

## Analisis Manajemen Termal *Cylindrical Battery Pack* Li-Ion 18650 Secara Konveksi Paksa Dengan Variasi Temperatur Inlet dan Laju Aliran Udara Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Ignatius Sunu Sudibyo<sup>1</sup>, Berkah Fajar T. K.<sup>2</sup>, M. S. K. Tony Suryo Utomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [ignatiussunus@gmail.com](mailto:ignatiussunus@gmail.com)

### Abstrak

Baterai lithium-ion sebagai sistem penyimpanan energi adalah kunci pengembangan kendaraan listrik. Untuk mengembangkan kendaraan listrik yang sangat efisien, diperlukan baterai dengan densitas output spesifik dan densitas energi yang tinggi. Meskipun banyak keuntungan, baterai lithium-ion sangat sensitif terhadap suhu. Oleh karena itu, untuk memastikan keamanan dan kinerja baterai, sistem manajemen termal baterai (BTMS) yang efisien merupakan persyaratan untuk pengoperasian yang aman dari baterai tegangan tinggi tersebut untuk mencegah pelarian dan kerusakan termal dan untuk menjaga keseragaman suhu kemasan baterai. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kinerja modul baterai berpendingin udara diselidiki secara numerik, dan panas yang dihasilkan selama proses pelepasan secara efisien dihamburkan pada nilai konstan dengan variasi kecepatan aliran udara dan inlet temperatur. Telah ditemukan bahwa meningkatkan kecepatan udara atau menurunkan temperatur inlet udara dapat mengurangi kenaikan suhu modul baterai.

**Kata Kunci:** baterai lithium-ion; inlet temperatur; kecepatan aliran udara; pelepasan; sistem manajemen termal baterai (btms)

### Abstract

*Lithium-ion batteries as an energy storage system are key to the development of electric vehicles. In order to develop a highly efficient electric vehicle, a battery with high specific output density and energy density is required. Despite many advantages, lithium-ion batteries are extremely temperature sensitive. Therefore, to ensure the safety and performance of the battery, an efficient battery thermal management system (BTMS) is a requirement for the safe operation of such high voltage batteries to prevent thermal runaway and deterioration and to maintain the temperature uniformity of the battery pack. For that reason, in this research, the performance of the air-cooled battery module is numerically investigated, and the heat generated during the discharge process is efficiently dissipated at a constant value to air flow velocity and inlet temperature variation by simulation. It has been found that increasing the intake speed or inlet temperature can reduce the temperature rise of the battery module.*

**Keywords:** air-flow; battery thermal management system (btms); discharge; inlet temperature; lithium ion battery

### 1. Pendahuluan

Kenaikan pemanasan global dan menipisnya cadangan minyak mentah telah mengakibatkan peningkatan penjualan mobil yang menggunakan baterai sebagai sumber daya (EV) daripada mesin motor bakar konvensional. Perubahan iklim dan pencemaran lingkungan telah membangkitkan kekhawatiran di seluruh dunia dalam beberapa dekade terakhir [1]. Mengganti mobil bertenaga motor pembakaran dalam (Internal Combustion Engine / ICE) dengan kendaraan listrik (EV) adalah pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan lingkungan karena transportasi itu sendiri menyumbang sekitar seperempat emisi gas rumah kaca global.

Meskipun penggunaan EV mengalami peningkatan yang signifikan, pertumbuhannya sedikit terhambat oleh tingginya biaya kepemilikan dan bahkan kurangnya infrastruktur pengisian daya di beberapa wilayah geografis. Namun, faktor penting untuk kinerja dan masa pakai baterai Li-ion itu sendiri adalah suhu pengoperasiannya. Temperatur tinggi yang disebabkan karena akumulasi panas selama siklus pengisian/pengosongan berulang mempercepat degradasi baterai dan menurunkan kinerjanya secara drastis [2] Selanjutnya, kenaikan suhu yang berlebihan pada tingkat debit yang tinggi dapat mengakibatkan generasi panas berlebih sehingga menimbulkan masalah keamanan [3]. Telah disarankan bahwa suhu optimal untuk pengoperasian baterai Li-ion adalah 20–40°C [4].

