergunakan untuk memilih lapisan pelapis dinding knalpot gas buangan untuk memastikan distribusi panas yang tepat dari TEM.

Keywords: model distribusi panas, otomotif, termoelektrik, efek Seebeck, modul TEM

Abstract. A model of heat distribution for automotive muffler is developed to optimize the thermoelectric generator output. Thermoelectric modules (TEMs) use the Seebeck Effect to generate electricity from the temperature gradient difference, which is widely used in automotive application as an energy source. This paper presents a mathematical model for simulating the heat distribution of the muffler and then reducing the thermal coupling between Peltier element and a heat source depends on the shape and geometry of the heat source and the elements. The temperature distribution is determined by computing using Matlab programming whereby the model is divided into m in the x -axis and n in the y -axis. Discrete equations simulate the temperature distribution on the model of thermoelectric generator at different width of aluminum shielding $L_a = 5, 7.5, 10, 15$ and 20 mm at temperature source of 120°C . The model results showed a decrease in the temperature variations and it can be used for further experiment for selecting the layer coating of exhaust muffler to ensure proper distribution of heat on the TEM surface for optimum energy generating.

Keywords: Modeling, heat distribution, muffler, coupling, thermoelectric

1. Pendahuluan

Dekade belakangan ini sistem pembangkit energi mikro (*micro-energy harvesting systems*) merupakan garda terdepan dalam teknologi skala mikro yang menghasilkan milliwatts daya dari solar, vibrasi, thermal dan sumber biologis. Beberapa tahun yang lalu, pembangkit energi mikro (*micro-harvesting*) mengisi rasa keingin tahuan saintis

(*scientific curiosity*). Namun saat ini teknologi berdaya rendah telah menyediakan pembangkit daya tenaga mikro dan menjadi bagian dari perancangan elektronik (Date, 2014; Redstall, 1995).

Saat ini pembangkit energi tenaga mikro tidak saja dipandang dari sisi konsumsi energi tetapi juga dari perspektif produksi. Memahami sumber energi dari sisi sumber lebih menantang dibandingkan dengan sisi konsumsi dikarenakan daya yang dihasilkan dari sumber ambang (*ambient sources*) cenderung tidak stabil, terputus dan berskala kecil. Beberapa aplikasi yang mempergunakan sumber energi mikro antara lain (Uemura, 1995, Xiaodong, 2008) perangkat medis terimplantasi dalam tubuh manusia, alat pendengaran (*in-ear device*) dan piranti permukaan kulit (*surface-of-skin device*).

Salah satu piranti yang menghasilkan energi dari panas adalah elemen Peltier. Pembangkit listrik termal ini (Generator Termoelektris, TEG) atau disebut juga elemen Seebeck berbentuk identik dengan elemen Peltier. Pada elemen dimanfaatkan efek Seebeck untuk membangkitkan energi listrik jika terdapat perbedaan suhu pada elemen (Lovell, 1981). Efisiensi khas nya adalah sekitar 5-8%. Piranti Seebeck lama mempergunakan bimetallic junctions sementara piranti terbaru mempergunakan semiconductor p-n junctions terbuat dari bismuth telluride (Bi_2Te_3), lead telluride (PbTe), calcium manganese oxide, atau kombinasi keduanya (Eureka, 2010).

Elemen termal ini terdiri dari bahan semikonduktor kontak P-N yang terhubung secara seri. Kontak P-N ini terdoping secara berat yang berarti elemen memiliki tambahan khusus yang akan meningkatkan kelebihan atau kekurangan electron dan terhubung secara internal pada suatu elemen Peltier. Kontak P-N ini tersusun atas puluhan sampai ratusan elemen yang terpasang pada dua pelat yang membentuk suatu elemen Peltier, terhubung secara seri yang membentuk strip panjang P-N junctions. Pelat bagian atas adalah sisi panas, sementara bagian bawah adalah sisi dingin. Elemen ini adalah sandwiched antara dua pelat keramik yang memiliki konduktansi panas yang baik, namun disisi lain memperlihatkan tahanan listrik yang tinggi.

