

SIMULASI 3 DIMENSI DISTRIBUSI PANAS PLAT KNALPOT MOBIL UNTUK ELEMEN TERMOELEKTRIK

Wildan Adli *, Walfred Tambunan, Defrianto, Lazuardi Umar.

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau
Kampus Bina Widya Pekanbaru, 28293, Indonesia
[*wildan.adli.14@gmail.com](mailto:wildan.adli.14@gmail.com)

This study simulates the distribution of heat in the conductor plate micro energy generation based module Thermoelectric Generator (TEG) type 40-40-10 / 100 to optimize the absorption of heat from the vehicle exhaust waste heat. The module has a maximum operating temperature of 423K. The modeling is done using MATLAB with a modified diffusion equation by application of 900K of temperature as boundary condition on the surface of the base plate which is in contact with the heat source. The plate with aluminum material modeled in varies form of solid, hollow, hollow gitter, hollow heatsink, with dimensions of 110mm long, 60mm wide, 30mm thick base and 30mm thick bulge. The best temperature drop obtained for $\Delta T = 178,67K$ (19.85%) produced by the shape of a hollow heatsink plate. The resulting temperature of this model is then lowered back with varying types of material such as aluminum, copper, iron, and stainless steel, as well as by varying the number of TEG array that is 1 to 4-arrays, each array consisting of two modules. Drop in temperature that comes closest to the maximum TEG operating temperature is a drop in temperature that generates the final temperature of 402K, which comes from hollow-with-heatsink stainless steel plate with 50mm of thick and 4-arrays formation.

Keywords: Modeling, Heat Distribution, Waste Heat, Optimization, TEG

Penelitian ini mensimulasikan distribusi panas pada plat penghantar modul pembangkit energi mikro berbasis Thermoelectric Generator (TEG) tipe 40-40-10/100 untuk optimalisasi serapan panas dari panas terbuang knalpot kendaraan. Modul memiliki ketahanan panas maksimum 423K. Pemodelan menggunakan MATLAB memakai persamaan difusi yang dimodifikasi dengan penerapan syarat batas suhu 900K pada permukaan alas plat yang bersentuhan dengan sumber panas. Bentuk plat yang dimodelkan berbahan aluminium bervariasi yaitu pejal, hollow, hollow gitter, hollow heatsink, dengan dimensi panjang 110mm, lebar 60mm, tebal alas 30mm dan tebal tonjolan 30mm. Penurunan suhu paling baik diperoleh sebesar $\Delta T=178,67K$ (19,85%) dihasilkan oleh bentuk plat hollow heatsink. Suhu yang dihasilkan pada pemodelan ini kemudian diturunkan kembali dengan memvariasikan jenis material berupa bahan aluminium, tembaga, besi, dan stainless steel, serta dengan memvariasikan jumlah larik TEG yaitu 1-array sampai dengan 4-array masing-masing terdiri dari 2 modul. Penurunan suhu yang paling mendekati suhu maksimal TEG adalah suhu akhir mencapai 402K, diperoleh dari plat stainless steel hollow heatsink berketebalan 50mm yang disusun 4-array TEG.

Kata Kunci: Pemodelan, Distribusi Panas, Panas Terbuang, Optimalisasi, TEG

PENDAHULUAN

Masalah energi dan lingkungan menjadi kekhawatiran utama masyarakat dunia pada abad ke-21. Hal ini umumnya disebabkan kebutuhan energi yang semakin meningkat dan semakin minimnya sumber energi. Solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan mengembangkan teknologi-teknologi produksi energi baru yang efisien.

Sumber energi dalam skala mikro yang menghasilkan daya orde milliwatts berasal dari solar, vibrasi, thermal dan sumber biologis. Namun saat ini teknologi berdaya rendah telah menyediakan pembangkit daya tenaga mikro dan menjadi bagian dari perancangan elektronik (**Redstall, 1995**).