## 2. Material dan metodologi

### 2.1 Sistem Manajemen Termal Baterai

Variasi suhu baterai yang besar menyebabkan pengurangan masa pakai & daya baterai. Ini juga mengurangi kerja sistem elektrokimia & efisiensi baterai. Misalnya, saat suhu turun di bawah  $-10^{\circ}\text{C}$ , kinerja baterai Li-ion sangat menurun [5] sedangkan pada suhu tinggi, jenis baterai ini rentan terhadap peningkatan suhu yang tidak terkendali [6]. Oleh karena itu ada kebutuhan untuk menggunakan sistem manajemen termal baterai dalam paket baterai tegangan tinggi. Untuk kemasan baterai, penting untuk mengelola kemasan agar tetap berada dalam kisaran suhu yang diinginkan untuk kinerja dan masa pakai yang optimal, dan juga untuk mengurangi distribusi suhu yang tidak merata di seluruh kemasan yang dapat menyebabkan penurunan kinerja.

### 2.2 Air Cooling

Pendinginan udara umumnya menggunakan prinsip konveksi untuk memindahkan panas dari baterai. Saat dan ketika udara mengalir di atas permukaan baterai, ia membawa serta panas yang dipancarkan oleh permukaan. Teknik pendinginan ini mudah tetapi pada saat yang sama tidak terlalu efisien. Konveksi adalah proses di mana pergerakan massal molekul dalam gas terjadi. Pada tahap awal perpindahan panas antara benda dan gas terjadi melalui konduksi, tetapi perpindahan panas massal terjadi karena gerakan gas. Ketika baterai menjadi panas, terjadi ekspansi termal [7]. Lapisan bawah yang lebih panas menjadi densitas yang lebih kecil. Sementara pada bagian dingin akan memiliki nilai densitas yang lebih besar. Karena gaya apung, bagian yang memiliki densitas lebih kecil, panas akan naik dan bagian yang lebih dingin menggantikannya. Proses ini diulang dan karenanya proses konveksi dilakukan dan perpindahan panas dilakukan. Konveksi dilakukan oleh dua jenis. Konveksi Alami dan Konveksi [8]. Keuntungan pada *air cooling* sistem pendingin udara tidak terlalu rumit dan berbiaya rendah.

### 2.3 Generasi Panas Baterai

Selama pengisian dan pengosongan baterai yang berulang, panas dihasilkan dalam sel karena Icell saat ini melalui itu. Berdasarkan Bernardi dkk. panas yang dihasilkan  $q$  dalam baterai memiliki dua sumber utama dan diberikan oleh.

#### 2.3.1 Panas Joule

$Q_{\text{joule}}$  adalah panas yang dihasilkan karena pemanasan Joule. Ini adalah bagian yang tidak dapat diubah dari panas yang dihasilkan di dalam sel.

$$Q_{\text{joule}} = \frac{I^2_{\text{cell}}}{\sigma} = I^2 R \quad (1)$$

#### 2.3.2 Panas Entropy

$Q_{\text{entropy}}$  adalah panas yang dihasilkan karena perubahan entropi, yang merupakan panas reaksi reversibel karena reaksi elektrokimia di dalam sel.

$$Q_{\text{entropy}} = IT \frac{dE_{\text{ocv}}}{dT} \quad (2)$$

### 2.4 Perpindahan Panas

Konveksi adalah metode perpindahan panas yang terjadi antara permukaan solid dengan liquid atau gas yang bergerak dan merupakan kombinasi dari perpindahan panas secara konveksi dan pergerakan fluida [9]. Laju Perpindahan panas secara konveksi dapat dirumuskan seperti persamaan berikut:

$$Q = h A \Delta T \quad (3)$$

Pada ANSYS-Fluent didapat solver expression surface heat transfer coefficient yang akan digunakan dalam penelitian sebagai bahan analisa, dimana rumus dijelaskan sebagai berikut [10]

$$h_{\text{eff}} = \frac{q}{T_{\text{wall}} - T_{\text{ref}}} \quad (4)$$

Perpindahan panas antara aliran udara dan sel baterai dipengaruhi oleh parameter desain sistem dan kondisi operasional, seperti pembangkitan panas, kecepatan aliran udara, dan suhu udara. Bidang yang diproyeksikan dari paket baterai tersusun sejajar, [11].

