

Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Analisis Perbandingan Efektivitas Termal Baterai Lithium-ion: Pelat Pendingin Konvensional vs Jaring Laba-laba****Aimar Fathurrohman<sup>1\*</sup>, Reza Setiawan<sup>2</sup>, Rizal Hanifi<sup>3</sup>, Ahmad Davi<sup>4</sup>, Gading Arya Saputra<sup>5</sup>**<sup>1,2,3,4</sup>Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS. Ronggo Waluyo, Telukjambe Timur, Karawang, Indonesia**A R T I C L E  
I N F O**

*Keywords:*  
*lithium-ion battery*  
*cold plate*  
*computational fluid dynamics*

**A B S T R A C T**

*Lithium-ion batteries excel as energy storage media for electric vehicles due to their high energy and power density, lightweight, low self-discharge, good recyclability, and long cycle life compared to other batteries. However, excessive heat during operation can lead to extreme temperatures and uneven distribution, potentially causing fires or explosions if not properly managed, thus necessitating a Battery Thermal Management System (BTMS). This study aims to analyze and compare the effectiveness of two cooling plates—one with a conventional geometry and the other with a spider-web design—in reducing the heat generated by lithium-ion batteries. The BTMS cooling plate system was simulated using a computational fluid dynamics (CFD) approach with Ansys Fluent Student 2024 R2 software. Heat flux, pressure drop, fluid velocity, and battery temperature were used as parameters to evaluate the cooling plates' effectiveness. The simulation results showed that the conventional cooling plate was more effective in reducing battery heat, with a heat flux of 4897.85 W/m<sup>2</sup> and a battery temperature of 309.89 K, compared to the spider-web cooling plate, which had a heat flux of 3407.24 W/m<sup>2</sup> and a battery temperature of 310.84 K.*

\*Corresponding author: [aimarfathurrohman415@gmail.com](mailto:aimarfathurrohman415@gmail.com)

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i2.8891>

Received 22 mei 2025; Received in revised form 29 September 2025; Accepted 29 September 2025

Available online 30 September 2025

## Pendahuluan

Dunia saat ini sedang berupaya untuk mengatasi krisis energi, dan salah satu upaya yang paling efektif adalah penggunaan kendaraan listrik. Kendaraan listrik dinilai efektif dalam mengurangi emisi karbon seiring dengan peningkatan penghematan energi di sektor transportasi. Hal ini disebabkan oleh efisiensinya yang tinggi, emisi knalpot nol bersih yang meningkatkan kualitas udara, komponen penggerak yang lebih sederhana, perawatan yang lebih sedikit, pengereman regeneratif yang lebih baik, dan dapat terintegrasi dengan sumber energi terbarukan. Laporan menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca (GRK) dapat berkurang lebih dari 20% jika listrik yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan listrik dihasilkan dari sumber energi terbarukan [1]. Energi listrik yang menjadi sumber energi utama kendaraan listrik disimpan dalam baterai. Baterai lithium-ion merupakan media penyimpanan energi yang paling sesuai untuk kendaraan listrik. Hal ini disebabkan oleh kepadatan energi yang lebih tinggi, daya spesifik yang lebih besar, bobot yang lebih ringan, tingkat *self-discharge* yang lebih rendah, kemampuan daur ulang yang lebih baik, dan siklus hidup yang lebih panjang dibandingkan dengan baterai isi ulang lainnya, seperti baterai timbal asam, nikel-kadmium (Ni-Cd), nikel-metal hidrida (Ni-MH) [2]. Meskipun baterai lithium-ion memiliki beberapa keunggulan, baterai ini juga menghasilkan sejumlah panas yang signifikan selama pengoperasian. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan suhu yang berlebihan dan distribusi panas yang tidak merata. Bahkan, jika panas baterai tidak dihilangkan tepat waktu, kondisi ini berpotensi menyebabkan kebakaran atau ledakan [3]. Baterai lithium-ion memiliki rentang temperatur operasional diantara -20°C hingga 60°C. Meskipun demikian, untuk mencapai kinerja yang paling efisien dan menjaga umur pakai, temperatur

optimalnya harus berada pada rentang 15°C hingga 35°C. Jika baterai sudah berada diatas temperatur optimal maka akan mengalami degradasi secara cepat dan dapat menyebabkan kebakaran bahkan ledakan [4]. Namun, penelitian lain menyebutkan bahwa untuk mempertahankan baterai pada performa optimal, temperatur baterai harus berada dalam rentang 25°C hingga 40°C [5].

