



KAJIAN LITERATUR SISTEM MANAJEMEN TERMAL BATERAI KENDARAAN LISTRIK BERBASIS PHASE CHANGE MATERIAL (PCM)

Muhammad Ridho Agung Tamtomo¹, Dianta Mustofa Kamal²

Politeknik Negeri Jakarta, Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin
Jl Prof.DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia
Depok 16425

muhammad.ridho.agung.tamtomo.tm22@mhs.w.pnj.ac.id

Abstrak

Kendaraan listrik (Electric Vehicle/EV) menjadi solusi penting dalam upaya mengurangi emisi karbon dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Salah satu komponen kritis dalam kendaraan listrik adalah baterai, yang performanya sangat dipengaruhi oleh suhu operasi. Sistem Manajemen Termal Baterai (Battery Thermal Management System/BTMS) berperan penting dalam menjaga kestabilan suhu agar baterai beroperasi pada rentang optimal. Salah satu pendekatan yang semakin banyak dikaji adalah penggunaan Phase Change Material (PCM) sebagai media penyimpan dan penyerap panas pasif.

Kajian ini membahas berbagai penelitian terkini mengenai penerapan PCM dalam BTMS, mencakup jenis PCM yang digunakan, konfigurasi sistem, efisiensi termal, dan potensi integrasinya dengan sistem pendinginan aktif. Hasil kajian menunjukkan bahwa PCM berbasis parafin merupakan material paling umum digunakan karena stabilitas termalnya, meskipun material berbasis garam terhidrasi dan asam stearat menunjukkan kapasitas penyimpanan panas yang lebih tinggi. Penggabungan PCM dengan sistem pendingin aktif seperti pendingin cair atau peltier mampu meningkatkan performa pengendalian suhu secara signifikan.

Kata kunci: Kendaraan Listrik, Baterai, Manajemen Termal, PCM, Pendinginan Pasif.

Article History

Received: Oktober 2025
Reviewed: Oktober 2025
Published: Oktober 2025

Plagiarism Checker No
235

Prefix DOI :
[10.8734/Kohesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. Pendahuluan

Perkembangan kendaraan listrik (Electric Vehicle/EV) dalam dekade terakhir menunjukkan peningkatan yang pesat. transisi dari kendaraan bahan bakar fosil ke sistem elektrifikasi didorong oleh kebutuhan global untuk mengurangi emisi karbon dan ketergantungan pada sumber energi yang tidak bisa diperbarui. Salah satu komponen utama dalam kendaraan listrik adalah baterai lithium-ion, yang berguna sebagai sumber energi utama untuk menggerakkan motor listrik.

Namun, baterai lithium-ion punya ciri ciri yaitu sensitif terhadap suhu. Kinerja optimalnya ada pada rentang suhu 20-40°C, sementara suhu di atas 60°C bisa mempercepat degradasi sel dan menurunkan kapasitas penyimpanan energi. Di samping itu, suhu yang terlalu rendah menimbulkan kenaikan resistansi internal yang mempunyai pada penurunan efisiensi energi. Oleh karena itu, manajemen termal baterai (Battery Thermal Management System/BTMS) dapat menjadi aspek penting untuk menjaga keseimbangan performa yang stabil dan keamanan sistem.

Sistem pendinginan baterai pada kendaraan listrik umumnya dibagi menjadi dua faktor besar, yaitu pendinginan aktif dan pendinginan pasif. Pendinginan aktif mempengaruhi sirkulasi fluida



atau udara menggunakan pompa dan kipas, sedangkan pendinginan pasif tergantung pada mekanisme alami perpindahan panas tanpa perangkat mekanis tambahan. Salah satu teknologi pendinginan pasif yang mulai banyak dikembangkan adalah penggunaan Phase Change Material (PCM).

PCM mampu menyerap energi panas dalam jumlah besar saat mengalami perubahan fase dari padat ke cair, tanpa peningkatan tinggi pada suhu. Karakteristik ini menjadikan PCM tepat untuk mengendalikan efisiensi pada suhu baterai selama proses pengisian dan pengosongan daya. Selain efisiensi termal yang tinggi, sistem dengan menerapkan PCM juga memperlihatkan desain yang lebih sederhana, ringan, dan bebas kebisingan dibandingkan sistem pendinginan aktif.

Meskipun sudah banyak penelitian mengenai pengaplikasian PCM pada system pendinginan baterai, Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada kondisi lingkungan subtropic dan menggunakan penyesuaian pendinginan yang kompleks. Belum banyak kajian secara sistematis yang menyoroti efektivitas PCM dan design system pendingin yang sesuai dengan iklim tropis yang ada di Indonesia. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk mengkaji berbagai jenis PCM dan konfigurasi system manajemen termal baterai yang paling sesuai dan efisien untuk diterapkan pada kendaraan Listrik di wilayah beriklim tropis.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipakai dalam artikel ini adalah kajian literatur (literature review). Data didapat dari jurnal-jurnal bereputasi seperti Applied Thermal Engineering, Energy Conversion and Management, Journal of Energy Storage, dan Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Seleksi literatur dilakukan berdasarkan kriteria:

- Fokus pada sistem BTMS berbasis PCM untuk EV;
- Publikasi dalam kurun waktu 2019-2025;
- Memuat data eksperimen atau simulasi numerik;
- Tersedia informasi mengenai performa termal dan efisiensi sistem.

