



PAPER – OPEN ACCESS

Studi Eksperimental Kinerja Sistem Pendinginan Baterai Lithium-Ion 18650 Berbasis Liquid Cold Plate

Author : Julio Victorio Sibarani, dan Indro Pranoto
DOI : 10.32734/ee.v6i1.1804
Electronic ISSN : 2654-7031
Print ISSN : 2654-7031

Volume 6 Issue 1 – 2023 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)



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

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Studi Eksperimental Kinerja Sistem Pendinginan Baterai *Lithium-Ion* 18650 Berbasis *Liquid Cold Plate*

Julio Victorio Sibarani, Indro Pranoto

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

juliovictorio@mail.ugm.ac.id, indro.pranoto@ugm.ac.id

Abstrak

Dewasa ini, baterai berjenis lithium-ion memainkan peranan yang krusial sebagai sumber energi akan tetapi baterai berjenis lithium-ion masih memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi turunnya performa baterai, salah satunya adalah panas yang berlebih. Ada beberapa cara untuk menghindari kenaikan suhu yang signifikan dari baterai, salah satunya adalah penggunaan *liquid cold plate*. Prinsip kerja dari *liquid cold plate* pada penelitian ini adalah dengan sistem pendinginan secara tidak langsung dengan menggunakan fluida *aquades*. Ada beberapa model yang sudah digunakan dalam penelitian sebelumnya, dan pada penelitian ini model baru dari *liquid cold plate* telah dikembangkan dan dibuat dari bahan aluminium. Berdasarkan penelitian sebelumnya, laju volumetrik fluida sangat mempengaruhi temperatur dan waktu operasi. Beberapa variabel yang berpengaruh dan menjadi tujuan pada penggunaan sistem pendingin baterai ini adalah kecepatan fluida dan koefisien konveksi. Pada penelitian ini, kecepatan fluida sebesar 0,2 liter per menit dan 0,4 liter per menit dapat mempengaruhi nilai koefisien perpindahan panas konveksi titik masuk dan titik keluar fluida ketika baterai diuji pada tiga variasi *discharge rate*, yaitu 0,5 C, 0,75 C, dan 1 C. Berdasarkan observasi, dengan kecepatan fluida yang sama, nilai dari koefisien konveksi akan semakin meningkat, dimana nilai maksimal koefisien konveksi dari kecepatan fluida 0,2 liter per menit dan 0,4 liter per menit adalah sekitar 7 W/m²·K dan sekitar 11 W/m²·K secara berurutan pada *discharge rate* 1C. Secara keseluruhan, penggunaan sistem pendingin dapat mempengaruhi durasi pemakaian baterai ketika dibandingkan dengan durasi pemakaian baterai tanpa sistem pendingin.

Kata Kunci: Baterai Lithium-Ion; *Liquid Cold Plate*; Manajemen Panas; Perpindahan Kalor Konveksi

Abstract

Nowadays, lithium-ion battery plays a crucial role as an energy source, nevertheless, this type of battery has several drawbacks affecting its performance overall still, namely overheating. There are numerous methods to prevent the significant increase in battery temperature, one of them is using the *liquid cold plate*. This research's working principle of the *liquid cold plate* is an indirect cooling system using aquades as the cooling fluid. There are several models utilized in prior studies, in this occasion a new type of *liquid cold plate* is developed and manufactured of aluminum. According to previous studies, the Fluid volumetric rate greatly affects the temperature and operating time. Several variables used as purpose in this battery cooling system experiment namely, fluid velocity and convection coefficient. In this study, the fluid velocities applied were 0.2 lpm and 0.4 lpm, affecting the value of the convection coefficient in the inlet point and outlet point when the battery was performed in three discharge rate variations, viz., 0.5 C, 0.75 C, and 1 C. According to the observations of the same type of fluid, the value of the convection coefficient will increase as the discharge rate rises, where the maximum value of the convection coefficient of 0.2 lpm and 0.4 lpm is roughly 7 W/m²·K and 11 W/m²·K respectively at a discharge rate of 1C. In general, the utilization of a cooling system can affect the duration of battery use when compared to the duration of battery use without a cooling system.