Untuk dapat mempertahankan temperatur baterai, diperlukan sebuah sistem manajemen termal baterai (BTMS) yang mampu menurunkan temperature pada baterai kendaraan listrik. Sistem manajemen termal baterai (BTMS) merupakan sebuah sistem yang dirancang untuk menjaga temperatur baterai tetap berada pada keadaan aman. Tujuannya untuk mencegah pemborosan energi serta mengurangi pelepasan panas yang berlebih [6]. Beberapa jenis sistem manajemen termal baterai (BTMS) yang telah digunakan pada kendaraan listrik meliputi pendingin udara (*air cooling*), pendingin cairan (*liquid cooling*), pendingin berbasis material perubahan fase (PCM), dan sistem manajemen termal berbasis elemen termoelektrik [7]. Sistem manajemen termal baterai (BTMS) berbasis cairan menjadi salah satu BTMS yang sering digunakan pada kendaraan listrik komersial karena tingkat efisiensinya yang tinggi dalam memindahkan panas [8]. Salah satu jenis BTMS berbasis cairan adalah menggunakan pelat pendingin sebagai penukar panas, dimana fluida mengalir di dalam saluran pelat pendingin tersebut. Teknik pendinginan tidak langsung dengan cairan fase tunggal dapat dilakukan melalui pendinginan cair (*liquid cooling*). Sifat hidrotermal seperti tahanan termal, penurunan tekanan (*pressure drop*), dan koefisien perpindahan panas konveksi digunakan untuk mengevaluasi kinerja berbagai konfigurasi aliran dan parameter geometris dari cairan pelat pendingin [9]. Penelitian yang dilakukan oleh Jianfeng Wang dkk. mengenai optimasi numerik efek

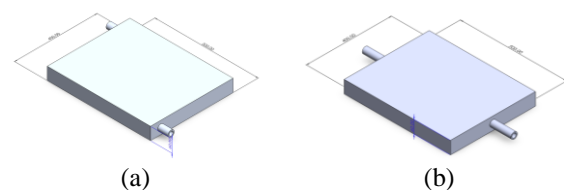
pendingin bionik pelat pendingin saluran jaring laba-laba pada kantong baterai lithium-ion menunjukkan bahwa beberapa faktor memengaruhi performa pelat pendingin dalam menurunkan temperature baterai, seperti lebar saluran, jumlah saluran, dan sudut saluran. Lebar saluran memiliki pengaruh terbesar terhadap performa pelat pendingin, di mana peningkatan lebar saluran meningkatkan area pertukaran panas konveksi antara fluida dan pelat pendingin, sehingga meningkatkan performa pendingin dan keseimbangan termal. Jumlah saluran juga berpengaruh, di mana peningkatan jumlah saluran dapat meningkatkan area pertukaran panas konveksi dan mengurangi suhu maksimal baterai. Sementara sudut saluran memiliki pengaruh paling kecil terhadap performa pendinginan [10].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kemampuan transfer panas antara pelat pendingin serpentine konvensional dan pelat pendingin yang di sesuaikan dengan struktur jaring laba-laba pada baterai lithium-ion, melalui simulasi komputasi dinamika fluida (*computational fluid dynamics*). Dengan melakukan simulasi numerik, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman lebih baik tentang efektivitas pelat pendingin serpentine konvensional dan pelat pendingin yang di sesuaikan dengan struktur jaring laba-laba terhadap panas baterai lithium-ion.