Pada penelitian ini, suatu model matematis dipergunakan untuk menentukan distribusi panas dari knalpot kendaraan bermotor untuk mereduksi panas yang dihasilkan sehingga cocok dengan unjuk kerja elemen Peltier. Model ini dikembangkan berdasarkan kopling termal antara sumber panas dan permukaan elemen sehingga faktor tahanan panas dapat diminimalkan. Hasil model ini diberikan pada berbagai ketebalan dari penahan panas terbuat dari logam aluminium yang dapat dipergunakan untuk menyeleksi material perisai dari dinding termal knalpot sehingga memastikan distribusi panas pada sisi TEG dapat diatur. Hal ini memungkinkan untuk menghasilkan sisi panas dari knalpot yang tidak merusak permukaan TEG pada kondisi sesaat ketika gradien panas yang besar diberikan pada permukaan.

2. Metodologi

2.1. Parameter Element Peltier

Efek Seebeck menggambarkan induksi tegangan voltage V_S dalam suatu rangkaian yang terdiri dari dua material konduktif berbeda, dimana sambungannya memiliki suhu yang berbeda. Dalam kasus modul Peltier, tegangan Seebeck dapat dinyatakan dalam persamaan (1) dimana $Th-Tc$ adalah gradient suhu yang menyeberangi junctions terletak pada sisi yang berlawanan dari module.

$$V_S = \oint E dx = \int_0^1 \dots + \int_1^2 \dots + \int_2^0 \dots = (K_A - K_B)(T_h - T_C) \quad (1)$$

$$V_S = \alpha(T_h - T_C)$$

Tingkat kemampuan elemen Peltier dalam mengubah energi panas menjadi listrik akan ditentukan oleh faktor efisiensi. Jumlah panas yang diserap atau didisipasikan bergantung pada arus listrik dan suhu absolut T . Daya termal yang proporsional dengan fenomena Peltier dapat dihitung sebagai:

$$Q_P = \pi I = \alpha T I \quad (2)$$

dimana I arus yang mengalir dalam module thermoelectric module, π adalah koefisien Peltier yang dapat dinyatakan dengan koefisien Seebeck α . Efek Peltier adalah dasar pembuatan thermoelectric coolers, sementara efek Seebeck effect dipergunakan untuk pembangkit daya listrik.

Fenomena Thomson akan hadir dengan adanya arus listrik yang mengalir pada suatu konduktor listrik homogen dari element dengan beda suhu. Tergantung pada arah arus maka, suatu panas diserap atau didisipasikan dari konduktor. Model kuantitatif yang menggambarkan ini dinyatakan oleh (Lovell et al, 1981):

$$Q_t = -\mu_T . I . \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

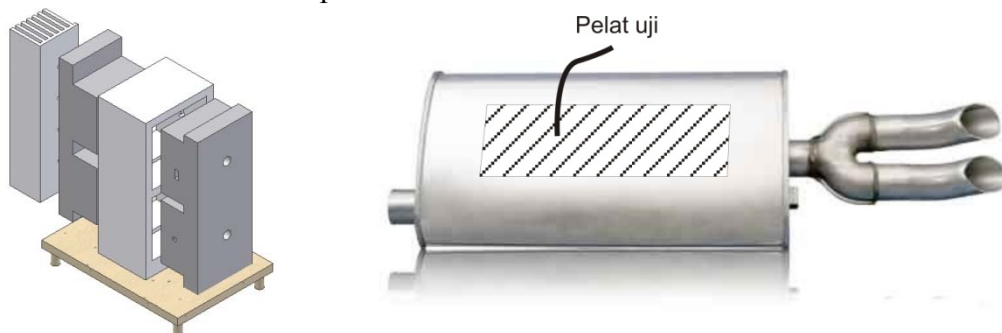
dimana μ_T merupakan koefisien Thomson. Sementara fenomena Joule merupakan fenomena yang berasosiasi dengan arus yang mengalir dalam rangkaian listrik. Efek Joule tidak memiliki efek reversible dan dinyatakan dalam suatu disipasi panas oleh material pada kondisi tahanan non-zero dan kondisi adanya arus listrik. Besarnya efek Joule digambarkan dalam persamaan berikut:

$$Q_j = I^2 . R \quad (4)$$

Arus panas yang bergerak pada sisi konduktor ke dinding elemen Peltier akan dimodelkan menurut persamaan difusi berikut.

2.2. Pemodelan Distribusi Elemen Sumber Panas Terbuang

Distribusi fluks panas dihasilkan oleh sumber panas terbuang panas knalpot gas buangan kendaraan bermotor seperti Gambar 1 .



