

Modifikasi battery thermal management system (BTMS) pendinginan udara terhadap distribusi temperatur susunan baterai lithium-ion 18650

A.Grummy Wailanduw^{a,1}, Diastian Vinaya Wijanarko^b

^{a,b}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 60231

¹grummywailanduw@unesa.ac.id

ABSTRACT

Recently, electric vehicles have increasingly developed, both in terms of quantity and in terms of technological quality. This type of vehicle technology has 3 (three) core components, one of which is the battery unit. As the main driving source, this battery component needs special attention. The performance of this component is very dependent on the temperature factors that arise when working. Related to this, each battery arrangement is equipped with a battery thermal management system (BTMS) to control the cooling in this arrangement to work optimally. Much research has been carried out on optimizing the BTM system's cooling, starting from variations in battery materials, battery formation, variations in battery shape, cooling flow methods, and the type of fluid used. The techniques used also vary, experimentally, numerically, or a combination of both. This research was carried out on a battery pack with a 4x5 in-line arrangement for cylindrical 18650 batteries. Variations were made in the shape of the channel (inlet and outlet), especially on the closed-end side of the BTMS, namely the flat shape ($\alpha=0^\circ$) and the convergent-divergent shape at the inlet and outlet with angles $\alpha=5^\circ$ and $\alpha=10^\circ$. Through the 3-D steady simulation method with the help of Fluent 6.3 software, the velocity path-line and temperature distribution for each modification can be determined. The results show that the flat channel shape ($\alpha=0^\circ$) has the largest temperature deviation, next is the angle $\alpha=5^\circ$, and the smallest is $\alpha=10^\circ$. Judging from the pressure drop, the flat channel shape has the smallest magnitude, next is the angle $\alpha=5^\circ$, and the largest $\alpha=10^\circ$. Based on the results of this research, it is concluded that flat channel shapes for the inlet and outlet channels are more effective in the BTMS cooling system.

Keywords: battery thermal management systems, distribusi temperatur, battery, lithium-ion 18650

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590809

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor di dunia, termasuk di Indonesia selama ini menggunakan bahan bakar minyak (BBM) sebagai sumber tenaganya, beberapa tahun belakangan ini sudah mulai diarahkan ke penggunaan sumber tenaga yang lain, seperti: hibrida (kombinasi BBM dan listrik) dan listrik seutuhnya. Bahkan menurut Luhut Binsar [1], pada tahun 2035 pemerintah Indonesia sudah tidak menerbitkan izin produksi kendaraan berbahan bakar minyak. Hal ini dikarenakan pembakaran bahan bakar dalam kendaraan bermotor ini menimbulkan asap dan mengakibatkan polusi udara, meningkatkan efek rumah kaca dan mengakibatkan pemanasan global (*global warming*).

Penjualan kendaraan bermotor khususnya kendaraan listrik pada tahun 2023 berdasarkan data dari Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo) sebanyak 17.038 unit atau 1,69 % dari total penjualan mobil nasional 1.005.802 unit [2]. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat sudah mulai tertarik pada kendaraan listrik, apalagi didukung adanya kebijakan dari pemerintah, seperti: pengurangan PPN untuk kendaraan pribadi dan telah dipikirkan juga untuk kendaraan umum, memberikan kemudahan

kepada pihak pabrikan mobil listrik asing untuk berinvestasi di Indonesia, adanya insentif tambahan bagi pabrikan apabila menggunakan tingkat kandungan dalam negeri (TKDN) khususnya bahan baterai yang lebih besar, juga adanya dukungan dari PLN terkait pengembangan aplikasi PLN mobile dan kerjasama dengan swasta untuk penyiapan stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU).

Teknologi kendaraan listrik, khususnya mobil listrik (*battery electric vehicle*) memiliki 3 (tiga) komponen inti, yaitu: unit motor, unit baterai, dan unit inverter. Jenis baterai yang digunakan pada mobil listrik pada umumnya adalah lithium ion. Peneliti [3] menjelaskan bahwa baterai lithium ion memenuhi kesesuaian dengan penerapannya, seperti specific energy besar, sedikit efek memory, dan pengosongan diri lambat. Selanjutnya peneliti lainnya [4 dan 5] lebih memerinci karakteristik baterai lithium ion, yaitu: lebih ringan, energi yang sangat tinggi, massa jenis tekan, daya tahan lebih lama, perawatan yang sederhana, unjuk kerja lebih baik, laju pengosongan diri rendah, laju pengisian dan pengosongan lebih tinggi dibanding jenis baterai lainnya.

