

Manajemen Termal *Heat Sink* pada Modul Kendali Motor Kendaraan Hibrid

Tinton Dwi Atmaja, Ghalya Pikra dan Kristian Ismail

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI
Komp LIPI Bandung Jl Sangkuriang Gd. 20 Lt. 2
Bandung 40135, Indonesia

Abstract

This paper discusses about hybrid vehicles especially in the motor control module that requires heat control management appropriate to the use of the motor. Hybrid vehicles have distinct characteristics that create a specific heat characteristics as well. Therefore, heat control management is needed to maintain the characterization so as to prolong motor lifecycle. Heat control management in this paper uses a heat sink designed to absorb and release heat from the high temperature motor controller module to the air around the heat sink. Heat sink designed in this paper is in the form of plate-shaped fins with passive cooling using natural convection method. This method was chosen because the maximum operating temperature in the motor control module of hybrid vehicles can reach 150°C. Thermal resistance serves to measure the ability of motor control module of hybrid vehicle to release heat. Thermal resistance value is affected by temperature, materials and dimensions of the heat sink. The fins are made to increase heat transfer area to give optimal performance for absorption and release of heat. Low thermal resistance value indicates the thermal management of motor control module can release heat well so as to provide a stable motor performance in hybrid vehicles.

Keywords: Hybrid Vehicle, motor control module, heat sink, thermal resistance.

1. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi kendaraan telah banyak bergerak pada model kendaraan listrik dan hibrid terutama untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil dan pengembangan kendaraan ramah lingkungan. Kendaraan hibrid mempunyai karakteristik tersendiri yang menciptakan karakteristik panas tertentu pula. Panas dengan temperatur tinggi yang dihasilkan oleh modul kendali motor saat beroperasi akan mengakibatkan tegangan dan penurunan kualitas material [1]. Hal tersebut kemudian akan menyebabkan umur pakai perangkat lebih pendek [2]. Manajemen pengendalian panas pada modul kendali motor diperlukan untuk mengatasi masalah-masalah tersebut.

Heat sink merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menyerap dan melepaskan/membuang panas pada suatu perangkat sehingga temperatur perangkat tersebut dapat beroperasi pada temperatur di bawah temperatur maksimum yang ditentukan [3]. *Heat sink* merupakan perangkat keras dengan biaya murah yang umum digunakan untuk manajemen termal pada perangkat *microelectromechanical systems* (MEMS). *Heat sink* sangat sesuai dengan aplikasi mikro elektronik dan hampir tidak tergantikan pada *integrated circuit* modern seperti mikroprosesor, *digital signal processor* (DSP), *graphic processing unit* dan lainnya [4]. *Heat sink* banyak digunakan dalam manajemen pengendalian panas pada modul kendali motor. Dalam aplikasi kendaraan hibrid,

temperatur operasi maksimum yang dapat dicapai pada modul kendali motor adalah 150°C [5]. *Heat sink* adalah pilihan paling ekonomis untuk manajemen pengendalian panas modul kendali motor tersebut.

Desain *heat sink* yang digunakan pada tulisan kali ini adalah *heat sink* yang ditambahkan sirip-sirip berbentuk pelat dengan metode *passive cooling natural convection*. Metode tersebut dipilih karena sistemnya sederhana, handal dan memiliki biaya perawatan yang rendah [6].

Performansi *heat sink* dipengaruhi oleh nilai resistansi termalnya. Resistansi termal menjadi pengukur kemampuan suatu *heat sink* untuk melepaskan/membuang panas. Nilai resistansi termal yang rendah pada *heat sink* menunjukkan bahwa *heat sink* memiliki kemampuan melepas/membuang panas yang baik [3]. Dalam pemilihan material *heat sink*, dapat dipergunakan strategi berdasar *electrothermal heat transfer* untuk meningkatkan kinerja perangkat [7].