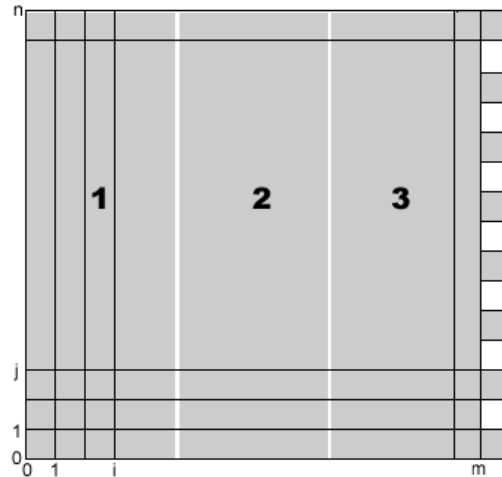
Gambar 1. Geometri dan susunan elemen panas untuk simulasi distribusi panas knalpot

Pemodelan distribusi panas yang datang pada permukaan elemen Peltier dinyatakan dalam suatu persamaan difusi, akan menggambarkan tingkat panas dari elemen sumber panas terbuang dan penetrasi panas dari sumber panas melalui plat adapter yang terbuat

dari logam dengan geometri tertentu. Optimalisasi diperoleh dengan mengubah parameter persamaan difusi yaitu fungsi syarat batas serta bentuk geometri dari sumber panas.

2.3. Model Distribusi Suhu

Konversi panas menjadi energi listrik dapat dibagi menjadi tiga bagian seperti diperlihatkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Bagian-bagian panas dari tiga elemen berbeda

Bagian pertama menyatakan sumber panas dari knalpot kendaraan bermotor yang merupakan energi panas terbuang, bagian kedua adalah elemen Peltier (TEG) dan bagian terakhir adalah pembuang panas (heat sink).

Distribusi suhu model diatas dapat ditentukan secara komputasi, maka model tersebut dibagi sebanyak m searah sumbu x dan sebanyak n searah sumbu y . Distribusi temperatur pada model Gambar 3 dirumuskan dalam persamaan difusi berikut (Jaegle, 2008):

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = F(x, y, z, t) \quad (5)$$

dalam bentuk umum

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha \nabla^2 T = F(x, y, z, t) \quad (6)$$

Dimana F merupakan fungsi sumber panas, T adalah suhu sebagai fungsi $(x, y, z$ dan t), koordinat x, y, z menggambarkan koordinat ruang, t adalah waktu dan α merupakan konduktivitas panas bahan. Pada keadaan steady, T tidak tergantung pada waktu maka persamaan di atas direduksi menjadi :

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \mu F(x, y, z) \quad (7)$$

Untuk menentukan distribusi temperatur $T(x, y, z)$ pada suatu domain persoalan secara komputasi menggunakan metode beda hingga maka persamaan ini harus didiskritisasi:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T(x+\Delta x, y, z) - 2T(x, y, z) + T(x-\Delta x, y, z)}{\Delta x^2} \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{T(x, y+\Delta y, z) - 2T(x, y, z) + T(x, y-\Delta y, z)}{\Delta y^2} \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{T(x, y, z+\Delta z) - 2T(x, y, z) + T(x, y, z-\Delta z)}{\Delta z^2} \quad (10)$$

Dengan mengambil nilai $\Delta x = \Delta y = \Delta z = h$ maka distribusi suhu keadaan steady didiskritisasi disekitar titik (i,j) menjadi menjadi :

$$T_{i+1,j,k} + T_{i-1,j,k} + T_{i,j+1,k} + T_{i,j-1,k} + T_{i,j,k+1} + T_{i,j,k-1} - 6T_{i,j,k} = h\mu F_{i,j,k} \quad (11)$$

Dengan memasukkan seluruh i dan j, maka akan diperoleh persamaan matrik :

$$A \cdot T = F \quad (12)$$

Maka distribusi temperatur T pada model konversi panas ke listrik untuk setiap titik (i,j) diperoleh dengan menyelesaikan persamaan matrik berikut :