$$Q_d = C_{\text{air}} m_t (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) = \int C_{\text{air}} \rho_{\text{air}} WH (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) v_{\text{air}} dt \quad (5)$$

## 2.5 Data Spesifikasi

Data Spesifikasi Baterai didapatkan berdasarkan jurnal ilmiah Yiji Liu dan Yuqi Huang pada tahun 2016 tentang Studi tentang interaksi termal dan pembuangan panas sel Baterai Lithium-Ion silinder [13]. Data spesifikasi baterai litium-ion dan fluida yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2

**Tabel 1** Data Spesifikasi Baterai

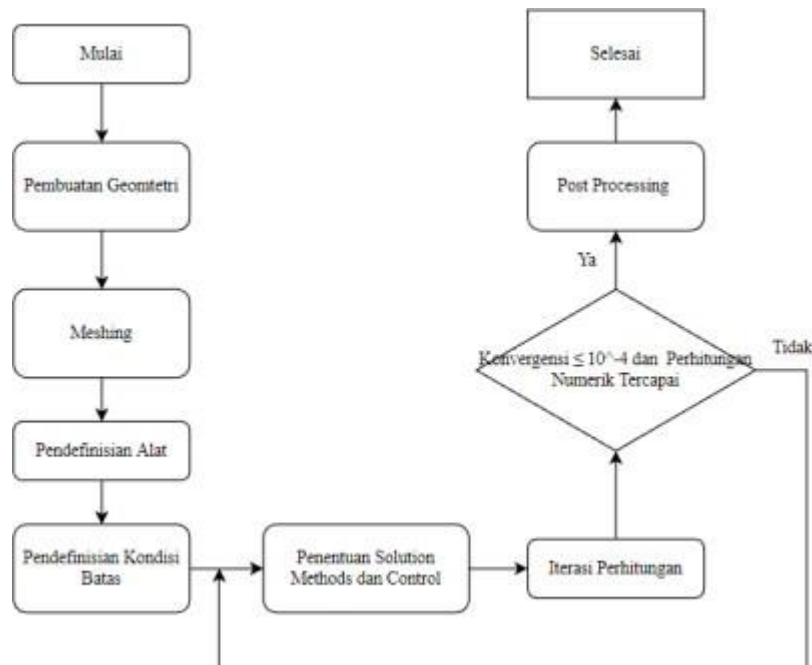
Symbol	Besaran	Nilai
$\rho$	<i>Density</i>	2018 kg/m <sup>-3</sup>
Cp	<i>Specific Heat</i>	1282 J/(kg.K)
K	<i>Thermal Conductivity</i>	0.9 W/(m.K)
I	Arus	1.35 A
R	<i>Internal Resistance</i>	0.04 $\Omega$
It	Kapasitas Baterai	1.35 Ah
C rate	<i>Discharge rate</i>	1C
V	<i>Nominal Voltage</i>	3.2 V
$T \frac{dE_{ocv}}{dT}$	<i>Heat reaction</i>	0.0116 V

**Tabel 2** Data Spesifikasi Fluida

Symbol	Besaran	Nilai
$\rho$	<i>Density</i>	1225 kg/m <sup>-3</sup>
Cp	<i>Specific Heat</i>	1006.43 J/(kg.K)
K	<i>Thermal Conductivity</i>	0.0242 W/(m.K)
$\nu$	<i>Viscosity</i>	1.7894 $\times 10^{-5}$ kg/m-s

## 2.6 Alur Simulasi

Alur simulasi pada simulasi *conjugate heat transfer* pada *battery pack* dapat tergambar pada Gambar 1.