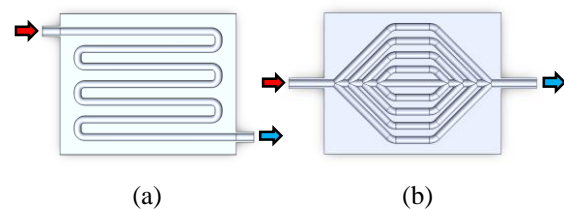
### Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik dengan pendekatan komputasi dinamika fluida (*computational fluid dynamics*) menggunakan software Ansys Fluent Student 2024 R2. Kedua pelat pendingin memiliki ukuran geometri dan jenis material yang sama, sebagaimana tertera pada Tabel 1. Panah berwarna merah dan biru pada Gambar 2. menunjukkan inlet dan outlet fluida yang mengalir pada pelat

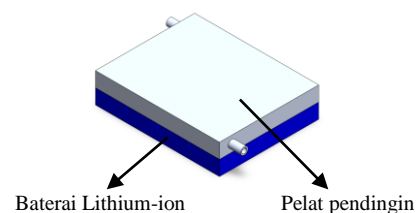
pendingin. Fluida pendingin yang digunakan adalah air. Baterai lithium-ion akan ditumpuk dengan pelat pendingin sebagaimana tertera pada Gambar 3, dan dimodelkan sebagai sumber panas homogen dengan temperature maksimal yaitu 40°C, hal ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pelat pendingin dalam menurunkan panas baterai. Kondisi batas aliran pada inlet pelat pendingin adalah kecepatan aliran konstan sebesar 0,32 m/s dengan temperatur 293K, dan kondisi batas pada outlet adalah *outflow*.



Gambar 1. Pelat pendingin, (a) Konvensional, (b) Jaring Laba-laba



Gambar 2. Skema aliran fluida pada saluran pelat pendingin, (a) Konvensional, (b) Jaring Laba-laba



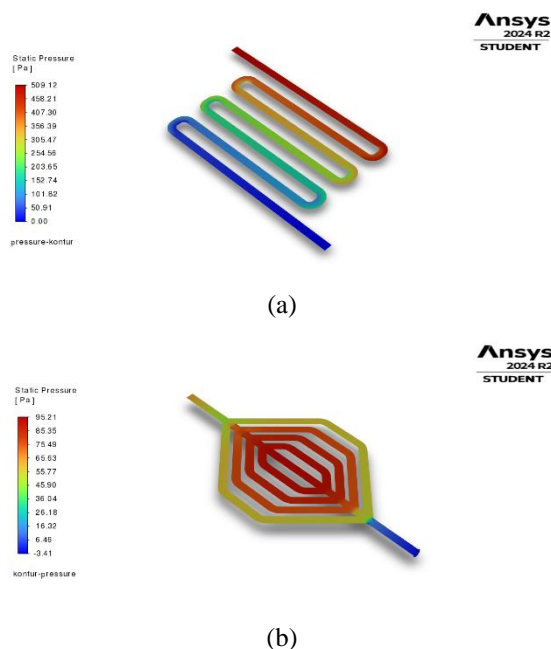
Gambar 3. Model pelat pendingin dan baterai lithium-ion

Tabel 1. Spesifikasi pelat pendingin  
Spesifikasi Pelat Pendingin

	Konvensional	Jaring Laba-laba
Panjang	500 mm	500 mm
Lebar	400 mm	400 mm
Tebal	60 mm	60 mm
Diameter	20 mm	20 mm
Saluran		
Jumlah	7	9
Saluran		
Material	Alumunium	Alumunium

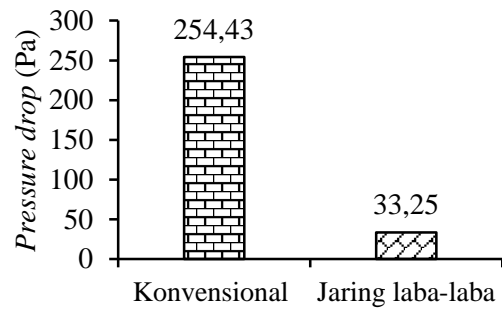
## Hasil dan Pembahasan

Untuk mengukur efektivitas termal dari kedua desain pelat pendingin, penelitian ini akan menganalisis besarnya penurunan tekanan (*pressure drop*), kecepatan fluida (*velocity*), laju perpindahan panas (*heat flux*), dan distribusi suhu pada baterai.