2. MANAJEMEN PENGENDALIAN PANAS

Manajemen pengendalian panas pada tulisan ini menggunakan sebuah *heat sink* yang didesain untuk menyerap dan melepaskan panas dari modul pengendali motor dengan temperatur tinggi ke daerah yang memiliki temperatur rendah yaitu udara sekitar pada daerah *heat sink*. Desain *heat sink* yang akan dibahas pada tulisan ini berupa sirip-sirip berbentuk pelat dengan menggunakan metoda *passive cooling*

natural convection. Metode ini dipilih karena temperatur operasi maksimum pada modul kendali motor kendaraan hibrid dapat mencapai 150°C.

Resistansi termal berfungsi untuk mengukur kemampuan modul kendali motor kendaraan hibrid untuk melepaskan panas. Nilai resistansi termal dipengaruhi oleh temperatur, bahan material dan dimensi dari *heat sink*. Sirip dibuat untuk meningkatkan luas perpindahan panas sehingga penyerapan dan pelepasan panas memberikan kinerja yang optimal [3] [8].

2.1. Desain heatsink

Sebagai alat yang berfungsi untuk menyerap dan membuang panas pada suatu komponen, *heat sink* didesain agar proses penyerapan dan pembuangan panas berjalan dengan baik. Sirip pada *heat sink* berfungsi untuk meningkatkan luas daerah perpindahan panas dan panas akan menyebar pada sirip-sirip tersebut sehingga panas akan cepat terbang. Material dengan konduktivitas termal yang tinggi diperlukan agar nilai efisiensi sirip menjadi bagus. Model perpindahan panas pada *heat sink* dengan sirip (*passive cooling, natural convection*) secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.

Gambar 1 menunjukkan panas yang dihasilkan oleh *junction* kemudian akan mengalir ke *case*, selanjutnya diserap oleh *heat sink* melewati sirip-sirip dan akhirnya dilepaskan ke udara. Proses penyerapan

dan pelepasan panas dipengaruhi oleh temperatur, material dan dimensi *heat sink*.

Gambar 1 kemudian diuraikan ke dalam model *heat sink* dan analisis perhitungan perpindahan panas yang dibuat dalam bentuk jala-jala *thermal* pada sisi kanan gambar. Persamaan umum laju perpindahan panas pada *heat sink* ditunjukkan pada persamaan (1) berikut ini [9].

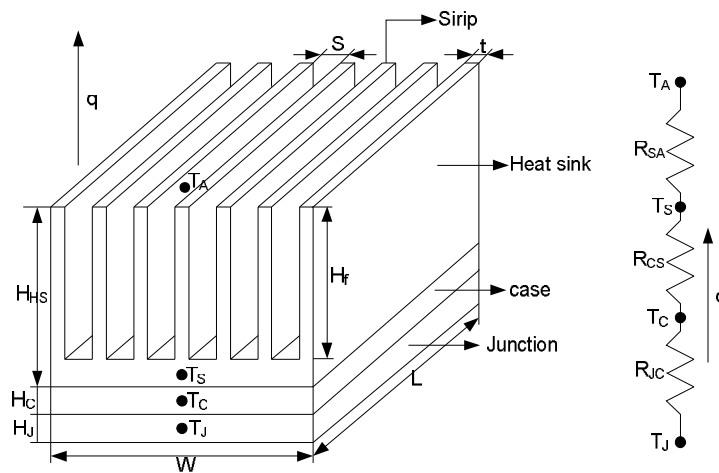
$$q = \frac{\Delta T}{R_{total}} \quad (1)$$

Dengan q adalah laju perpindahan panas/ pelepasan panas (W); ΔT adalah beda temperatur (°C); dan R_{total} adalah resistansi termal total (°C/ W).

Persamaan umum yang ditunjukkan pada persamaan (1) diuraikan seperti berikut ini

$$q = \frac{\Delta T}{R_{total}} = \frac{T_J - T_A}{R_{JC} + R_{CS} + R_{SA}} \quad (2)$$

Dengan T_J adalah temperatur *junction* maksimum (°C); T_C adalah temperatur *case* (°C); T_S adalah temperatur *heat sink* (°C); T_A adalah temperatur *ambient* (°C); R_{JC} adalah resistansi termal dari *junction* ke *case* (°C/W); R_{CS} adalah resistansi termal dari *case* ke *heat sink* (°C/W); dan R_{SA} adalah resistansi termal dari *heat sink* ke *ambient* (°C/W).