Berdasarkan hasil penelitian dari [6] terhadap 4 (empat) jenis baterai, yaitu: LiFePO₄, NiMH, Pb, dan

NiCd secara simulasi terkait karakteristik pengisian dan pengosongan. Karakteristik ini ditentukan melalui: kuat arus pengisian dengan menggunakan baterai charger, besaran perubahan suhu yang terjadi pengisian, dan diterapkan pada mobil hybrid. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa baterai LiFePO₄ (Lithium Iron Posphat) memiliki kelebihan dalam hal kecepatan pengisian, lebih cepat dalam pengisian, dan lebih efisien. Sedangkan kekurangan dari baterai LiFePO₄ ini lebih cepat panas, artinya kenaikan suhu dalam baterai lebih cepat. Sementara itu hasil penelitian [7] yang meneliti kondisi baterai (SOH) dikaitkan dengan suhu sekeliling, dimana suhu berpengaruh besar terhadap reaksi kimia dan laju konsumsi energi dari baterai lithium. Apabila suhu sekeliling lebih rendah dari suhu normal, berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan kapasitas baterai dibanding pada suhu yang normal 25⁰ C.

Menurut [8] kinerja baterai dan ketahanan dari sel baterai lithium ion suhu operasi yang terbaik antara 15-35⁰ C (25-45⁰ C) dan [9] menjelaskan lebih lanjut bahwa perbedaan suhu dijaga 5⁰C. Untuk mengontrol suhu baterai di dalam mobil listrik terdapat *battery thermal management system* (BTMS).

Sistem pendingin yang diterapkan pada baterai mobil listrik ada 4 (empat) macam: sistem pendingin udara (*air cooling*), sistem pendingin cair (*liquid cooling*), dan sistem pendingin refrigerant (*refrigerant cooling*) atau *phase change material* (PCM) *cooling system* [5] ditambah lagi dengan *heat pipe type cooling system* [9]. Dari keempat sistem pendinginan di atas, yang banyak digunakan adalah pendinginan udara (*air cooling*). Sistem pendinginan udara memiliki kelebihan, seperti: struktur sederhana, lebih ringan, tidak menimbulkan gas yang berbahaya jika ada kebocoran, efektif dalam ventilasi, dan biayanya rendah. Sementara kelemahan dari pendinginan udara: koefisien perpindahan panas antara dinding dengan baterai rendah, kecepatan pendinginan dan pemanasan lambat [9 dan 10].

Menurut hasil penelitian dari [9] model ventilasi pada sistem pendinginan udara ada 2 (dua), yaitu: susunan parallel dan susunan seri, dimana model pertama memiliki pengaruh besar terhadap konsistensi suhu dan lebih bagus dibanding dalam hal pengeluaran panas, sedangkan dibanding sistem pendinginan cairan lebih baik dalam hal pengeluaran panas, dan konsistensi suhu baterai lebih kecil.

Penelitian sebelumnya yang menggunakan pendinginan udara (*air cooling*) pada susunan baterai sudah banyak dilakukan, seperti yang dilakukan peneliti [11 dan 12] yang memfokuskan pada sistem pendinginan udara alami (*natural convection*).

Sementara peneliti lainnya [13 dan 14] pada sistem pendinginan udara paksa (*forced convection*). Sedangkan peneliti [15 dan 16] meneliti sistem pendinginan udara alami dan paksa.

Penelitian terkait dengan konfigurasi susunan baterai dan penempatan posisi saluran masuk dan keluar telah dilakukan oleh [11] dengan memvariasi konfigurasi susunan baterai 1x20, 2x10, dan 4x5, dimana hasilnya menunjukkan bahwa konfigurasi in-line 4x5 memiliki efek pendinginan yang lebih bagus dibandingkan dengan dua konfigurasi lainnya. Sementara terkait dengan penempatan posisi saluran masuk dan keluar didapatkan posisi kombinasi sejajar dan tegak lurus, kedua-duanya sejajar, ataupun kedua-duanya tegak lurus memiliki pengeluaran panas yang terbaik. Selanjutnya penelitian terkait dengan modifikasi bentuk saluran masuk dan saluran keluar dari susunan baterai pack pada sistem *battery thermal management system* (BTMS) telah dilakukan oleh peneliti [12], dan hasilnya menunjukkan bahwa modifikasi pada saluran masuk saja lebih efektif dibandingkan modifikasi pada saluran keluar saja maupun pada kedua-duanya, saluran masuk dan keluar, untuk pendinginan BTMS. Penelitian ini dilakukan pada susunan baterai pack yang baterainya berbentuk *prismatic* dan *pouch*.