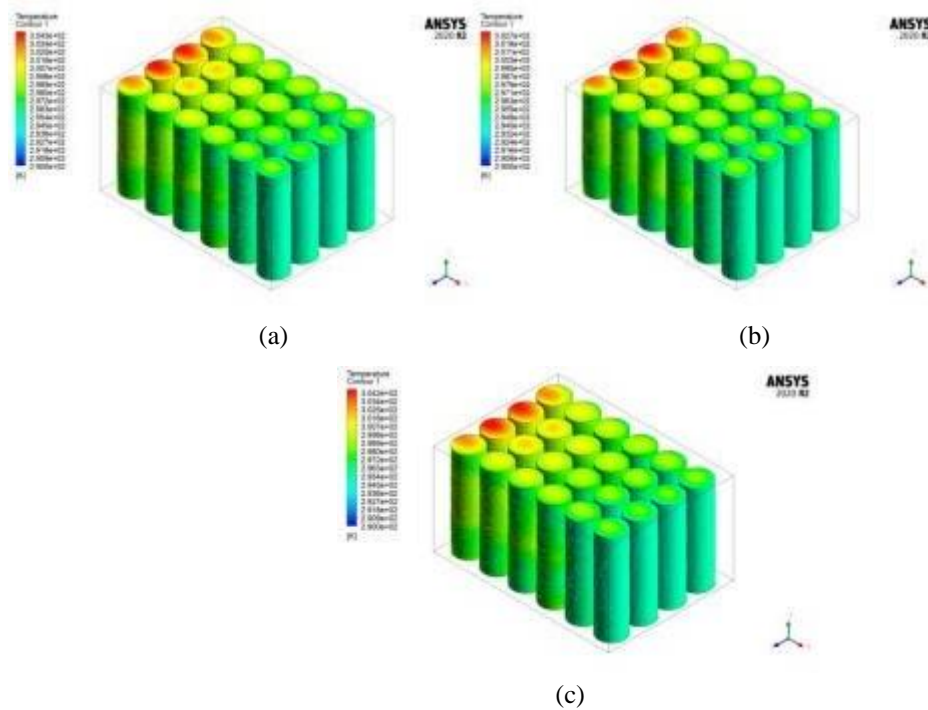


**Gambar 1** Diagram Alir Simulasi

### 3 Hasil dan Pembahasan

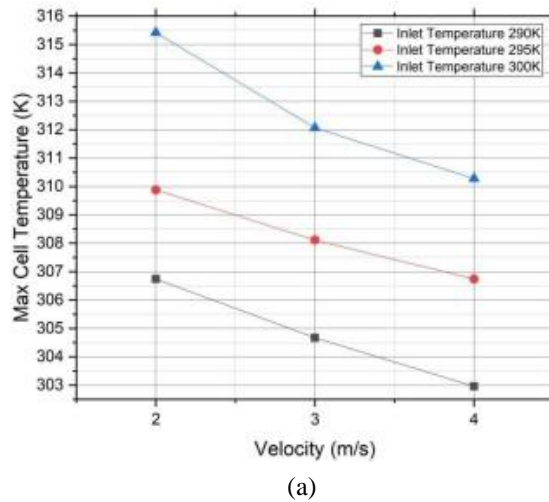
#### 3.1 Pengaruh Variasi Laju Aliran Udara Terhadap Temperatur *Battery Pack*

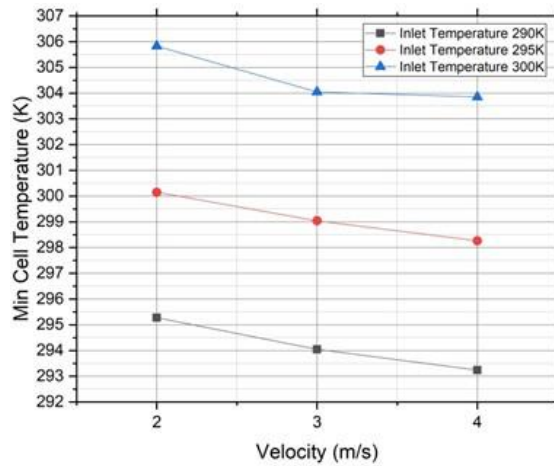
Berdasarkan gambar dibawah terlihat bahwa dengan variasi laju aliran udara kenaikan temperatur pada temperatur inlet yang bernilai tetap pada permukaan *battery pack* tidak terlalu signifikan.