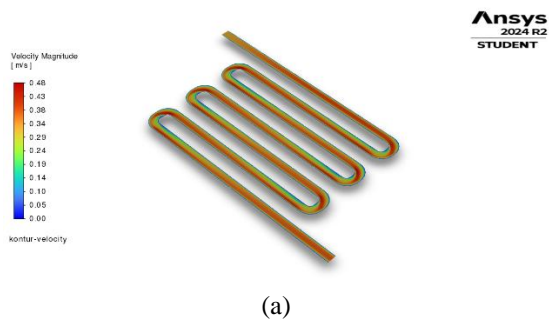
Gambar 4. Hasil simulasi *static pressure*,  
(a) Konvensional, (b) Jaring Laba-laba

Nilai penurunan tekanan (*pressure drop*) dapat diambil dari nilai *area-weighted average pressure* pada inlet dan outlet.

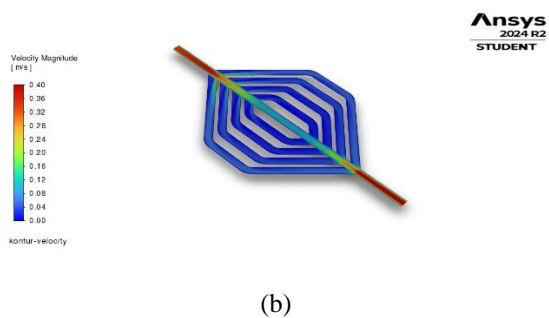


Gambar 5. Grafik penurunan tekanan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa geometri konvensional menghasilkan penurunan tekanan sebesar 254,43 Pa, sedangkan geometri jaring laba-laba menghasilkan penurunan tekanan sebesar 33,25 Pa. Perbedaan signifikan ini mengindikasikan peran penting desain geometri terhadap efisiensi aliran fluida dalam sistem termal. Berdasarkan teori dari buku “*Fundamental of Heat and Mass Transfer*” [11], peningkatan *pressure drop* berkaitan dengan peningkatan kecepatan aliran dan gaya gesek pada dinding saluran, yang secara umum meningkatkan bilangan Reynolds (*Re*), Nusselt (*Nu*), serta koefisien konveksi (*h*), sehingga memperkuat perpindahan panas konveksi. Hal ini selaras dengan korelasi klasik seperti *Chilton-Colburn j-factor analogy*, di mana nilai koefisien gesek (*friction factor*) yang lebih besar secara langsung terkait dengan nilai transfer panas (*j-factor*) yang lebih tinggi. Selain itu, studi eksperimental oleh Everts dan Meyer [12], menegaskan adanya hubungan langsung antara *pressure drop* dan perpindahan panas di berbagai aliran, mulai dari laminar, transisional, dan turbulen. Keduanya berkembang secara bersamaan dan dapat dijelaskan melalui korelasi factorial *Nu-f* (Nusselt vs friction factor) untuk aliran berkembang maupun sudah berkembang penuh. Dengan demikian, meskipun geometri konvensional menyebabkan *pressure drop* lebih tinggi, kondisi ini mendukung peningkatan *heat flux* dan efektivitas pendingin dibandingkan geometri jaringan laba-laba.

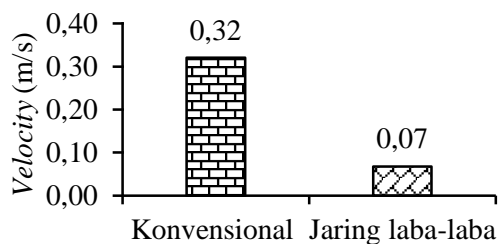


(a)



(b)

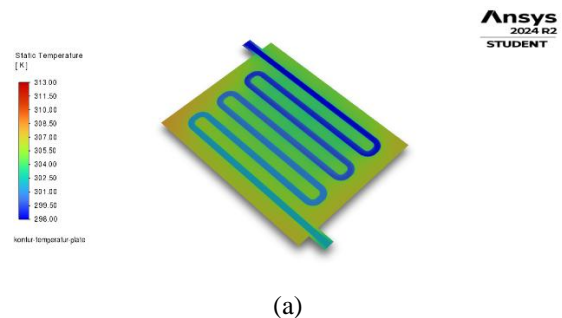
Gambar 6. Hasil simulasi *velocity magnitude*,  
(a) Konvensional, (b) Jaring Laba-laba