Salah satu sistem pembangkit energi mikro yang layak menjadi sorotan belakangan ini adalah Generator Termoelektrik (*Thermoelectric Generator*, TEG). Piranti TEG pada prinsipnya menghasilkan daya dengan memanfaatkan efek Seebeck, identik dengan efek Peltier, dari perbedaan suhu pada elemen. Daya yang dihasilkan relatif kecil dan sebanding dengan besarnya perbedaan suhu antara

kedua sisi elemen Peltier (**Freunek dkk., 2009**).

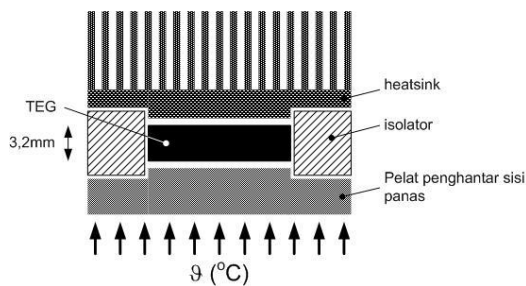
Penelitian dan aplikasi mempergunakan energi mikro berdasarkan perbedaan suhu masih relatif jarang dipergunakan baik simulasi, pemodelan, maupun eksperimen. Energi yang dihasilkan relatif kecil namun proporsional dengan besarnya perbedaan suhu diantara kedua sisi elemen Peltier. Aplikasi khusus diantaranya dengan memanfaatkan panas terbuang (*wasteheat*) dari suatu proses industri dan otomotif misalnya panas buangan dari pembangkit listrik tenaga uap, panas buangan dari knalpot mobil atau perbedaan suhu antara dua bagian.

Pada otomotif, terdapat disipasi daya yang besar hasil dari pembakaran bahan bakar. Panas terbuang ini terdapat pada plat knalpot mobil. Penggunaannya sebagai sumber energi masih relatif jarang digunakan. Suhu yang dihasilkan knalpot mobil berkisar antara 600K sampai dengan 900K. Namun nilai panas terbuang pada knalpot mobil tersebut tidak sesuai dengan karakteristik generator termoelektrik yang tersedia dipasaran, sehingga perlu dilakukan penyesuaian

antara plat knalpot dengan elemen Peltier yang digunakan agar dapat dihasilkan daya optimal.

METODE PENELITIAN

Panas terbuang yang dihasilkan knalpot dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk generator termoelektrik dan harus dihubungkan dengan suatu plat penghantar seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Sketsa pemanfaatan panas terbuang knalpot menggunakan generator termoelektrik

Penelitian dilakukan secara komputasi menggunakan perangkat lunak MATLAB dan perangkat lunak pendukung lainnya. Persamaan yang digunakan untuk memodelkan distribusi panas adalah persamaan difusi yang dimodifikasi pada kondisi ajeg (*steady state*),

Perpindahan panas yang berperan dalam kasus ini adalah konduksi, konveksi dan radiasi dari permukaan bidang yang bersentuhan dengan

knalpot ke permukaan ujung plat dan udara sebagai suhu ambang.

Perambatan panas secara konveksi dirumuskan sebagai:

$$Q_c = h_c(T - T_a)$$

dan perambatan panas secara radiasi dirumuskan sebagai:

$$Q_r = \epsilon\sigma(T^4 - T_a^4)$$

dengan T_a sebagai suhu ambang udara, T adalah suhu sepanjang plat, h_c adalah koefisien konveksi, ϵ adalah emisivitas permukaan dan σ adalah konstanta Stefan-Boltzmann.

Sehingga persamaan difusi dapat dimodifikasi menjadi,

$$\rho C_p t \frac{\partial T}{\partial t} - Kl\nabla^2 T + Q_c + Q_r = 0$$

atau,

$$\begin{aligned} \rho C_p t \frac{\partial T}{\partial t} - Kl\nabla^2 T + 2h_c T + 2\epsilon\sigma T^4 \\ = 2h_c T_a + 2\epsilon\sigma T_a^4 \end{aligned}$$

dengan K sebagai konduktivitas termal bahan yang digunakan, l adalah ketebalan logam dan faktor pengali 2 merepresentasikan 2 permukaan plat.