Keywords: Convection Heat Transfer; Lithium-Ion Battery; *Liquid Cold Plate*; Thermal Management

1. Pendahuluan

Sumber energi telah menjadi topik penelitian yang menarik dalam beberapa dekade ini, akan tetapi, tantangan terbesar yang dihadapi dalam penggunaan energi adalah polusi udara. Berdasarkan data yang dirilis Climate Transparency Report [1], negara-negara yang tergabung di dalam G20 menghasilkan 37% jumlah emisi karbon yang berasal dari pembangkit daya dan 20% dari bidang transportasi. Seiring dengan perkembangan teknologi, jenis sumber energi yang digunakan adalah penggunaan baterai lithium ion pada kendaraan listrik. Menurut data yang dilansir International Energy Agency [2], produksi mobil listrik meningkat dari tahun 2010 sampai 2021 yang ditunjukkan dari beberapa kontinen seperti Amerika Serikat, Cina, dan Eropa, dengan jumlah terbesar 16,5 juta mobil listrik. Akan tetapi masalah keamanan menjadi faktor krusial, seperti hasil penelitian yang dilakukan oleh Diaz, et al [3] menyatakan bahwa suhu baterai yang terlalu panas dapat menimbulkan thermal runaway yang dapat mengakibatkan kebakaran. Thermal runaway adalah suatu fenomena dimana ketika suhu pada baterai lithium-ion mencapai nilai kritis sehingga menaikkan suhu yang pada gilirannya mengarah pada percepatan lebih lanjut dari laju reaksi eksotermal [4].

Thermal runaway merupakan jenis kegagalan internal baterai yang dapat mengakibatkan kegagalan. Berdasarkan statistik, kebakaran yang diakibatkan oleh fenomena ini menyumbang 80% dari kebakaran kendaraan listrik. Untuk mengantisipasi kegagalan dalam baterai yang berpotensi mencelakakan, Battery Management System (BMS) merupakan sistem yang sering digunakan untuk menghindari kerusakan yang mungkin terjadi pada baterai. Penelitian yang dilakukan oleh Wang, et al [5], metode suppression adalah metode yang mendasar yang bisa dilakukan untuk mencegah kegagalan dalam BMS. Ada beberapa cara untuk menurunkan suhu baterai, namun menurut Roe, et al [6], sistem pendingin yang menggunakan aliran fluida jauh lebih efektif dibandingkan yang menggunakan udara karena koefisien perpindahan panas secara konvektif yang baik dan kapasitas panas spesifik. Penelitian yang terkait dengan hubungan temperatur dengan baterai juga telah diteliti oleh Ma, et al [7], dengan kesimpulan bahwa temperatur sangat mempengaruhi performa dari baterai.

Beberapa penelitian terkait sistem pendinginan baterai menggunakan aliran fluida, atau liquid cooling system telah dilakukan baik secara eksperimen maupun simulasi. Simulasi telah dilakukan oleh Seo, et al [8] menggunakan software ANSYS CFX. Dalam penelitian ini fluida yang digunakan adalah air, udara, dan minyak goreng yang digunakan untuk mendinginkan jenis baterai lithium-ion dengan variabel laju aliran massa fluida 0,5 g/s, 1 g/s, 1,5 g/s. Hasil temperatur baterai yang terdapat di simulasi ini berdasarkan jenis fluida udara, air, dan minyak goreng adalah 88,592°C, 58,544 °C, dan 29,024 °C secara berurutan. Performa pendinginan yang paling baik adalah dengan menggunakan fluida minyak goreng dibandingkan dengan udara dan air. Dari penelitian yang sama dapat disimpulkan seiring dengan meningkatnya laju aliran massa, maka temperatur juga akan semakin menurun. Fenomena yang sama juga dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh Akbarzadeh, et al [9] – [10] dimana kenaikan laju fluida dapat menurunkan temperatur rata-rata dari semua baterai lebih-lebih lagi kecepatan fluida yang digunakan adalah 0,2 liter per menit, 0,4 liter per menit, 0,6 liter per menit, 0,8 liter per menit, dan 1 liter per menit. Penelitian yang berkaitan dengan temperatur juga dilakukan oleh Zhang, et al [11] dimana temperatur baterai akan meningkat seiring dengan meningkatnya discharge rate baterai yang digunakan dan besarnya diameter saluran fluida mempengaruhi suhu dari baterai. Pada penelitian studi numerik yang dilakukan oleh Chen, et al [12] menggunakan jenis - jenis fluida udara, air, dan minyak mineral dielektrik, fluida dialirkan secara langsung dan metode fin cooling. Secara keseluruhan, baik fluida udara, air dan mineral dielektrik, semakin cepat aliran fluida maka semakin rendah temperatur rata-rata dari baterai.