Penelitian ini melanjutkan dari peneliti [11] dan [12], yakni pada sistem pendinginan udara alami model parallel yang konfigurasi susunan baterai packnya *in-line* 4x5, tetapi pada baterai yang bentuknya silinder (*cylindrical*) dengan menggunakan metode simulasi. Modifikasi dilakukan pada bentuk saluran masuk dan keluar untuk melihat distribusi temperatur, *velocity pathline* disekeliling susunan baterai, dan deviasi temperatur serta *pressure drop* antara kedua saluran.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD) dengan menggunakan persamaan pengendali *Navier-Stokes* (N-S equations) 3-D *steady state*. Bentuk persamaan pengendali untuk aliran fluida sebagai berikut:

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2a)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2b)$$

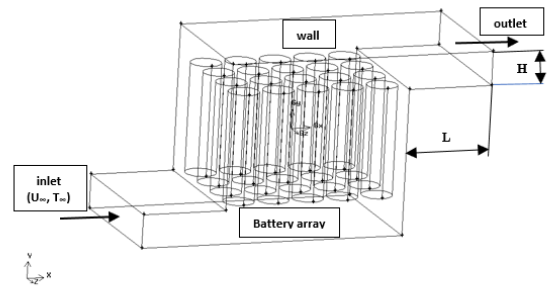
$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2c)$$

Persamaan Energi:

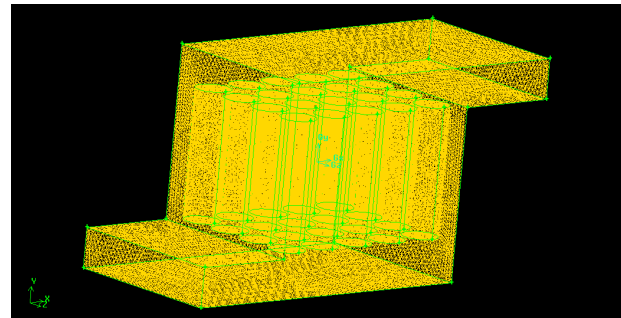
$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{Pr} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

Langkah-langkah menggunakan pemodelan numerik sebagai berikut:

1. Membuat *geometry set-up* dalam bentuk tiga dimensi (3-D), untuk susunan in-line 4x5 silinder sirkular. Setiap baterai memiliki dimensi diameter 18 mm dan tinggi 65 mm, jarak antar baterai dan jarak antar dinding dengan baterai 3 mm. Panjang (L) dan tinggi (H) dari saluran masuk (inlet) dan saluran keluar (outlet) masing-masing 50 mm dan 20 mm
2. Membuat *mesh* tiga dimensi dalam bentuk *T-grid*.
3. Menentukan *boundary condition* dari domain yang dibuat. Kecepatan dan temperatur udara masuk (inlet) masing-masing 1 m/s dan 27^o C. Temperatur rata-rata dinding masing-masing baterai diasumsikan 60^o C
4. Memilih teknik untuk iterasi, yaitu menggunakan *pressure velocity coupling SIMPLE* dan diskretisasi menggunakan *second order upwind* agar menghasilkan akurasi dan *stability* yang tinggi.
5. Melakukan proses iterasi dengan menggunakan pemodelan *Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS)*. Memilih model turbulensi yang akan digunakan, yaitu *k - ω SST* karena menurut [18] model tersebut lebih akurat untuk daerah *viscous sublayer* dan memprediksi pengaruh *adverse pressure gradient* seperti silinder sirkular.
6. Melakukan *post processing* dari hasil iterasi. Melalui *post processing* ini dapat diperoleh informasi tentang distribusi *velocity pathline* dan *temperature profile*.
7. Melakukan langkah pertama sampai keenam untuk modifikasi saluran inlet dan outlet dengan sudut $\alpha = 0^0 - 10^0$ dengan interval 5^o, melalui pengurangan ketinggian (H) pada sisi ujung saluran inlet dan outlet yang tertutup.