Pemodelan distribusi panas pada penelitian ini ditinjau dalam keadaan ajeg (*steady state*) atau tak bergantung waktu. Sehingga persamaan direduksi menjadi,

$$\begin{aligned} -Kl\nabla^2 T + 2h_c T + 2\epsilon\sigma T^4 \\ = 2h_c T_a + 2\epsilon\sigma T_a^4 \end{aligned}$$

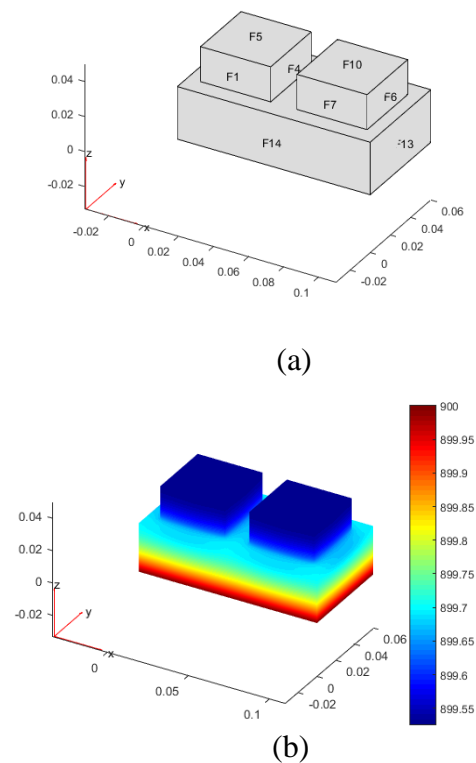
Pemodelan dilakukan dengan terlebih dahulu mendesain geometri plat dengan aplikasi CAD yang kemudian di-export dalam format *stereo lithography (.stl)*. Desain plat penghantar kemudian di-import kedalam MATLAB untuk dimodelkan.

Pemodelan plat akan divariasikan dalam beberapa bentuk geometri, formasi susunan, dan material plat yang digunakan dan dengan menerapkan syarat batas suhu 900K pada permukaan alas plat yang bersentuhan dengan knalpot. Plat yang dapat digunakan sebagai penghantar panas knalpot adalah plat yang dapat menurunkan suhu hingga 423K yang merupakan suhu maksimal pengoperasian TEG.

HASIL DAN PEMBAHASAN

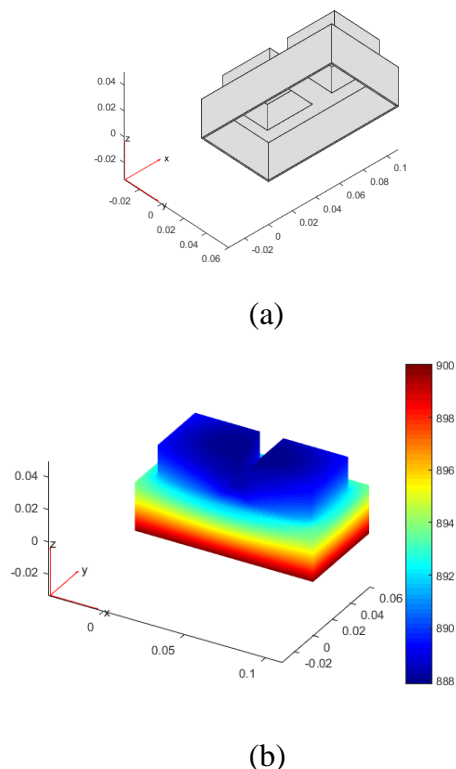
Pemodelan dari beberapa variasi geometri yaitu plat pejal, plat *hollow*, plat *hollow gitter*, dan plat *hollow* dengan *heatsink* memperlihatkan hasil yang progresif. Desain pertama yang akan dimodelkan distribusi panasnya adalah plat logam pejal dengan ukuran panjang 11 cm, lebar 6 cm dan tinggi total 5 cm. Tonjolan pada setiap plat yang dimodelkan pada penelitian ini berukuran sama dengan panjang 4 cm, lebar 4 cm, dan tinggi 2 cm. Ukuran ini