Nilai dari koefisien konveksi juga menjadi variabel yang dicari dalam penelitian Zhang, et al, dimana dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai koefisien konveksi dari fluida berkurang ketika diameter fluida bertambah dari 5 mm ke 12 mm nilai dari h berkurang dari 196.327 W/m² · K menjadi 164.792 W/m² · K. Bilangan Nusselt meningkat dari 1.636 ke 3.296. Jadi secara keseluruhan nilai h memiliki tren yang berbanding terbalik dengan bilangan nusselt. Penelitian lain yang terkait penggunaan baterai berjenis Lithium-ion juga telah dilakukan dengan metode simulasi, dimana nilai discharge baterai yang digunakan berkisar dari 3C sampai 7,5 C. Secara keseluruhan, seiring dengan bertambahnya nilai dari *discharge rate*, maka suhu akan semakin bertambah juga. Tren secara umum dari nilai koefisien konveksi juga semakin besar ketika besaran *discharge rate* semakin besar, dari 5 W/m²K menjadi 50 W/m²K.

Pada penelitian ini, tujuan penelitian adalah performansi dari model *liquid cold plate* model baru yang berfokus pada nilai koefisien konveksi dari fluida, persebaran temperatur baterai, dan durasi pemakaian baterai sesuai dengan *cutoff voltage* yang diatur.

Tata Nama

q = Heat Rate (W)

q'' = Heat Flux (W/m²)

h = Koefisien Perpindahan Kalor Secara Konveksi (W/m²K)

I = Arus Baterai (A)

R = Hambatan Internal (mΩ)

2. Metodologi Penelitian

2.1. Landasan Teori

Jenis baterai yang digunakan dalam penelitian ini adalah lithium-ion baterai dimana baterai jenis ini menggunakan senyawa penyimpanan lithium sebagai bahan elektroda positif dan negatif. Saat baterai diisi ulang, ion lithium (Li⁺) bertukar antara elektroda positif dan negatif [13]. Panas yang dihasilkan oleh baterai sangat bergantung pada jenis ikatan kimia dan reaksi kimia yang terdapat didalam baterai [14]. Pada penelitian ini, reaksi kimia baterai adalah sebagai berikut [15]:





Pada penelitian ini, jumlah kalor yang dihasilkan dari setiap C rate yang direncanakan sangat penting dan ada dua sumber panas baterai, yaitu: joule heating dan perubahan entropi. Persamaan yang dapat digunakan untuk mencari jumlah panas yang dihasilkan baterai adalah sebagai berikut [16]:

$$q = I^2R + IT \frac{dU_{ocv}}{dT} \quad (4)$$

Dimana q adalah panas yang dihasilkan oleh baterai per satuan waktu (W), I adalah jumlah arus dari baterai (A), R adalah jumlah hambatan internal ($m\Omega$), T adalah temperatur baterai, dan $\frac{dU_{ocv}}{dT}$ adalah koefisien entropi baterai. Nilai dari koefisien entropi baterai untuk jenis baterai Sony Corporation lithium-ion 18650 sendiri dapat diambil dari penelitian Dong, et al [17] sebesar 0,000469. Heat flux yang dihasilkan baterai dapat diperoleh dengan membagikan panas yang dihasilkan dengan luas permukaan baterai. Di dalam penggunaan komponen liquid cold plate, perpindahan panas yang terjadi adalah force convection yang nilainya dapat dicari dengan persamaan berikut ini:

$$q'' = h (T_s - T_\infty) \quad (5)$$

$$q = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (6)$$

Dimana q'' adalah laju heat flux dari kalor (W/m^2), h adalah besaran koefisien konveksi ($W/m \cdot K$), q adalah laju perpindahan panas secara keseluruhan (W), A_s adalah luas permukaan baterai (m^2), T_s adalah besaran temperatur dari permukaan, dan T_∞ adalah temperatur fluida.