Gambar 1. Geometri set-up tiga dimensi dan Domain komputasi



Gambar 2. Meshing 3-D dengan bentuk T-grid

HASIL DAN PEMBAHASAN

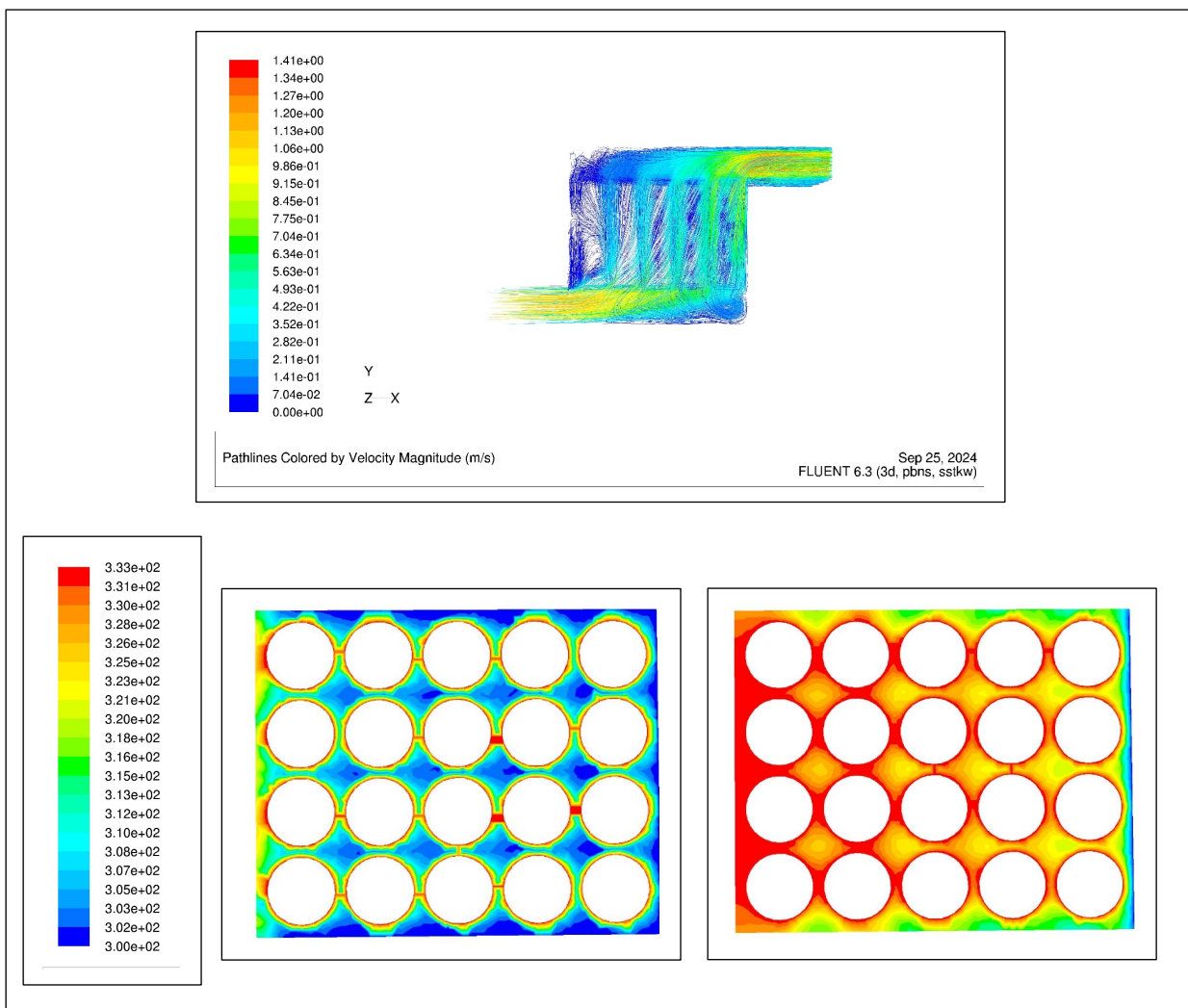
Gambar 3, 4, dan 5 masing-masing menunjukkan *velocity pathline* pada saluran masuk dan keluar, dan distribusi temperatur pada sisi masuk dan keluar dari susunan baterai pada sudut $\alpha = 0^0, 5^0, \text{ dan } 10^0$. Melalui gambar 3 terlihat bahwa dengan bentuk saluran masuk datar ($\alpha = 0^0$), menunjukkan kecepatan aliran udara mengalami penurunan dari pintu masuk sampai dengan ujung tertutup dari saluran masuk, sementara pada saluran keluar aliran udara mengalami peningkatan kecepatan dari ujung tertutup dari saluran keluar sampai dengan pintu keluar. Penurunan kecepatan di saluran masuk ini berdampak terhadap kesempatan aliran udara ke atas dan memasuki kolom-kolom dari susunan baterai untuk melakukan pendinginan. Terlihat melalui distribusi temperatur pada sisi masuk susunan baterai, dimana kolom pertama dari susunan baterai dengan dinding sudah terjadi proses perpindahan panas. Sedangkan kolom-kolom susunan baterai berikutnya proses perpindahan panas relatif sedikit, artinya pendinginan relatif lebih kecil.