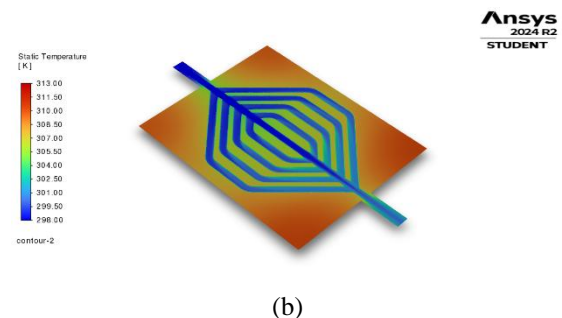
Gambar 7. Grafik kecepatan aliran rata-rata

Pada parameter kecepatan fluida (*velocity*) juga menunjukkan perbedaan mencolok antara kedua geometri. Geometri konvensional memiliki kecepatan rata-rata 0,32 m/s, jauh lebih tinggi dibandingkan geometri jaring laba-laba yang hanya mencapai 0,07 m/s. Kecepatan yang lebih tinggi pada geometri konvensional berkontribusi pada peningkatan *pressure drop* karena gaya gesek yang lebih besar antara fluida dan dinding saluran. Sebaliknya, pada geometri jaring laba-laba percabangan jalur memungkinkan kecepatan aliran menurun secara signifikan yang secara langsung mengurangi *pressure drop* hingga mencapai nilai yang lebih rendah. Selain itu, perbedaan kecepatan fluida juga berimplikasi pada mekanisme perpindahan panas konveksi. Berdasarkan teori perpindahan panas dari buku

“*Fundamental of Heat and Mass Transfer*” [11], peningkatan kecepatan fluida berbanding lurus dengan peningkatan bilangan Reynolds, yang kemudian meningkatkan bilangan Nusselt (*Nu*), dan koefisien konveksi (*h*). Hal ini menjelaskan bahwa geometri konvensional dengan kecepatan lebih tinggi mampu menghasilkan koefisien konveksi lebih besar sehingga perpindahan panas lebih efektif, meskipun konsekuensinya adalah *pressure drop* yang lebih tinggi.

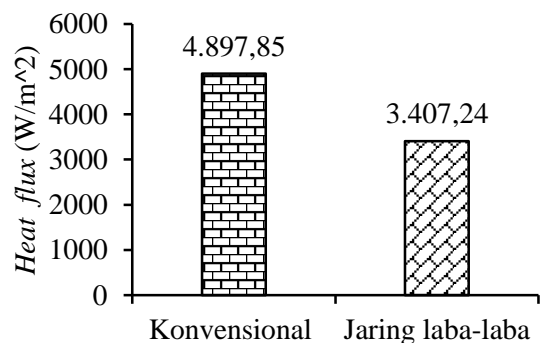


(a)



(b)

Gambar 8. Hasil simulasi *static temperature*,  
(a) Konvensional, (b) Jaring Laba-laba

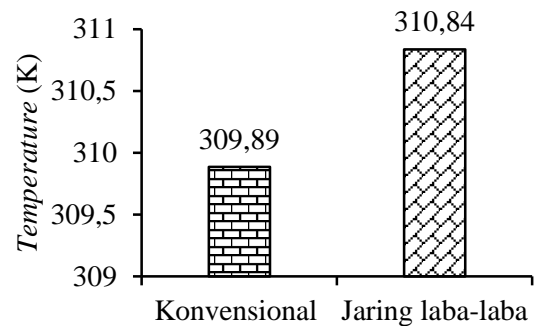


Gambar 7. Grafik laju perpindahan panas rata-rata

Dari segi total *surface heat flux*, geometri konvensional menunjukkan performa yang lebih tinggi dengan nilai 4897,85 W/m<sup>2</sup>, dibandingkan geometri jaring laba-laba yang hanya mencapai