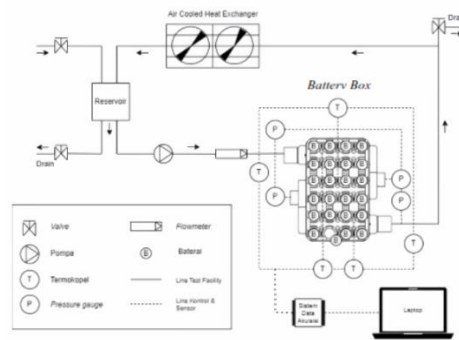
2.2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, jenis baterai yang digunakan adalah baterai lithium-ion 18650 SONY MURATA VTC4 yang disusun secara seri sebanyak 24 buah. Parameter dasar dari baterai ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dasar baterai.

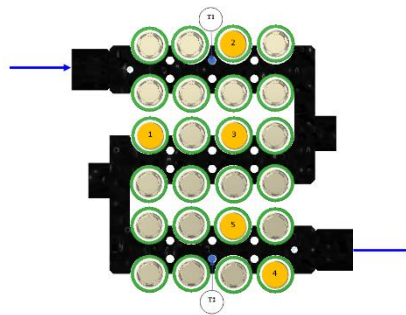
Parameter	Nilai
Model	US18650VTC4 (VTC4)
Desain	Flat Top
Ukuran	18650
Nominal kapasitas (mAh)	2100 mAh
Nominal tegangan (V)	3,6 V
Maksimal Tegangan (V)	4,2 V
Tegangan cut-off (V)	2,5 V
Berat (g)	45,3 g
Hambatan Internal ($m\Omega$)	45
Arus Maksimal (A)	10

Pada penelitian ini, baterai yang telah disusun secara seri akan didinginkan dengan menggunakan *liquid cold plate* rancangan baru, dimana alat ini dibuat menggunakan material aluminium. Aliran fluida yang mengalir kedalam komponen ini akan mengalir melalui saluran yang berukuran 3 mm. Komponen ini dapat dilihat pada Gambar 1. Kecepatan laju aliran volumetrik fluida akan diatur untuk 0,2 liter per menit lalu kemudian 0,4 liter per menit pada setiap variasi *discharge rate*. Proses pengosongan baterai akan dimulai sesaat setelah dialirkannya fluida yang telah diatur kecepatannya.

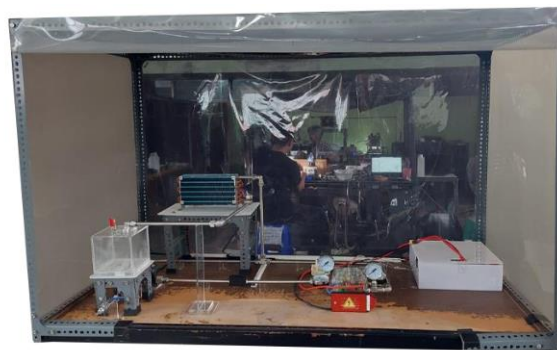


Gambar 1. Skema alat penelitian.

Suhu baterai ketika beroperasi akan diukur menggunakan sensor suhu *thermistor* NTC yang akan terbaca nilainya ke melalui ARDUINO, dan jumlah sensor yang akan terpakai adalah sebanyak 5 sensor. Suhu fluida akuades yang mengalir akan diukur temperaturnya dengan menggunakan termokopel *type-k* yang terhubung pada data akuisisi *NI-DAQ USB 6008* diletakan pada 3 posisi, yaitu: aliran masuk *liquid cold plate*, aliran keluar *liquid cold plate*, dan setelah keluar *liquid cold plate*. Data hasil pengukuran suhu akan terbaca menggunakan *software Lab VIEW*. Titik – titik penempatan sensor *thermistor* NTC dan termokopel dapat dilihat pada Gambar 2. Suhu dari baterai pada setiap titik dan juga suhu pada fluida akan diambil rata-ratanya agar kemudian dapat dihitung nilai koefisien konveksi.

Gambar 2. Posisi sensor *thermistor* NTC.