Sedangkan gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan *velocity pathline* dan distribusi temperatur pada saluran masuk dan saluran keluar yang dimodifikasi, masing-masing sebesar $\alpha = 5^0$ dan 10^0 . Modifikasi dilakukan pada sisi ujung tertutup dari

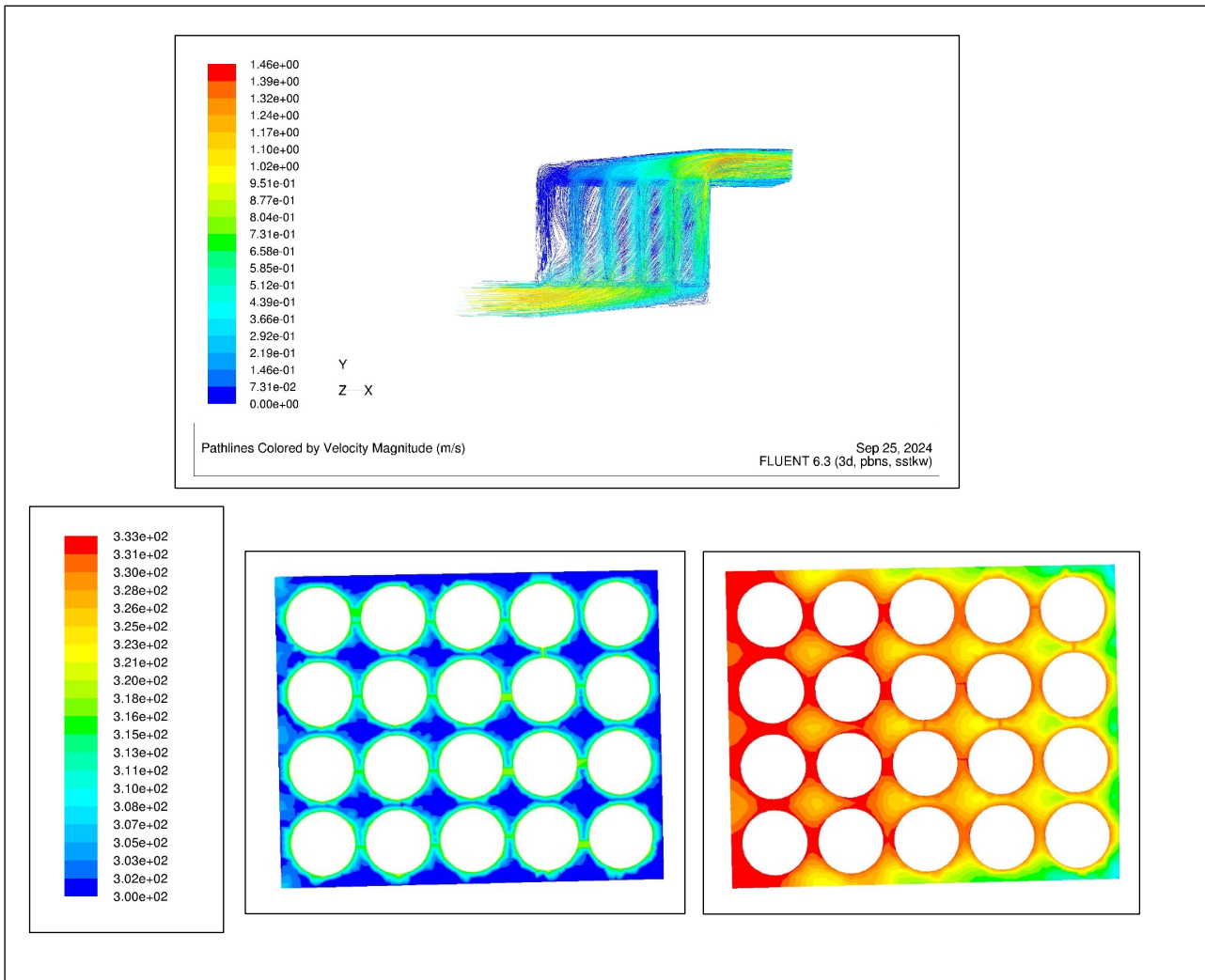
saluran masuk dan saluran keluar. Melalui *velocity pathline* dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa pengurangan ketinggian pada sisi ujung tertutup mengakibatkan penurunan kecepatan aliran yang terjadi di saluran masuk menjadi lebih kecil. Semakin besar sudut α -nya atau pengurangan ketinggiannya semakin besar, kecepatan aliran pada saluran masuk menjadi semakin meningkat, dan ini berdampak terhadap kesempatan aliran ke atas menuju kolom-kolom susunan baterai untuk melaksanakan proses pendinginan menjadi berkurang. Melalui gambar distribusi temperatur pada sisi masuk terlihat bahwa belum terjadi proses pendinginan, terutama pada kolom pertama maupun pada kolom berikutnya dari susunan baterai dengan dinding belum terjadi.