disesuaikan dengan ukuran permukaan TEG yang digunakan yaitu konstan $40\text{mm} \times 40\text{mm}$. Bahan yang akan digunakan pada plat ini adalah aluminium, suhu ambang yang diterapkan sebesar 300K, dan pada permukaan plat yang bersinggungan dengan knalpot akan ditambahkan syarat batas berupa suhu 900K. Kondisi yang sama akan diterapkan pada desain plat yang berbeda agar terlihat perbedaan suhu yang dihasilkan dari beberapa desain plat yang berbeda.

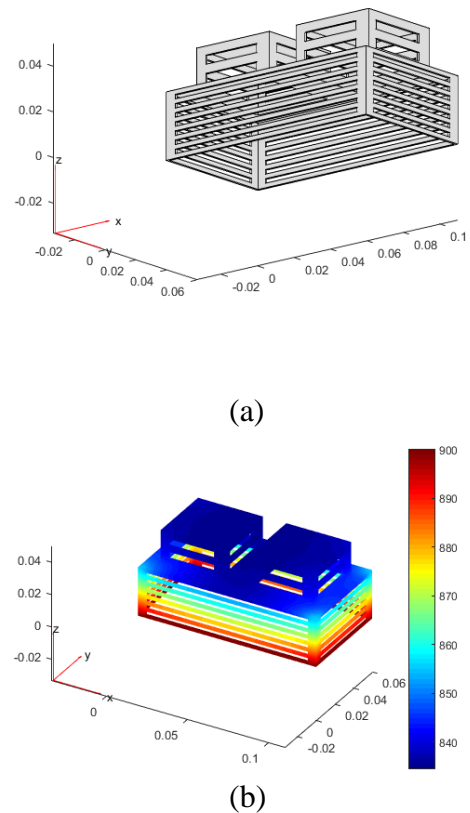


Gambar 2 (a) Desain plat pejal, (b) Model distribusi panas pada plat pejal

Plat pejal yang dimodelkan menghasilkan suhu sebesar 889,52K pada ujungnya yang bersentuhan langsung dengan TEG. Visualisasi distribusi panas pada plat penghantar pejal dapat dilihat pada Gambar 2(b). Terdapat penurunan suhu sebesar 10,48K. Akan tetapi suhu 889,52K ini belum dapat digunakan sebagai sumber daya TEG mengingat TEG hanya mampu beroperasi pada sumber panas maksimal 150°C atau setara dengan 423K. Maka dikembangkan desain plat lainnya yang dapat menurunkan suhu dengan baik.



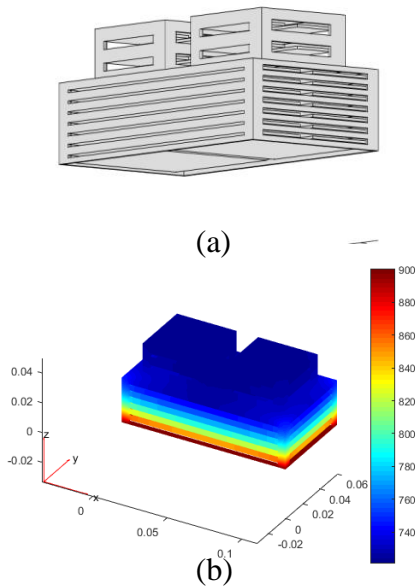
Gambar 3 (a) Desain plat *hollow*, (b) Model distribusi panas pada plat *hollow*



Gambar 4 (a) Desain plat *hollow* dengan *gitter*, (b) Model distribusi panas pada plat *hollow* dengan *gitter*