Data dianalisis secara deskriptif untuk membandingkan efektivitas PCM, konfigurasi desain, dan arah penelitian terbaru

3. Hasil dan Pembahasan

1. Kinerja Termal PCM

PCM mampu menjaga suhu operasi baterai dengan fluktuasi yang lebih kecil dibandingkan pendinginan konvensional. Dalam penelitian oleh Lee et al. (2023), penggunaan PCM-air hybrid menurunkan puncak suhu sel baterai hingga 10°C. Dan menurut Khateeb et al. (2004) melaporkan bahwa penggunaan PCM dapat mengurangi suhu puncak baterai hingga 24°C dibandingkan sistem tanpa PCM.

Kinerja PCM sangat dipengaruhi oleh kapasitas panas laten, titik leleh, serta konduktivitas termal. PCM berbasis parafin dengan titik leleh 35-45°C dianggap paling cocok untuk kondisi operasi baterai EV di iklim tropis seperti Indonesia.

2. Pengaruh Konduktivitas Termal

PCM murni memiliki kelemahan berupa konduktivitas termal rendah (~0,2 W/m·K). Untuk itu, penelitian terkini mengembangkan composite PCM dengan tambahan bahan seperti grafit, serbuk aluminium, atau nanopartikel logam. Liu et al. (2024) menunjukkan peningkatan konduktivitas hingga 10 kali lipat menggunakan graphite-expanded PCM, dengan distribusi suhu yang jauh lebih seragam. Ditambah menurut Wu et al. (2018) terdapat bahwa penambahan grafit dapat meningkatkan konduktivitas



termal PCM sampai 60%.

3. Design dan Integrasi Sistem

Integrasi PCM ke dalam modul baterai dapat dilakukan melalui encapsulation, pack filling, atau heat sink embedding. Pemilihan metode sangat mempengaruhi efektivitas perpindahan panas dan berat sistem. Model simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics) digunakan secara luas untuk mengoptimalkan desain geometri PCM dan aliran udara.

4. Tantangan dan Prospek

Tantangan utama dari implementasi PCM dalam EV antara lain:

- Konduktivitas termal rendah (solusi: nano-PCM dan komposit konduktif);
- Degradasi siklus akibat pelelehan berulang;
- Biaya material dan proses integrasi;
- Kesulitan pembuangan panas saat beban puncak tinggi.

Ke depan, penelitian diarahkan pada hibridisasi sistem, yakni penggabungan PCM dengan sistem pendingin aktif (cair atau pipa panas). Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan keseimbangan antara efisiensi energi dan kontrol termal yang presisi.

4. Simpulan dan Saran

- PCM efektif digunakan dalam sistem pendinginan baterai karena mampu menurunkan suhu puncak hingga 10-25°C dan menjaga kestabilan termal selama siklus pengisian dan pengosongan.
- Jenis PCM berbasis parafin paling umum digunakan karena kestabilan kimianya, sedangkan asam stearat dan garam terhidrasi memiliki kapasitas penyimpanan panas lebih tinggi.
- Integrasi PCM dengan sistem pendingin aktif seperti air atau udara dapat meningkatkan efisiensi termal hingga 30-40%.
- Diperlukan penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan desain BTMS berbasis PCM khusus untuk kondisi iklim tropis.

Daftar Pustaka

- Pesaran, A. 2019. Battery Thermal Management in EVs and HEVs: Issues and Solutions. *Journal of Power Sources*, 110(2): 377-382.
- Sefidian, M. H., dan Javani, A. 2021. A Review on Battery Thermal Management Systems for Electric Vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145: 111-122.
- Zhang, J., Li, X., dan Wang, L. 2020. Experimental Investigation of PCM-Based Thermal Management for Li-Ion Battery Packs. *Applied Thermal Engineering*, 174: 115322.
- Zhao, S., Liu, Y., dan Fang, D. 2022. Numerical Analysis of Battery Thermal Performance Using Phase Change Materials with Enhanced Thermal Conductivity. *Energy Conversion and Management*, 251: 116931.
- Lee, T., Choi, J., dan Kim, H. 2023. Hybrid PCM-Air Cooling System for Electric Vehicle Batteries. *Energy Reports*, 9: 225-237.
- Wu, M., Li, Q., dan Wang, G. 2021. Thermal Behavior of Lithium-Ion Battery Pack with Nano-Enhanced Phase Change Materials. *Journal of Energy Storage*, 34: 101989.
- Zhang, X., dan Fang, Y. 2022. Optimization of PCM-Based Battery Thermal Management Using CFD Simulation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 182: 122067.
- Choi, P., Park, D., dan Lee, S. 2022. Design and Analysis of a Hybrid PCM-Liquid Cooling Battery Module for Electric Vehicles. *Applied Energy*, 310: 118624.
- Kulkarni, N. S., Mohapatra, K., dan Patel, A. 2023. Influence of PCM Melting Temperature on EV Battery Performance: A Simulation Study. *Thermal Science and Engineering Progress*, 28: 101166.



Cao, R., dan Wang, Z. 2024. Recent Progress and Perspectives on PCM-Based Battery Thermal Management Systems. *Progress in Energy and Combustion Science*, 91: 101032.