ini juga ditunjukkan dari besaran temperatur yang keluar melalui saluran keluar (Tabel 1). Melalui tabel tersebut terlihat bahwa pada saluran keluar datar, $\alpha=0^0$, besaran temperaturnya paling rendah dibandingkan dengan sudut 5^0 ataupun 10^0 , sementara temperatur keluar yang terbesar terjadi pada $\alpha=10^0$. Selain itu dari tabel 1 juga terlihat besaran deviasi temperatur, perbedaan temperatur masuk dan temperatur keluar saluran, pada ketiga kondisi saluran. Deviasi temperatur terbesar dihasilkan dari modifikasi saluran 0^0 , berikutnya 5^0 dan yang terkecil 10^0 . Hasil yang serupa juga diperoleh dari peneliti [12] bahwa dengan memodifikasi saluran akan memberikan optimasi pendinginan dari susunan baterai pack.

Dampak dari kesempatan aliran untuk mengalir ke atas dan melakukan pendinginan pada susunan baterai



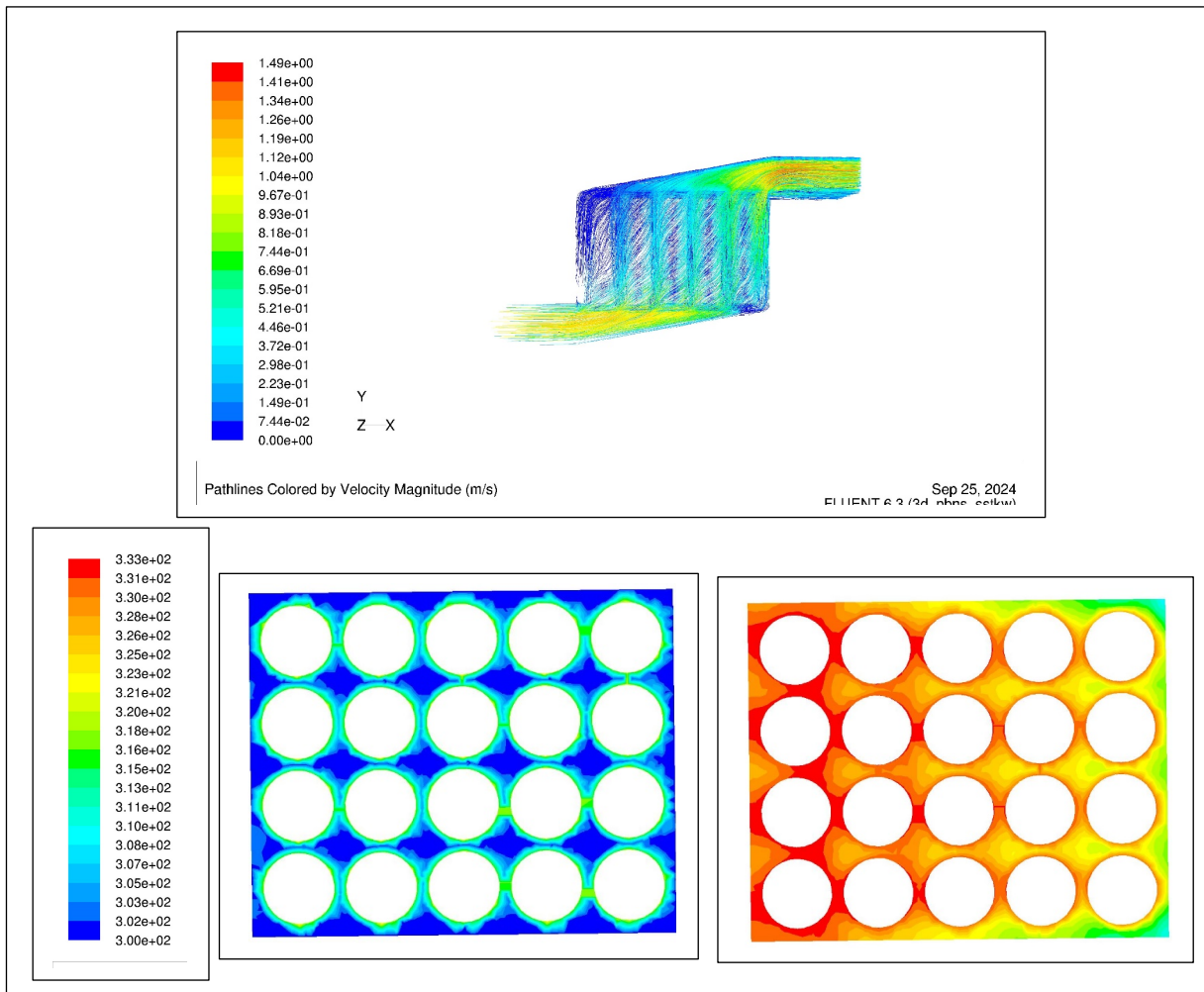
Gambar 3. Distribusi temperatur pada saluran inlet dan outlet, dan susunan baterai pada sudut $\alpha=0^0$