Pemodelan distribusi panas pada plat dengan jenis geometri *hollow* seperti pada Gambar 3 menunjukkan suhu pada ujung plat sebesar 887,89K. Plat jenis ini berhasil menghasilkan penurunan suhu sebesar 12,11K. Pemodelan pada plat dengan jenis geometri *hollow gitter* memperlihatkan hasil suhu 834,64K pada ujung platnya, yaitu sebesar 65,36K penurunan suhu. Desain plat penghantar yang dapat menurunkan suhu paling baik dari

beberapa desain yang sudah dimodelkan adalah desain plat *hollow* dengan *heatsink* didalamnya seperti terlihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 (a) Desain plat *hollow* dengan *heatsink*, (b) Model distribusi panas pada plat *hollow* dengan *heatsink*

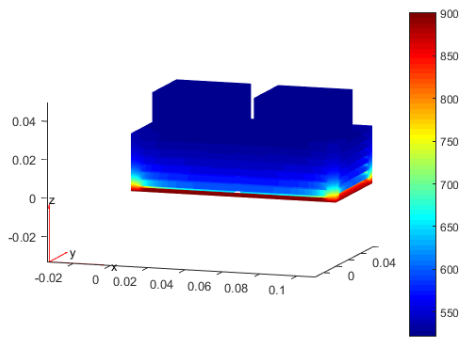
Pemodelan distribusi panas pada desain plat *hollow* dengan *heatsink* menghasilkan suhu 721,32K pada ujung platnya yang bersentuhan langsung dengan TEG, terdapat penurunan suhu sebesar 178,67K. Nilai penurunan suhu yang dihasilkan plat dengan geometri *hollow* dengan *heatsink* 17 kali lebih besar dari pada penurunan suhu yang dihasilkan plat pejal. Suhu yang dihasilkan dari berbagai macam distribusi panas dari plat dengan

geometri berbeda dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 Data hasil pemodelan distribusi panas plat penghantar dengan berbagai geometri

Jenis Geometri Plat	$T_i(K)$	$T_f(K)$	$\Delta T(K)$	Persentase Penurunan Suhu
Pejal	900	889,52	10,48	1,16%
Hollow	900	887,89	12,11	1,34%
Hollow Gitter	900	834,64	65,36	7,26%
Hollow Heatsink	900	721,32	178,67	19,85%

Pemodelan plat *hollow heatsink* dengan variasi material yaitu aluminium, tembaga, besi, dan stainless steel menunjukkan bahwa hasil penurunan suhu terbaik diperoleh dengan menerapkan material stainless steel pada plat. Tabel 2 menunjukkan hasil pemodelan distribusi panas dengan variasi material yang digunakan. Model distribusi suhu dengan bahan stainless steel dapat dilihat pada Gambar 6.



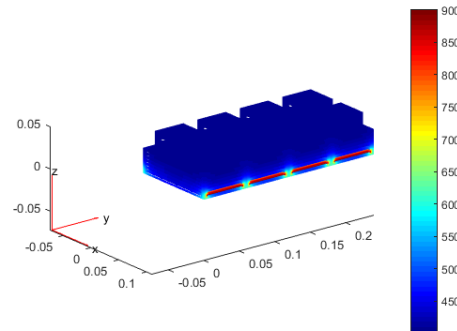
Gambar 6 Distribusi suhu pada plat *hollow* dengan *heatsink* dengan material stainless steel

Tabel 2 Data hasil pemodelan distribusi panas plat penghantar dengan berbagai material