Gambar 1. Model perpindahan panas pada *heat sink*.

Keterangan gambar:

H_{HS} : tinggi *heat sink*

H_C : tinggi *case*

H_J : tinggi *junction*

H_f : tinggi sirip

W : lebar *heat sink*

L : panjang *heat sink*

T_J : temperatur *junction*

T_S : temperatur dasar *heat sink*

T_A : temperatur *ambient*

t : tebal sirip

S : *gap/ channel*

q : perpindahan panas/ laju pelepasan/ pembuangan panas

R_{JC} : resistansi *thermal* dari *junction* ke *case*

R_{CS} : resistansi *thermal* dari *case* ke *heat sink*

T_C : temperatur case

R_{SA} : resistansi thermal dari heat sink ke ambient

Persamaan (1) dan (2) menunjukkan bahwa resistansi termal mempengaruhi nilai laju pelepasan panas pada heat sink (q). Semakin besar nilai resistansi termal maka nilai laju pelepasan panas akan semakin kecil, sebaliknya semakin kecil resistansi termal akan mengakibatkan laju pelepasan panas semakin besar.

Persamaan resistansi termal dari junction ke case adalah

$$R_{JC} = \frac{H_J}{k_J A} \quad (3)$$

Dengan A adalah luas perpindahan panas (m^2); dan k_J adalah konduktivitas termal pada junction ($W/m^\circ C$).

Persamaan resistansi termal dari case ke heat sink adalah

$$R_{CS} = \frac{H_C}{k_C A} \quad (4)$$

Dengan k_C adalah konduktivitas termal pada case ($W/m^\circ C$).

Persamaan resistansi termal dari heat sink ke ambient adalah

$$R_{SA} = \frac{1}{h A_{heat\ sink}} \quad (5)$$

Dengan h adalah koefisien konveksi pada heat sink ($W/m^2^\circ C$); dan $A_{heat\ sink}$ adalah luas heat sink (m^2).

Heat sink didesain dengan metode natural convection, maka persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien konveksi (h) ditunjukkan pada persamaan (6) berikut ini.

$$h = \frac{Nu_s k_{fin}}{S} \quad (6)$$

Dengan Nu_s adalah bilangan Nusselt; k_{fin} adalah konduktivitas termal sirip ($W/m^\circ C$); dan S adalah channel gap antar sirip (m).

Efisiensi sirip ditunjukkan pada persamaan (7) berikut ini

$$\eta_{fin} = \frac{\tanh(mL)}{mL} \quad (7)$$

Dimana

$$mL = \sqrt{\frac{2h}{k_{fin}t}} L \quad (8)$$

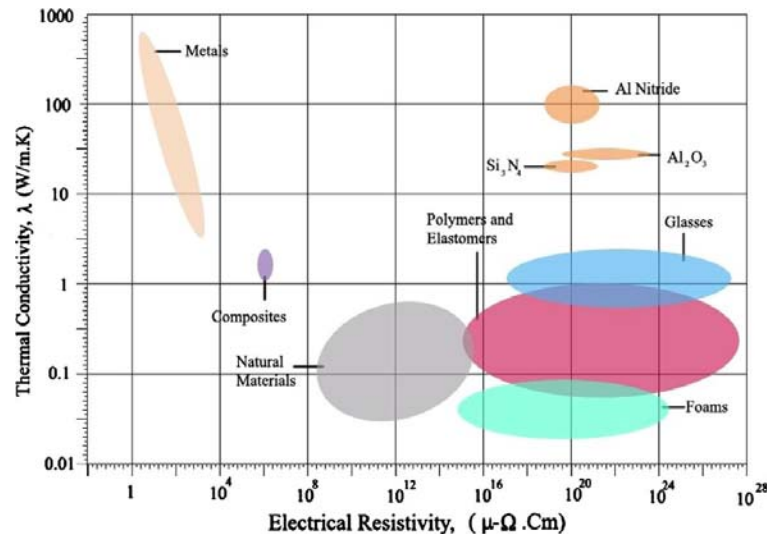
Dengan η_{fin} adalah efisiensi sirip.