**Gambar 3.** Kontur Kontur Termal *Battery Pack* (a) Temperatur Inlet 290K dengan Laju Aliran 3m/s, (b) Temperatur Inlet 290K dengan Laju Aliran 4m/s, (c) Temperatur Inlet 290K dengan Laju Aliran Udara 2m/s

Terlihat pada kontur dengan variasi laju aliran udara 2 m/s didapat temperatur maksimum senilai 306,66K, sementara variasi laju aliran udara 3 m/s didapat nilai temperatur maksimum sebesar 304,52K, sedangkan dengan variasi 4 m/s dihasilkan nilai temperatur maksimum senilai 302,7K .

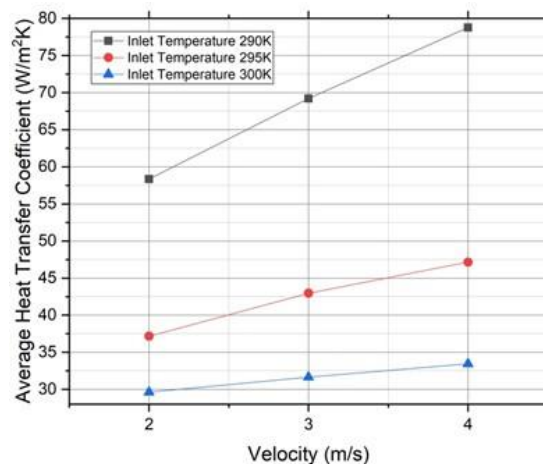




(b)

**Gambar 4.** Grafik Pengaruh Variasi Laju Aliran Udara terhadap Temperatur (a) Temperatur Maksimum, (b) Temperatur Minimum.

Dari sini dapat dianalisa distribusi temperatur dengan perbedaan temperatur maksimum dan minimum, dengan selisih yang semakin rendah akan semakin baik begitu juga sebaliknya. Selisih terendah pada tiap temperatur inlet terdapat pada saat laju aliran udara sebesar 4m/s, dan selisih tertinggi terdapat pada saat laju aliran udara 2m/s. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi laju aliran udara maka mendukung distribusi temperatur yang merata pada seluruh cell pada battery pack, ditunjukkan pada selisih nilai  $T_{max}$  dan  $T_{min}$  pada grafik [11].