Pada dasarnya, prinsip kerja dari percobaan ini adalah proses menjaga temperatur baterai menggunakan fluida akuades dengan kecepatan 0,2 liter per menit dan 0,4 liter per menit. Cairan yang digunakan akan ditampung pada bagian *water reservoir*, yang kemudian akan dialirkan menggunakan pompa menuju *liquid cold plate*. Baterai akan dikosongkan sesuai dengan *cut off voltage* yang telah diatur dengan menggunakan *DC loader* sementara fluida tetap dialirkan. Fluida yang mengalir keluar dari komponen *liquid cold plate* akan dialirkan menuju *heat exchanger* untuk proses pendinginan. Aliran fluida akan menuju kembali ke *water reservoir* untuk dialirkan kembali menuju *liquid cold plate*. Setelah mencapai *cut off voltage* yang diinginkan, baterai akan kembali diisi menggunakan *Power Supply Unit*.



Gambar 3. Fasilitas Eksperimen

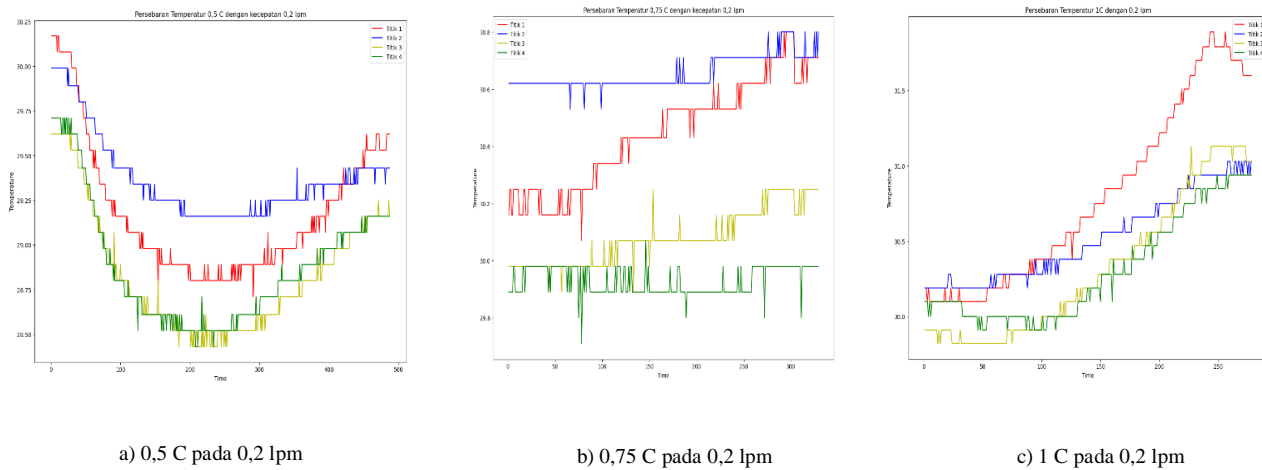
3. Hasil dan Pembahasan

Tahapan awal dari penelitian ini adalah adalah menguji performa dari baterai tanpa adanya aliran fluida yang mengalir dengan *cutoff voltage* sebesar 70 V dan menggunakan tiga jenis variasi *discharge rate*, yaitu: 0,5C, 0,75C, dan 1C. Pada penelitian ini titik 2 dan titik 4 akan dipakai sebagai sampel untuk aliran masuk dan keluar dari *liquid cold plate*. Pada tahapan ini juga akan diobservasi apakah selisih temperatur dari keempat sensor pada baterai memiliki selisih lebih dari 5 °C dan hasilnya tidak ada selisih yang lebih besar dari nilai itu. Jumlah kalor baterai yang digunakan akan berdasarkan jumlah kalor baterai yang berhasil dihitung berdasarkan *heat flux* tanpa fluida. Nilai *heat flux* tanpa fluida bertambah seiring dengan dinaikkannya nilai dari *C rate*. Nilai dari *heat rate* dari setiap variasi *discharge rate* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Heat Rate Dari Setiap Discharge.