2.2. Pemilihan Material

Pemilihan material untuk perancangan dan desain heat sink memerlukan pemahaman yang jelas terhadap fungsi yang diharapkan pada setiap komponen dan juga mempertimbangkan berbagai faktor penting.

Untuk mencegah electrical coupling dan stray capacitancediantara perangkat dan heat sink, bahan yang dipakai haruslah insulator yang baik juga pada saat yang sama mampu memberikan konduktifitas termal tinggi. Insulator yang baik berarti resistansi elektrik diatas $10^{19} \mu\Omega cm$ sedangkan konduktifitas termal tinggi untuk mengeluarkan panas secepat mungkin dari perangkat.

Gambar 2 menunjukkan tabel konduktivitas termal terhadap resistansi elektrik [7]. Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa metals seperti Aluminum Nitride (AlN) or Alumina (Al_2O_3) mempunyai konduktifitas termal dan resistansi elektrik maksimal. Hal ini membuat perancangan heat sink kali ini menempatkan aluminum alloy sebagai pilihan utama bahan yang akan dipakai.



Gambar 2. Grafik klasifikasi material dilihat dari perbandingan konduktifitas termal vs resistansi elektrik

Dari nilai-nilai standar, dapat dilihat bahwa aluminium adalah bahan terbaik untuk memberikan perpindahan panas maksimum diantara perangkat dan *heat sink* [10].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan (3), (4) dan (5) adalah persamaan resistansi termal pada setiap komponen. Persamaan-persamaan tersebut menunjukkan bahwa pemilihan material mempengaruhi nilai resistansi termal. Untuk mendapatkan nilai resistansi termal yang rendah diperlukan material dengan nilai konduktivitas termal yang baik (tinggi). Luas permukaan *heat sink* juga berpengaruh dalam menentukan nilai resistansi termal dari *heat sink*. Semakin besar luas permukaan *heat sink* akan memperkecil resistansi termal, sebaliknya semakin kecil luas permukaan *heat sink* akan memperbesar resistansi termal. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai resistansi termal yang rendah diperlukan material dengan konduktivitas termal yang tinggi serta luas permukaan *heat sink* yang tinggi pula agar proses laju penyerapan dan pelepasan panas semakin baik.

Persamaan (6) yang menunjukkan nilai koefisien konveksi dipengaruhi oleh konduktivitas termal pada sirip dan *gap/channel* antar sirip. Nilai koefisien konveksi yang tinggi akan menyebabkan nilai resistansi termal menjadi rendah, sehingga untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi (h) yang tinggi dapat dilakukan dengan membuat jarak *gap/channel* antar sirip lebih dekat. Selain itu, nilai konduktivitas termal pada sirip yang tinggi juga akan membuat nilai koefisien konveksi menjadi besar.

Efisiensi sirip yang ditunjukkan pada persamaan (7) dapat menjadi lebih optimal dengan menganalisis tebal dan panjang dari sirip. Semakin tebal sirip, maka laju pelepasan panasnya semakin rendah, sedangkan semakin panjang sirip akan membuat laju pelepasan

panas semakin baik. Hal ini akan mempengaruhi nilai efisiensi, sehingga sirip yang panjang dan lebih tipis akan memberikan nilai efisiensi yang tinggi/optimal.

Untuk pemilihan bahan, material yang digunakan dipilih dari bahan yang mampu memberikan resistansi termal yang rendah. Oleh karena itu material yang digunakan harus mampu memberikan resistansi elektrik yang maksimal untuk menjadi insulator yang baik dan juga mempunyai konduktivitas termal yang tinggi. Selain itu diperlukan material dengan kemampuan perpindahan panas yang optimal. Dalam penelitian yang dilakukan oleh G. Prashant Reddy dkk. menunjukkan bahwa aluminium alloy merupakan material yang paling baik untuk memberikan persyaratan diatas.