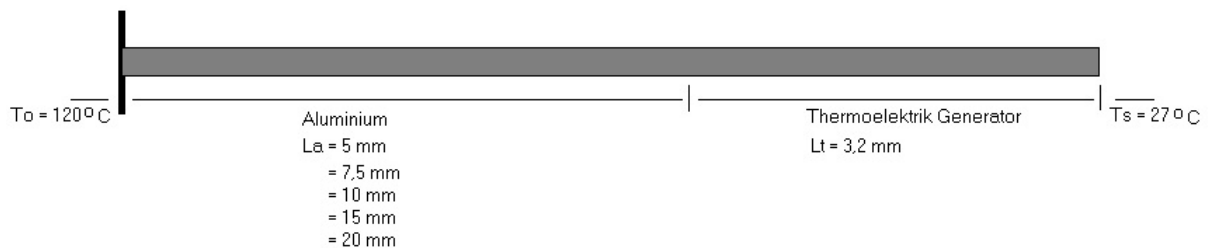
$$T = A^{-1}F \quad (13)$$

3. Hasil & Diskusi

Pola distribusi temperatur pada generator termoelektrik dimodelkan secara matematis mempergunakan program komputer untuk mempelajari proses distribusi suhu pada pelat pemanas. Untuk tahap pertama, simulasi distribusi akan dibuat satu dimensi yang akan memberikan informasi tentang penetrasi panas di dalam pelat. Distribusi temperatur pada Thermoelektrik Generator seperti pada Gambar 3 dimodelkan oleh persamaan :

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + u(T - T_s) = 0 \quad (14)$$

dimana T adalah Temperatur, k adalah Koduktivitas panas, u merupakan koefisien transfer panas dan Ts adalah temperatur lingkungan.



Gambar 3. Generator elektrotermal

Diskritisasi persamaan (14) dengan menggunakan Metode Beda Hingga memberikan:

$$T_i = \left(\frac{1}{2+D} \right) (T_{i+1} + T_{i-1} + DT_s) \quad (15)$$

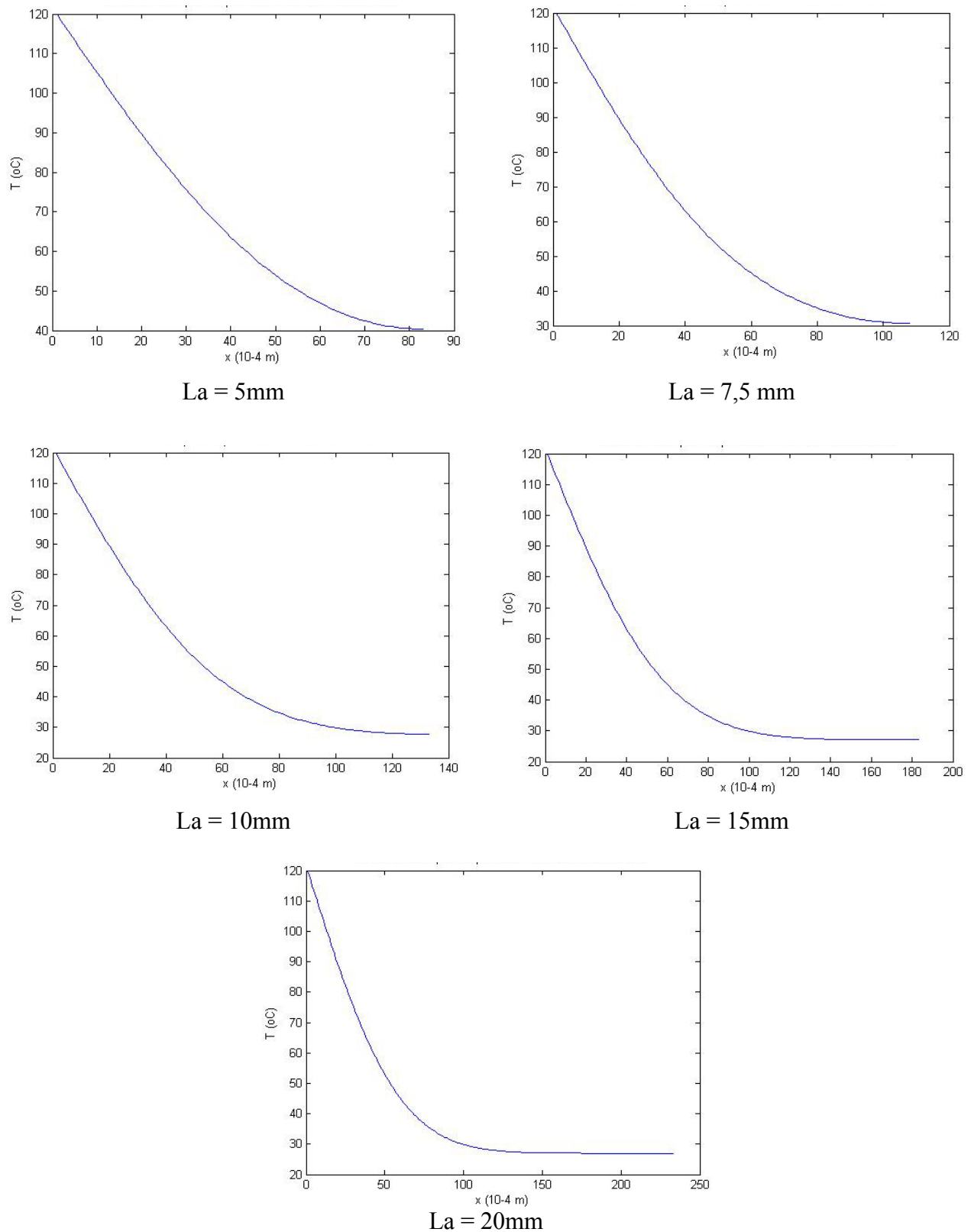
$$D = uh^2/k$$

(16)

h = diskritisasi jarak

Menggunakan pemograman Matlab, persamaan diskritisasi (15) dibuat program untuk mensimulasikan distribusi temperatur pada model generator termoelektrik.

Simulasi dijalankan untuk nilai panjang penyangga aluminium $L_a = 5, 7.5, 10, 15$ dan 20 mm. Hasil dari simulasi untuk menentukan distribusi suhu dari sumber panas terbuang (knalpot kendaraan bermotor) sampai kepada permukaan elemen Peltier yang melewati variasi ketebalan diperlihatkan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Distribusi temperatur pada berbagai variasi ketebalan perisai alumunium

Hasil simulasi pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa terjadi penurunan ke arah x sesuai dengan variasi ketebalan mulai dari sumber panas terbuang dengan suhu 120°C

sampai dengan sisi panas elemen Peltier, dimana makin tipis pelat perisai panas maka suhu yang jatuh pada permukaan sisi dari TEG akan makin kecil. Dengan demikian dapat disimulasikan dan dimodifikasi persamaan difusi yang telah disebutkan di atas untuk variasi ketebalan perisai dan jenis material logam yang akan dipergunakan sehingga diperoleh distribusi optimal ke sisi permukaan dari elemen Peltier.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dikembangkan suatu model matematis yang dipergunakan untuk menggambarkan distribusi panas yang diberikan oleh elemen pemanas dari knalpot mobil. Pemberian panas dilakukan untuk mengatur panas yang diberikan sesuai dengan kemampuan teknis dari elemen generator thermal serta untuk mereduksi gap yang timbul antara elemen Peltier dan sisi panas dari knalpot sehingga akan diperoleh suhu yang optimal. Variasi ketebalan material perisai dan materialnya akan memberikan distribusi suhu yang sesuai dengan spesifikasi TEG untuk memperoleh energi listrik yang maksimum tanpa harus merusak akibat adanya gradien termal sesaat yang besar.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh dana penelitian Hibah Bersaing tahun 2015 dari DP2M Direktorat Pendidikan Tinggi Kementerian Riset Teknologi Dikti Republik Indonesia.

6. Daftar Pustaka

Date A. Date, A., Dixon C., Akbarzadeh A., 2014. Progress of thermoelectric power generation systems: Prospect for small to medium scale power generation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 33, 371–381.

Eureka, 2010. Peltierelemente und Zubehör, EURECA Messtechnik GmbH, <http://www.eureca.de>.

Lovell M. C., Avery A. J., Vernon M. W. 1982, *Physical properties of materials*, Van Nostrand Reinhold Company, University Press, Cambridge.

Redstall R. M., Studd R. 1995, Reliability of Peltier Coolers in Fiber-Optic Laser Packages, *CRC Handbook of Thermoelectrics*, CRC Press 1995, 641-645.

Uemura K., 1995, Laboratory Equipment, *CRC Handbook of Thermoelectrics*, CRC Press 1995, 647-655.

Zhang X, Chau K. T. dan Chan C. C., 2008. Overview of Thermoelectric Generation for Hybrid Vehicles, *Journal of Asian Electric Vehicle*, Volume 6 No. 2, December 2008