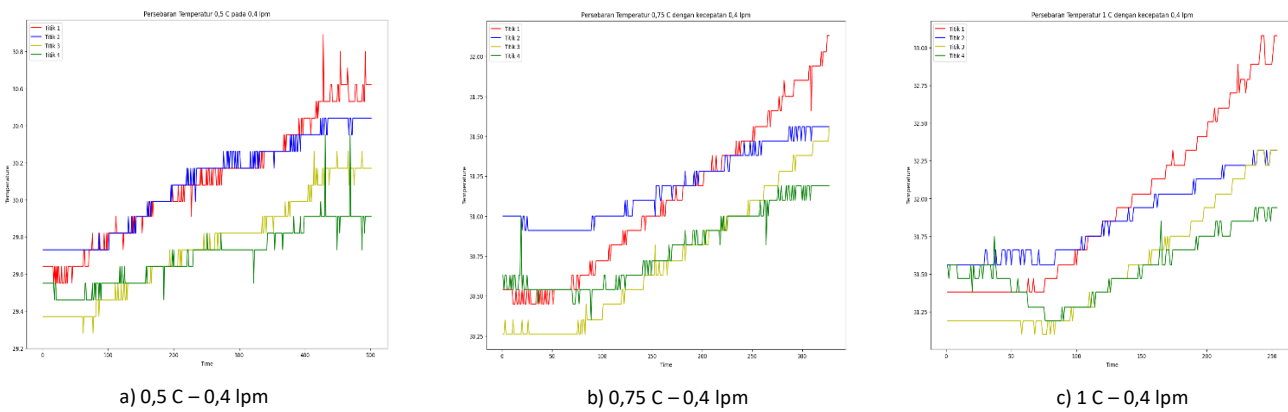
C rate	Heat Rate masuk (W)	Heat Rate keluar (W)	Heat Flux masuk (W/m ²)	Heat Flux keluar (W/m ²)	Temperatur masuk	Temperatur keluar
0,5	0,0651	0,0652	17,567	17,537	31,769	31,5381
0,75	0,1353	0,1352	36,440	36,411	32,13	31,986
1	0,2296	0,2294	61,814	61,757	31,646	31,431

Tahapan selanjutnya dari penelitian adalah dengan mengalirkan aliran fluida dengan kecepatan 0,2 liter per menit pada *discharge rate* 0,5C, 0,75C dan 1C. Persebaran temperatur pada baterai tetap diobservasi, dimana dari ketiga C rate, 1C tetap memiliki temperatur yang paling tinggi. Pada *discharge rate* 0,5C, temperatur sempat mengalami penurunan sebelum akhirnya naik dan pada titiik 2 dan 4, temperatur mencapai 29,37 °C dan 29,87 °C secara berurutan. Persebaran temperatur baterai pada *discharge rate* 0,75C mengalami kenaikan temperatur yang tidak terlalu signifikan dimana rata-rata temperatur pada titik masuk dan titik keluar adalah 29,65 °C dan 29,92 °C secara berurutan. Sedangkan pada 1C, temperatur pada baterai sempat mengalami kenaikan suhu sampai 32,89 °C, sebelum akhirnya menurun. Pada C rate ini, temperatur pada titik masuk dan titik keluar adalah 30,51 °C dan 30,302 °C.



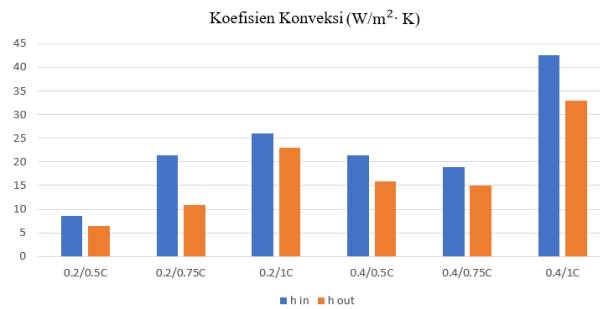
Gambar 4. Persebaran Temperatur Dari Setiap C Rate Pada 0,2 lpm

Variasi laju volumetrik fluida yang selanjutnya adalah 0,4 liter per menit dengan variasi C rate 0,5 C, 0,75 C, dan 1 C. Berdasarkan hasil observasi, pada 0,5 C, temperatur baterai mengalami kenaikan yang bertahap dimana titik masuk dan titik keluar baterai memiliki temperatur 29,066 °C dan 30,682 °C secara berurutan. Pada variasi C rate 0,75, tren kenaikan temperatur pada baterai sama seperti variasi sebelumnya, dan besaran temperatur titik masuk dan keluar adalah 31,187 °C dan 30,794 °C secara berurutan. Sedangkan pada variasi C rate 1C, temperatur naik secara signifikan dimana temperatur pada titik masuk dan titik keluar adalah 31,842 °C dan 31,525 °C secara berurutan. Secara keseluruhan, fenomena kenaikan suhu ketika menggunakan *liquid cold plate* yang baru dirancang adalah sama dan suhu baterai berhasil dikontrol agar tidak meningkat melebihi 35 °C.