Gambar 4. Distribusi temperatur pada saluran inlet dan outlet, dan susunan baterai pada sudut $\alpha= 5^0$

Kecepatan aliran untuk mendinginkan susunan baterai pack ini juga ditunjukkan dari perbedaan besaran tekanan pada sisi masuk dan sisi keluar (Tabel 2). Melalui tabel ini terlihat bahwa tekanan pada sisi masuk dari saluran datar ($\alpha= 0^0$) memiliki besaran yang lebih kecil dibandingkan kedua modifikasi lainnya, dimana sudut modifikasi yang terbesar juga memiliki tekanan yang terbesar. Sementara tekanan yang terjadi pada sisi keluar dari saluran datar ($\alpha= 0^0$) memiliki besaran yang lebih besar dibandingkan dengan kedua saluran yang dimodifikasi. Besaran tekanan pada sisi keluar yang paling rendah dihasilkan pada sudut modifikasi yang terbesar. Selain itu tabel tersebut juga memberikan informasi terkait dengan pressure drop yang terjadi pada ketiga macam kondisi saluran, dimana pressure drop yang terendah dihasilkan dari saluran datar atau 0^0 . Ini menunjukkan dengan adanya modifikasi terhadap saluran menyebabkan kenaikan pada

tekanan, sehingga mengakibatkan kecepatan aliran menjadi terganggu.



Gambar 5. Distribusi temperatur pada saluran inlet dan outlet, dan susunan baterai pada sudut $\alpha = 10^\circ$

Tabel 1. Perbedaan temperatur antar saluran inlet dan outlet pada setiap modifikasi

Modifikasi α ($^\circ$)	Inlet (K)	Outlet (K)	Deviasi (K)
0	300	319.5	13.5
5	300	321.1	11.9
10	300	322	11

Tabel 2. Perbedaan tekanan antar saluran inlet dan outlet pada setiap modifikasi

Modifikasi α ($^\circ$)	Inlet (Pa)	Outlet (Pa)
0	0.4113	-1.2978
5	0.5139	-1.3366
10	0.7726	-1.3557

KESIMPULAN

Pengaruh modifikasi saluran pada sistem *battery thermal management* (BTM) terhadap distribusi temperatur susunan baterai diteliti menggunakan metode simulasi numerik. Hasil yang diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut:

Modifikasi saluran masuk dan saluran keluar dengan menerapkan di sisi ujung tertutup pada sudut $\alpha = 0^\circ, 5^\circ$, dan 10° .

Distribusi temperatur pada sisi masuk dan sisi keluar susunan baterai dengan sudut $\alpha = 0^\circ$ memiliki deviasi

temperatur yang lebih besar dibandingkan dengan sudut $\alpha = 5^{\circ}$, dan 10° .

Kecepatan aliran pada saluran masuk dan saluran keluar dengan sudut $\alpha = 0^{\circ}$ memiliki besaran yang lebih rendah dibandingkan dengan sudut $\alpha = 5^{\circ}$, dan 10° .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada panitia SNTTM XXII, Unkhair Ternate, yang telah membantu mempublikasikan artikel ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis pertama berkontribusi dalam menulis original paper, mereview, membuat gambar, pengambilan data, pengolahan data, menganalisis data.