4. KESIMPULAN

Manajemen termal *heat sink* pada modul kendali motor kendaraan hibrid memberikan kesimpulan bahwa untuk mendapatkan nilai laju pelepasan panas yang baik pada *heat sink* diperlukan nilai resistansi termal yang rendah. Resistansi termal yang rendah didapatkan dari jenis material dengan konduktivitas termal (kemampuan menyerap panas dengan baik) yang tinggi serta luas permukaan *heat sink* yang tinggi. Aluminium alloy/metals merupakan material yang menjanjikan untuk *heat sink* mikroelektronik.

Luas permukaan *heat sink* yang tinggi dihasilkan dari lebar dan panjang dari *heat sink*. *Heat sink* dengan nilai koefisien konveksi yang tinggi, sirip yang panjang dan lebih tipis memberikan nilai efisiensi yang tinggi. Nilai resistansi termal yang rendah akan membuat performansi modul kendali bekerja dengan optimal.

Proses desain *heat sink* untuk modul kendali motor pada kendaraan konvensional dan kendaraan hibrid tidak berbeda, yang membedakan adalah capaian

temperatur operasi maksimum yang dimiliki oleh masing-masing kendaraan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kristian Ismail dan para peneliti Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik yang telah banyak membantu dalam penulisan makalah ini. Juga kepada Dian Andriani dan Siti Fauziah Rahman dari Chonnam National University yang telah banyak membantu dalam pemenuhan referensi penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ying-Feng Pang, *Integrated Thermal Design and Optimization Study for Active Integrated Power Electronic Modules (IPEMs)*. Blacksburg, , Virginia: Thesis of Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in Mechanical Engineering, 2002.
- [2] Paranto W.S. Putro, "Perancangan dan Simulasi Transfer Panas pada Material Pendingin Peralatan Listrik Jenis Heat Pipe dengan Metode Finite Element," 2009.
- [3] Altera Corporation, "Thermal Management Using Heat Sinks," San Jose, CA, Application Note 185, March 2002, ver. 2.1.
- [4] Madou MJ., *Fundamentals of microfabrication*, 2nd ed. Boca Raton (FL): CRC Press, 2002.
- [5] K.S. Oh, "IGBT Basic I," Fair Child Semiconductor, Maine, NE, Application Note 9016, February, 2001.
- [6] Susheela Narasimhan and Joseph Majdalani, "Characterization of Compact Heat Sink Models in Natural Convection," *Ieee Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 25, no. 1, pp. 78-86, March 2002.
- [7] G. Prashant Reddy and Navneet Gu, "Material selection for microelectronic heat sinks: An application of the Ashby approach," *Materials and Design*, vol. 31, pp. 113-117, 2009.
- [8] Waqar Ahmed Khan, J. Richard Culham and M. Michael Yovanovich, "Modeling of Cylindrical Pin-Fin Heat Sinks for Electronic Packaging," *IEEE Transactions On Components And Packaging Technologies*, vol. 31, no. 3, pp. 536-545, September 2008.
- [9] Frank P. Incropera, David P. De Witt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.: John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [10] Ashby MF. , *Materials selection in mechanical design. ed.* , 2nd ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 1999.
- [11] Waqar Ahmed Khan, "Modeling of Fluid Flow and Heat Transfer for Optimization of Pin-Fin Heat Sinks," University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, A thesis 2004.
- [12] Umar Khan, Liaquat Ali Khan and Syed Zahid Hussein, "Selection Of Optimal Heat Sink Dimensions Using Evolutionary Strategies: A Case Study," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 3, no. 4, pp. 1-6, August 2008.
- [13] Rodgers, P. and Evely, V. , "Design challenges for high-performance heat sinks used in microelectronic equipment: evolution and future requirements," in *5th International Conference on Thermal and Mechanical Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems 2004 (EuroSimE 2004)*, 2004, pp. 527 - 529.