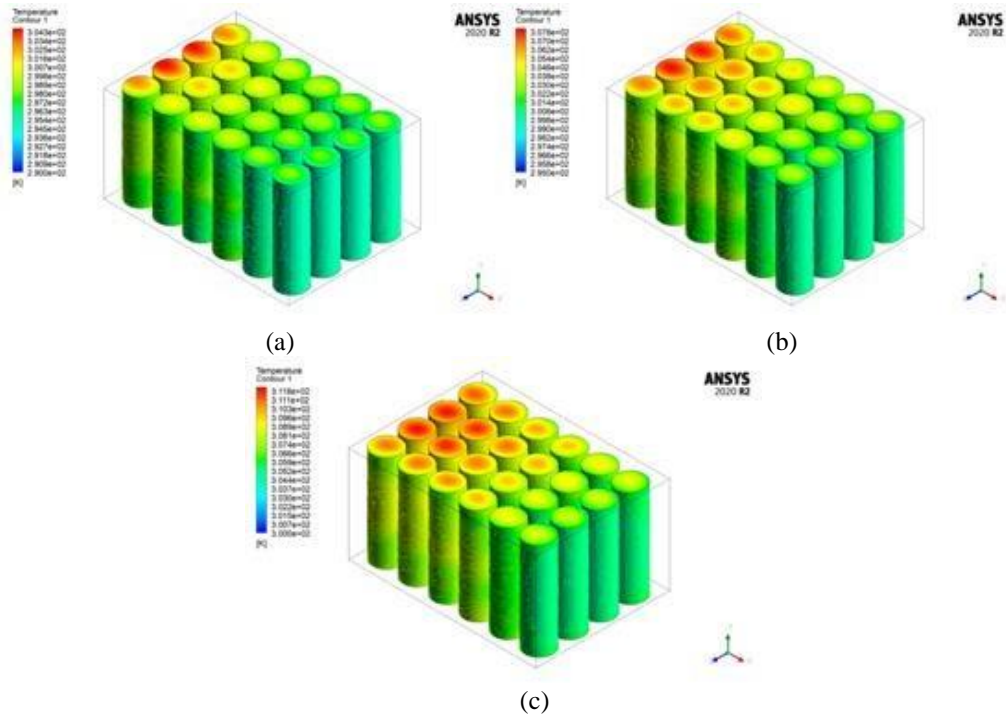


**Gambar 5.** Pengaruh Variasi Laju Aliran Udara terhadap Average Heat Transfer Coefficient Battery Pack

Di sini dapat dianalisa karena laju aliran udara meningkat, perpindahan panas konvektif pada sel meningkat, sehingga suhu sel menurun tetapi dengan mengorbankan penurunan tekanan yang lebih tinggi [12].

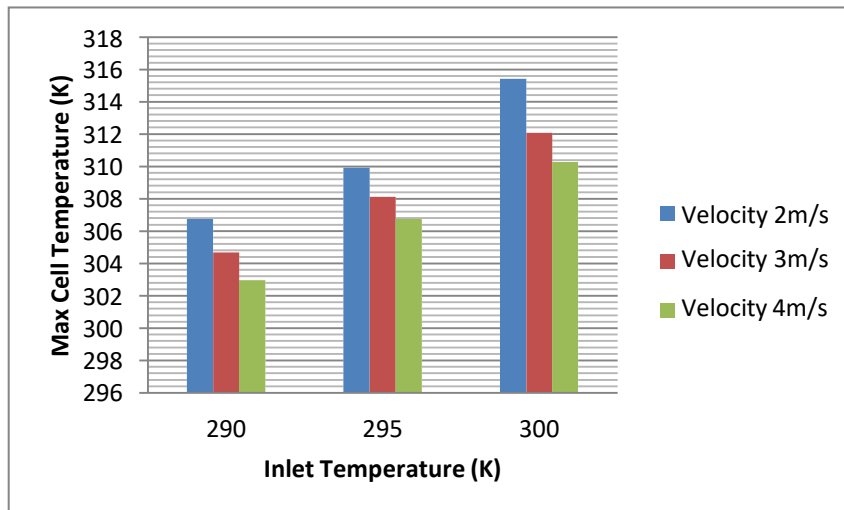
### 3.2 Pengaruh Inlet Temperatur Udara terhadap Temperatur Battery Pack

Berdasarkan gambar dibawah terlihat bahwa dengan temperatur inlet udara kenaikan temperatur pada laju aliran udara yang konstan pada Battery Pack memiliki nilai perbedaan yang cenderung signifikan.

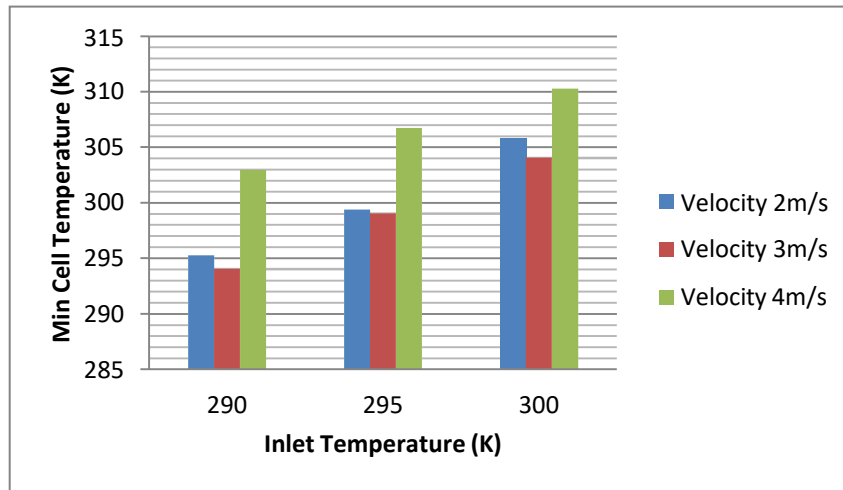


**Gambar 4** Kontur Termal *Battery Pack* (a) Temperatur Inlet 290K dengan Laju Aliran 3m/s, (b) Temperatur Inlet 295K dengan Laju Aliran 3m/s, (c) Temperatur Inlet 300K dengan Laju Aliran Udara 3m/s.