Penulis kedua berkontribusi dalam membuat gambar, pengambilan data, pengolahan data, menganalisis data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia (2024), Dukung swasta bangun fasilitas kendaraan listrik komersil, Menhub: Percepatan transformasi kendaraan listrik segera terwujud, <https://dephub.go.id/post/read/dukung-swasta-bangun-fasilitas-kendaraan-listrik-komersil-menhub--percepatan-transformasi-kendaraan-listrik-segera-terwujud>.
- [2] Kompas, 15 Februari 2024, Masa depan otomotif Indonesia adalah mobil listrik, <https://www.kompas.id/baca/ekonomi/2024/02/15/masa-depan-otomotif-indonesia-adalah-mobil-listrik>.
- [3] Omar, N., Daowd, M., Hegazy, O., Mulder, G., Timmermans, J.M., Coosemans, T., Bossche, P.V., Mierlo, J.V., (2012), Standardization work for BEV and HEV applications: Critical appraisal of recent traction battery documents, Article, *Energies*, Volume: 5, p. 138-156.
- [4] Uzair, M., Abbas, G., Hosain, S., (2021), Characteristics of battery management systems of electric vehicles with consideration of the active and passive cell balancing process, Review, *World Electric Vehicle Journal*, Volume: 12, p. 120.
- [5] Liu, G., Zhang, L., (2021), Research on the thermal characteristics of an 18650 Lithium ion battery based on an electrochemical-thermal flow coupling model, Article, *World Electric Vehicle Journal*, Volume: 12, p. 250.
- [6] Ekici, Y.E., Tan, N., (2019), Charge and discharge characteristics of different types of batteries on a hybrid electric vehicle model and selection of suitable battery type for electric vehicles, *International Journal of Automotive Science and Technology*, Volume: 3, No. 4, p. 62-70.
- [7] Li, X., Wang, T., Wu, C., Tian, J., Tian, Y., (2021), Battery pack state of health prediction based on the electric vehicle management platform data, Article, *World Electric Vehicle Journal*, Volume: 12, p. 204.
- [8] Zhang, S., Hosen, M.S., Kalogiannis, T., Mierlo, J.V., Berecibar, M., (2021), State of health estimation of lithium ion batteries based on electrochemical impedance spectroscopy and backpropagation neural network, Article, *World Electric Vehicle Journal*, Volume: 12, p. 156.
- [9] Wang, X., Liu, S., Zhang, Y., Shuaishuai, Ni, H., Deng, Y., Yuan, Y., (2022), A review of the power battery thermal management system with different cooling, heating and coupling system, Review, *Energies*, Volume: 15, p. 1963.
- [10] Wang, Y., Gao, Q., Wang, G., Lu, P., Zhao, M., Bao, W., (2018), A review on research status and key technologies of battery thermal management and its enhanced safety, Review Paper, *International Journal of Energy Research*, Volume: . p. 1-26.
- [11] Peng, X., Cui, X., Liao, X., Garg, A., (2020), A thermal investigation and optimization of an air cooled lithium ion battery pack, Article, *Energies*, Volume: 13, p. 2956.
- [12] Chen, K., Li, Z., Chen, Y., Long, S., Hou, J., Song, M., Wang S., (2017), Design of parallel air cooled battery thermal management system through numerical study, Article, *Energies*, Volume: 10, p. 1677.
- [13] Park, H., (2013), A design of air flow configuration for cooling lithium ion battery in hybrid electric vehicles, *Journal of Power Sources*, Volume: 239, p. 30-36.
- [14] Wang, T., Tseng, K.J., Zhao, J., (2015), Development of efficient air cooling strategies for lithium ion battery module based on empirical heat source model, *Applied Thermal*

Engineering, Volume: 90, p. 521-529.

- [15] Liebig, G., Kirstein, U., Geibendorfer, S., Schuldt, F. and Agert, C., (2020), The impact of environmental factors of a lithium ion battery, *Batteries*, Volume: 6, p. 3.
- [16] Pan, S., Ji, C., Wang, S., Wang, B., (2020), Study on performance of parallel air cooled structure and optimized design for lithium ion battery module, *Fire technology*, Volume: 56, p. 2623-2647.
- [17] Lelie, M., Braun, T., Knips, M., Nordmann, H., Ringbeck, F., Zappen, H., Sauer, D.U., (2018), Battery management system hardware concepts: An Overview, Article, *Applied Sciences*, Volume: 8, p. 534.
- [18] Wilcox, D.C. and others, (1998), Turbulence for modeling CFD, vol. 2, DCW industries LA, Canada