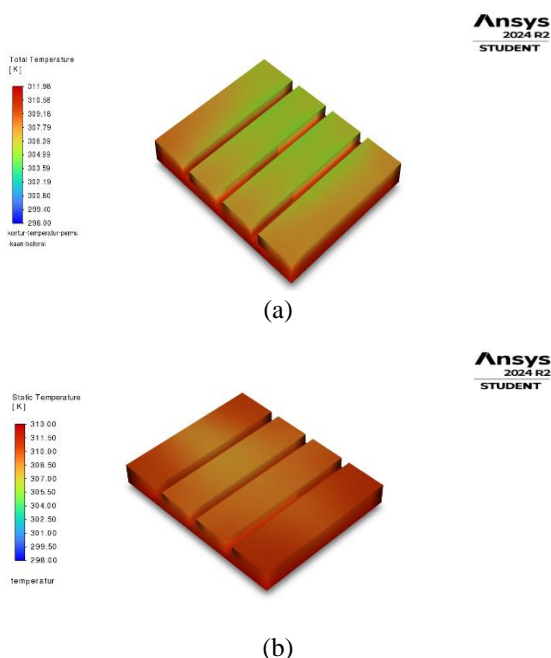
3407,24 W/m<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan oleh aliran fluida pada geometri konvensional yang lebih terkonsentrasi sepanjang jalur utama tanpa adanya percabangan. Konsentrasi aliran ini memungkinkan perpindahan panas yang lebih besar ke permukaan. Sebaliknya, pada geometri jaring laba-laba aliran fluida terdistribusi ke dalam beberapa cabang kecil, yang menyebabkan penurunan konsentrasi aliran pada setiap titik, sehingga nilai total *heat flux* menjadi lebih rendah. Penelitian terdahulu menguatkan temuan ini. Al-Neama dkk [13] meneliti performa pendingin *microchannel heat sink* dengan desain serpentine dan menemukan bahwa desain ini meningkatkan Nusselt number hingga 35% dibanding kanal lurus, namun *pressure drop* yang dihasilkan juga meningkat signifikan hingga sekitar sepuluh kali lipat. Selain itu, Huang dkk [14] merancang pelat pendingin *microchannel* berstruktur dua lapis dengan pola serpentine dan rib. Hasil yang didapat dari desainnya membuat aliran fluida lebih merata, meningkatkan koefisien perpindahan panas hingga 18%, menurunkan resistensi termal sekitar 2,5 – 12%, namun disertai dengan kenaikan *pressure drop* sebesar 27%.

Gambar 9. Hasil simulasi distribusi suhu baterai, (a) Konvensional, (b) Jaring Laba-laba



Gambar 9. Grafik distribusi suhu baterai rata-rata

Pada parameter distribusi suhu baterai, diperoleh data bahwa suhu rata-rata baterai yang dipasangkan dengan pelat pendingin geometri konvensional memiliki nilai 309,89 K. Sementara suhu rata-rata baterai yang dipasangkan dengan pelat pendingin geometri jaring laba-laba memiliki nilai 310,84 K. Dari data tersebut, dapat terlihat bahwa pelat pendingin geometri konvensional lebih efektif dalam menurunkan suhu baterai dibandingkan dengan pelat pendingin geometri jaring laba-laba. Meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan, analisis distribusi penurunan suhu menunjukkan bahwa area permukaan atas baterai memiliki kontur suhu yang lebih rendah saat menggunakan pelat pendingin konvensional dibandingkan dengan pelat pendingin jaring laba-laba.