Terlihat pada kontur dengan variasi temperatur inlet udara 300K didapat temperatur maksimum senilai 311,95K, sementara temperatur inlet udara 295K didapat nilai temperatur maksimum sebesar 308,04K, sedangkan dengan variasi 290K dihasilkan nilai temperatur maksimum senilai 304,62K .



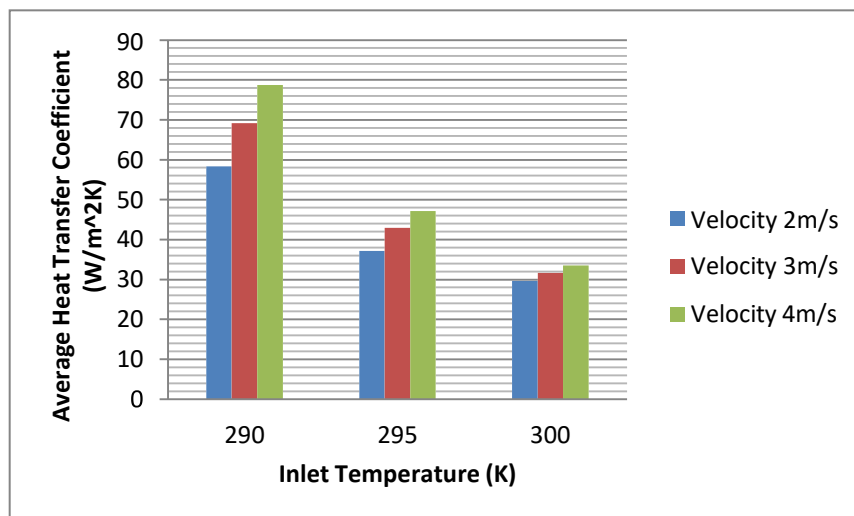
(a)



(b)

**Gambar 6.** Grafik Pengaruh Temperatur Inlet Udara terhadap Temperatur *Battery Pack* (a) Temperatur Maksimum, (b) Temperatur Minimum

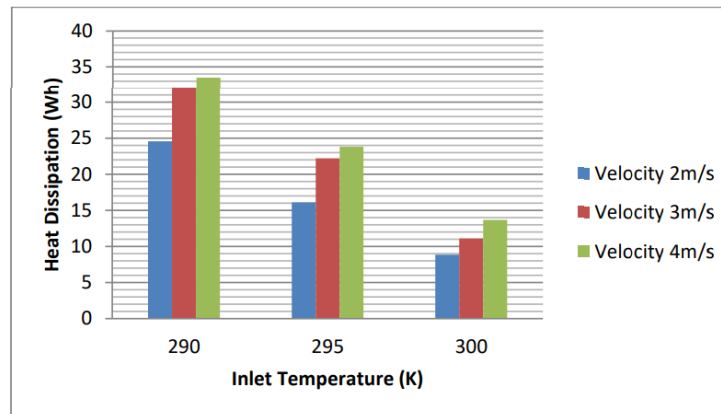
Disini dapat dianalisa bahwa selisih perbedaan temperatur  $T_{max}$  dan  $T_{min}$  antara tiap variasi temperatur inlet bernilai cukup besar, dengan nilai selisih tertinggi terletak pada variasi temperatur inlet 290K saat laju aliran udara 2 m/s, sedangkan nilai selisih terbesar terendah terletak pada variasi temperatur inlet 300K saat laju aliran udara 4 m/s. Disini dapat dianalisa bahwa semakin tinggi temperatur akan secara signifikan menurunkan temperatur maksimum akan tetapi akan berdampak buruk untuk distribusi temperatur pada *battery pack*.



**Gambar 7.** Pengaruh Temperatur Inlet terhadap *Average Heat Transfer Coefficient Battery Pack*

Di sini dapat disimpulkan bahwa semakin tingginya *gradient temperature* maka nilai *heat transfer coefficient* juga akan meningkat [14]. Hal ini terjadi dikarenakan pada model penelitian ini terdapat properti viskousitas aliran udara yang berubah seiring pertambahan suhu yang akan mempengaruhi *effective thermal conductivity* dan *effective prandtl number* pada perhitungan ANSYS.