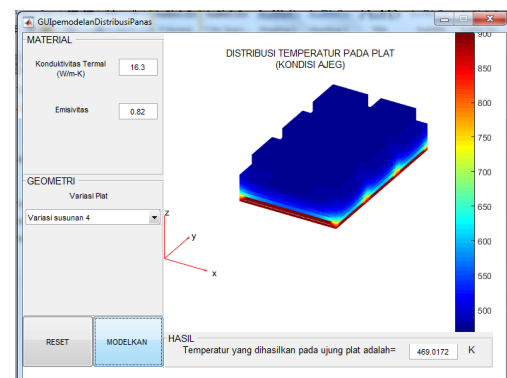
Jenis Material	$T_i(K)$	$T_f(K)$	$\Delta T(K)$	Persentase Penurunan Suhu
Aluminium	900	721,3	178,6	19,85%
		2	7	
Tembaga	900	793,8	106,1	11,79%
		6	4	
Besi	900	567,8	332,1	36,90%
		5	5	
Stainless Steel	900	522,2	377,7	41,97%
		3	7	

Pemodelan distribusi panas menggunakan plat dengan geometri *hollow* dengan *heatsink* dengan material stainless steel menghasilkan suhu pada ujung plat 522,23K. Plat selanjutnya divariasikan sehingga menghasilkan suhu pada ujung plat tidak lebih dari 423K agar dapat digunakan sebagai plat penghantar

sumber panas TEG. Variasi tonjolan 2×4 seperti pada Gambar 6 menunjukkan hasil suhu pada ujung plat yang dapat diterima yaitu sebesar 402K.



Gambar 7 Distribusi suhu pada plat *hollow* dengan *heatsink* dengan material Stainless steel, susunan 2×4



Gambar 8 GUI pemodelan distribusi panas plat penghantar sumber panas terbuang sebagai sumber daya TEG

Selanjutnya untuk mempermudah pengguna memodelkan distribusi panas pada plat dengan berbagai mavam variasi geometri dan segala jenis material dirancang suatu aplikasi antarmuka (*Graphical User Interface, GUI*) seperti pada Gambar 8.

Pemodelan menggunakan GUI yang telah dirancang adalah dengan memasukkan data sifat fisika material berupa konduktivitas termal dan emisivitas kemudian memilih variasi geometri plat yang ingin dimodelkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan distribusi panas plat penghantar panas knalpot sebagai sumber daya termoelektrik dapat diambil kesimpulan:

1. Bentuk geometri plat penghantar panas sangat berpengaruh terhadap penurunan suhu yang dihasilkan pada ujung plat. Geometri plat penghantar *hollow heatsink* dengan panjang 11 cm lebar 6 cm dan tinggi total 5 cm dapat menurunkan panas 17 kali lebih baik dari pada plat pejal dengan ukuran sama.
2. Material plat penghantar dengan konduktivitas rendah dan emisivitas tinggi dapat menurunkan panas dengan baik. Salah satu material yang dapat diterapkan sebagai plat penghantar adalah Stainless steel dengan penurunan $\Delta T = 377,77K$.
3. Variasi plat penghantar panas sebagai sumber daya TEG yang dapat digunakan adalah plat *hollow* dengan

heatsink dengan tinggi total 5cm dengan susunan *4-array* yang dapat menghasilkan suhu pada ujung plat sebesar 402,20K.

DAFTAR PUSTAKA

- Freunek M., Müller M., Ungan T., Walker W., Reindl LM., 2009. New Physical Model for Thermoelectric Generators. *Journal of Electronic Materials* 10(1007).
- Lovell M. C., Avery A. J., Vernon M. W. 1981. Physical properties of materials, *Van Nostrand Reinhold Company, University Press, Cambridge*.
- MATLAB Support. 2015. All Products. www.mathworks.com/help
- Redstall R. M., Studd R. 1995. Reliability of Peltier Coolers in Fiber-Optic Laser Packages, *CRC Handbook of Thermoelectrics*, CRC Press 1995, pp. 641-645.
- Salerno D. 2010. Ultralow Voltage Energy Harvester Uses Thermoelectric Generator for Battery-Free Wireless Sensors. *Linear Technology* 20(3).
- Zhang Xiaodong, K. T. Chau, dan C. C. Chan, 2008. Overview of Thermoelectric Generation for Hybrid Vehicles, *Journal of Asian Electric Vehicle*, Volume 6 No. 2, December 2008