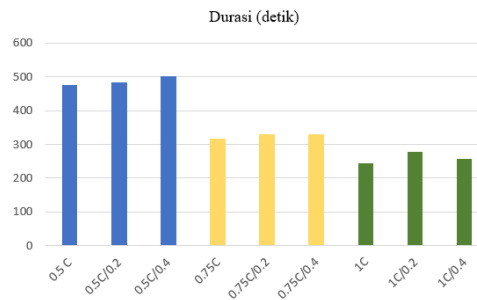
Gambar 5. Persebaran temperatur dari setiap C rate pada 0,4 lpm

Nilai koefisien konveksi dari setiap variasi C rate dan laju volumetri fluida akan diobservasi dimana dalam kecepatan yang sama nilai dari h akan bertambah seiring dengan bertambahnya laju pengosongan baterai. Tetapi, secara umum nilai dari koefisien konveksi pada titik masuk lebih besar dibandingkan dengan nilai dari titik keluar fluida. Nilai dari koefisien temperatur tertinggi dari semua variasi adalah pada discharge rate 1C dengan kecepatan fluida 0,4 liter permenit dengan nilai lebih dari 42 ($W/m^2 \cdot K$) sedangkan nilai terendah dapat di observasi pada kecepatan 0,2 liter per menit dengan laju pengosongan 0,5C dengan nilai sekitar 7 ($W/m^2 \cdot K$). Pada variasi laju aliran 0,4 liter per menit, nilai koefisien konveksi dari laju alirang pengosongan 0,75 C mengalami penurunan pada titik masuk fluida dan titik keluar fluida. Peningkatan nilai koefisien konveksi secara keseluruhan disebabkan oleh temperatur yang dihasilkan baterai.



Gambar 6. Perbandingan Nilai Koefisien Konveksi Dari Setiap Variasi

Lama durasi dari baterai pada variasi *discharge rate* 0,5 C meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran fluida, dengan durasi paling lama adalah lebih dari 500 detik. Pada variasi *discharge rate* 0,75 C, terdapat pertambahan durasi baterai pada kecepatan 0,2 liter per menit dan 0,4 liter per menit dengan durasi paling lama adalah 330 detik. Variasi terakhir, yaitu 1C, juga mengalami tren yang sama meskipun durasi pemakaian baterai antara 0,2 liter per menit tidak berbeda jauh dengan durasi pemakaian baterai ketika dialirkan fluida dengan kecepatan 0,4 liter per menit. Faktor yang mempengaruhi lama durasi baterai adalah temperatur, karena seiring dengan bertambahnya jumlah temperatur pada baterai, maka baterai akan habis dengan cepat. Dalam hal ini, rata-rata *heat transfer coefficient* yang ada pada sistem pendingin model ini lebih tinggi daripada model sebelumnya. Perbandingan durasi dari semua variasi yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Durasi Dari Setiap Variasi

4. Kesimpulan

Pengaruh temperatur pada sistem pendingin baterai secara tidak langsung sangat penting dan dalam studi ini, nilai dari koefisien konveksi dari model liquid cold plate yang baru akan dianalisa. Berdasarkan penelitian yang menggunakan 24 baterai lithium-ion yang disusun secara seri kita dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu, kecepatan fluida mempengaruhi nilai koefisien konveksi dari setiap variasi *discharge rate* pada baterai, meningkatnya *discharge rate* akan meningkatkan nilai koefisien konveksi. Durasi pemakaian baterai umumnya meningkat seiring dengan meningkatnya laju volumetrik fluida. Secara keseluruhan, penggunaan sistem pendingin berbasis fluida akan meningkatkan durasi pemakaian baterai jika dibandingkan dengan penggunaan baterai tanpa fluida. Hal ini dikarenakan temperatur baterai yang tidak naik secara signifikan.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini sebagian didanai oleh hibah penelitian Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Indonesia Tahun 2022 dan 2023.