### 3.3 Pengaruh Temperatur Inlet dan Laju Aliran Udara terhadap *Heat Dissipation* pada *Battery Pack*



**Gambar 8** Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Inlet Udara dan Laju Aliran Udara terhadap *Heat Dissipation Battery Pack*

Disini dapat disimpulkan *cooling capacity* dari fluida udara memiliki batasan, ini dibuktikan dengan selisih jumlah *heat dissipation* yang mengecil seiring meningkatnya laju aliran udara. Batasan ini merupakan hasil akibat dari perbedaan suhu, antara suhu rata-rata sel dan udara pendingin yang semakin menurun dan koefisien perpindahan panas yang meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan masuk udara.

## 4 Kesimpulan

Hasil variasi laju aliran udara terbukti dapat meningkatkan performa penurunan temperatur maksimum, dilihat dari tiap variasi temperatur inlet udara dengan rata-rata penurunan tiap variasi laju aliran udara senilai 2 K. Hasil variasi temperatur inlet udara didapat secara signifikan dapat menurunkan temperatur maksimum dengan nilai rata-rata 3,6 K dari tiap variasi laju aliran udara. Dengan itu secara proporsional didapat nilai temperatur maksimum mengalami penurunan seiring dengan kenaikan nilai *heat dissipation* dan peningkatan nilai *heat transfer coefficient*

## Daftar Pustaka

- [1] IEA. (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. *International Energy Agency*, 224. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- [2] Park, C. and Jaura, A.K. (2003) 'Dynamic thermal model of Li-Ion battery for predictive behavior in hybrid and fuel cell vehicles', SAE Technical Papers [Preprint], (June 2003). Available at: <https://doi.org/10.4271/2003-01-2286>.
- [3] Sun, J. et al. (2016) 'Toxicity, a serious concern of thermal runaway from commercial Li-ion battery', *Nano Energy*, 27, pp. 313–319. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.06.031>.
- [4] Xing, Y. et al. (2014) 'State of charge estimation of lithium-ion batteries using the open-circuit voltage at various ambient temperatures', *Applied Energy*, 113, pp. 106–115. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.008>.
- [5] S. S. Zhang, K. Xu, T. R. Jow, "The low temperature performance of Li-ion batteries," *Journal of Power Sources*, Volume 115(1), pp. 137- 140 (2003).
- [6] Wang, Qingsong ; Ping, Ping; Zhao, Xuejuan; Chu, Guanquan; Sun, Jinhua ; Chen, Chunhua, "Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery," *Journal of Power Sources*, Volume 208, pp. 210-224 (2012)
- [7] F. Barreras, M. Maza, A. Lozano et al., "Design and development of a multipurpose utility AWD electric vehicle with a hybrid powertrain based on PEM fuel cells and batteries," *International Journal of hydrogen Energy*
- [8] C. C. Chan and K. T. Chau, *Modern Electric Vehicle Technology*, Oxford University Press, Oxford, UK
- [9] Cengel, Y.A. (2002) 'Heat Transference a Practical Approach', *MacGraw-Hill*, 4(9), p. 874. Available at: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7_5).
- [10] Inc., A. (2016) 'ANSYS Fluent Theory Guide v17.1', *ANSYS 17.1 Documentation*, 15317(April), p. 850.
- [11] Fan, Y. et al. (2019) 'Experimental study on the thermal management performance of air cooling for high energy density cylindrical lithium-ion batteries', *Applied Thermal Engineering*, 155(February), pp. 96–109.
- [12] R. Mahamud, C. Park, Reciprocating air flow for Li-ion battery thermal management to improve temperature uniformity, *J. Power Sour.* 196 (2011) 5685–5696.
- [13] Huang, Y. et al. (2017) 'Study on the thermal interaction and heat dissipation of cylindrical Lithium-Ion Battery cells', *Energy Procedia*, 142(July 2020), pp. 4029–4036. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.321>.
- [14] Zhu, F. et al. (2016) 'Simulation of thermal behavior of a lithium-ion battery', 63(Icseee), pp. 528–532.