Tabel 2. Hasil simulasi

Parameter	Konvensional	Jaring Laba-laba
<i>Pressure drop</i> (Pa)	254,43	33,25
<i>Velocity</i> (m/s)	0,32	0,07
<i>Heat flux</i> (W/m <sup>2</sup> )	4897,85	3407,24
<i>Temperature</i> baterai (K)	309,89	310,84

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pelat pendingin konvensional memiliki keunggulan dalam perpindahan panas dengan nilai *total surface heat flux* sebesar 4897,85 W/m<sup>2</sup> serta kecepatan aliran rata-rata (*velocity magnitude*) sebesar 0,32 m/s. Sebaliknya, pelat pendingin jaring laba-laba hanya mampu mencapai *heat flux* sebesar 3407,24 W/m<sup>2</sup> dengan kecepatan aliran rata-rata 0,07 m/s. Meskipun demikian, pelat pendingin jaring laba-laba menunjukkan keunggulan dari sisi hidrodinamik dengan penurunan tekanan (*pressure drop*) yang jauh lebih rendah, yakni 33,25 Pa, dibandingkan pelat pendingin konvensional yang mencapai 254,43 Pa. Secara keseluruhan, pelat pendingin konvensional lebih efektif dalam menurunkan temperatur baterai, yaitu hingga 309,89 K, sedangkan pelat pendingin jaring laba-laba hanya mampu menurunkan temperatur hingga 310,84 K.

## Referensi

- [1] A. Gharehghani *et al.*, "Progress in battery thermal management systems technologies for electric vehicles," Sep. 01, 2024, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.rser.2024.114654.
- [2] J. Kim, J. Oh, and H. Lee, "Review on battery thermal management system for electric vehicles," Feb. 25, 2019, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.12.020.
- [3] J. Wang, Y. Gan, J. Liang, M. Tan, and Y. Li, "Sensitivity analysis of factors influencing a heat pipe-based thermal management system for a battery module with cylindrical cells," *Appl Therm Eng*, vol. 151, pp. 475–485, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.02.036.
- [4] G. Zhao, X. Wang, M. Negnevitsky, and H. Zhang, "A review of air-cooling battery thermal management systems for electric and hybrid electric vehicles," Jul. 31, 2021, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.jpowsour.2021.230001.
- [5] Y. Li, H. Guo, F. Qi, Z. Guo, M. Li, and L. Bertling Tjernberg, "Investigation on liquid cold plate thermal management system with heat pipes for LiFePO<sub>4</sub> battery pack in electric vehicles," *Appl Therm Eng*, vol. 185, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116382.
- [6] M. Akbarzadeh *et al.*, "A comparative study between air cooling and liquid cooling thermal management systems for a high-energy lithium-ion battery module," *Appl Therm Eng*, vol. 198, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117503.
- [7] F. S. Hwang *et al.*, "Review of battery thermal management systems in electric vehicles," Mar. 01, 2024, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.rser.2023.114171.
- [8] C. Wu, Z. Wang, Y. Bao, J. Zhao, and Z. Rao, "Investigation on the performance enhancement of baffled cold plate based battery thermal management system," *J Energy Storage*, vol. 41, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102882.
- [9] I. Pranoto, Y. Yunus, and M. F. Alfath, "Pengembangan Fasilitas Pengujian Serpentine Minichannel Cold Plate Sebagai Sistem Pendinginan Fluks Kalor Tinggi," *JURNAL REKAYASA ENERGI DAN MEKANIKA*, vol. 02, Oct. 2022.
- [10] J. Wang, X. Liu, F. Liu, Y. Liu, F. Wang, and N. Yang, "Numerical optimization of the cooling effect of the bionic spider-web channel cold plate on a pouch lithium-ion battery," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 26, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101124.

- [11] T. L. Bergman and A. S. Levine, *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons, Inc., 2019.
- [12] M. Everts and J. P. Meyer, "Relationship between pressure drop and heat transfer of developing and fully developed flow in smooth horizontal circular tubes in the laminar, transitional, quasi-turbulent and turbulent flow regimes," *Int J Heat Mass Transf*, vol. 117, pp. 1231–1250, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.072.
- [13] A. F. Al-Neama, N. Kapur, J. Summers, and H. M. Thompson, "An experimental and numerical investigation of the use of liquid flow in serpentine microchannels for microelectronics cooling," *Appl Therm Eng*, vol. 116, pp. 709–723, Apr. 2017, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2017.02.001.
- [14] H. Wang, Y. Gan, Q. Luo, Y. Li, and J. Feng, "A study on the effect of channel structures on flow and heat transfer performance of cold plate with double-layer serpentine microchannel," *Appl Therm Eng*, vol. 259, p. 124944, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2024.124944.