References

- [1] Grunditz, E. A., & Thiringer, T., 2016, Performance analysis of current BEVs based on a comprehensive review of specifications. In IEEE Transactions on Transportation Electrification (Vol. 2, Issue 3, pp. 270–289). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- [2] IEA, 2022, Global EV Outlook 2022. www.iea.org. (diakses pada tanggal 29 Oktober 2022).
- [3] Diaz, B. L., He, Xuanze., Hu, Hu, Zhenwen., Restuccia, F., Marinescu, M., Barreras, J. V., Patel, Y., Offer, G., & Rein, Guillermo, 2020, Review-Meta-Review of Fire Safety of Lithium-Ion Batteries: Industry Challenges and Research Contributions. Journal of The Electrochemical Society, 167.
- [4] Lee, M.-Y., Seo, J.-H., Suresh Patil, M., Kim, D.-W., & Bang, Y.-M., 2017, Numerical Study on the Cooling Performances of Various Cooling Methods for Laminated Type Battery ACTS-P00363 <https://www.researchgate.net/publication/315715410>.
- [5] Reddy, T. B., Linden, D., 2011, LINDEN'S HANDBOOK OF BATTERIES.
- [6] Roe, C., Feng, X., White, G., Li, R., Wang, H., Rui, X., Li, C., Zhang, F., Null, V., Parkes, M., Patel, Y., Wang, Y., Wang, H., Ouyang, M., Offer, G., & Wu, B., 2022, Immersion cooling for lithium-ion batteries – A review. In Journal of Power Sources (Vol. 525). Elsevier B.V.
- [7] Liu, X., Ren, D., Hsu, H., Feng, X., Xu, G.L., Zhuang, M., Gao, H., Lu, L., Han, X., Chu, Z., Li, J., He, X., Amine, K., & Ouyang, M., 2018, Thermal Runaway of Lithium-Ion Batteries without Internal Short Circuit. Joule (2047–2064). Elsevier Inc.
- [8] Jiang, J., Zhang, C., 2015 FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS OF LITHIUM-ION BATTERIES IN ELECTRIC DRIVE VEHICLES. WILEY.
- [9] Akbarzadeh, M., Jaguemont, J., Kalogiannis, T., Karimi, D., He, J., Jin, L., Xie, P., van Mierlo, J., & Bercibar, M., 2021, A novel liquid cooling plate concept for thermal management of lithium-ion batteries in electric vehicles. Energy Conversion and Management, 231.
- [10] Akbarzadeh, M., Kalogiannis, T., Jaguemont, J., Jin, L., Behi, H., Karimi, D., Beheshti, H., van Mierlo, J., & Bercibar, M., 2021, A comparative study between air cooling and liquid cooling thermal management systems for a high-energy lithium-ion battery module. Applied Thermal Engineering, 198.
- [11] Zhang, C., Huang, J., Sun, W., Xu, X., & Li, Y., 2022, Research on the Influence of Liquid on Heat Dissipation and Heating Characteristics of Lithium-Ion Battery Thermal Management System. World Electric Vehicle Journal, 13(4).
- [12] Chen, D., Jiang, J., Kim, G. H., Yang, C., & Pesaran, A., 2016, Comparison of different cooling methods for lithium-ion battery cells. Applied Thermal Engineering, 94, 846–854.
- [13] Pistoia, G., & Liaw, B. (n.d.). Green Energy and Technology Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles. <http://www.springer.com/series/8059>
- [14] Bernardi, D., Pawlikowski, E., Newman, J., 1985, A General Energy Balance for Battery Systems. ms. Journal of The Electrochemical Society, 132(2).
- [15] Jeon, D. H., dan Baek, S. M., 2011, Thermal modeling of cylindrical lithium-ion battery during discharge cycle. Energy Conversion and Management, 52(8–9), 2973–2981.
- [16] Sun, J.; Wei, G.; Pei, L.; Lu, R.; Song, K.; Wu, C.; Zhu, C. Online internal temperature estimation for lithium-ion batteries based on kalman filter. Energies 2015, 8, 4400–4415.
- [17] Dong, F., Cheng, Z., Zhu, J., Song, D., & Ni, J., 2021, Investigation and optimization on cooling performance of a novel double helix structure for cylindrical lithium-ion batteries. Applied Thermal Engineering, 189.