

ANALISIS UDARA SEBAGAI COOLING SYSTEM BATTERY PACK E-INOBUS DENGAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC

¹⁾Fryda Agustia Ningrum, ²⁾Imam Suchahyo

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: fryda.19043@mhs.unesa.ac.id

²⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: imamsuchahyo@unesa.ac.id

Abstrak

E-Inobus merupakan bus listrik yang diproduksi oleh PT. INKA (Persero) dengan misi inovasi di bidang transportasi darat yang mengusung tema transportasi hijau moda transportasi ramah lingkungan. Jenis baterai yang digunakan pada *battery module* adalah baterai LiFePo₄ IFR 26650 3.2V 3600mAh. Baterai LiFePo₄ memiliki siklus penggunaan yang panjang, dapat diisi ulang dan BMS memiliki kapasitas total penyimpanan daya yang besar. Dengan menggunakan Baterai LiFePo₄ sebagai sistem penyimpanan energi dalam pengembangan kendaraan listrik. Untuk menciptakan kendaraan listrik yang memiliki efisiensi tinggi, dibutuhkan baterai dengan *specific power density* dan *specific energy density* yang tinggi. Diantara banyak kelebihan yang dimiliki, LiFePo₄ memiliki kekurangan yaitu sangat sensitif terhadap temperatur. Sehingga untuk menjaga keamanan dan performansi dari Baterai LiFePo₄, dibutuhkan sistem manajemen termal. Metode yang digunakan ialah analisis numerik dengan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*) untuk mengetahui karakteristik fluida dinamik dan fenomena yang terjadi. Analisa terhadap manajemen termal pada sistem pendingin dilakukan untuk mengetahui performansi sistem pendingin baterai yang dipengaruhi oleh besarnya temperatur *inlet* dan kecepatan aliran udara *inlet*. Peningkatan kecepatan aliran udara merupakan metode efektif untuk menurunkan temperatur maksimum sel baterai LiFePo₄. Temperatur maksimum sel baterai LiFePo₄ dapat diperkecil dengan cara meningkatkan kecepatan aliran udara pada inlet. Peningkatan kecepatan aliran udara dari 2,5m/s menjadi 10 m/s mampu menurunkan temperatur sel baterai yang awalnya 42,86°C menjadi 38,28°C.

Kata Kunci: *battery pack, cooling system, computational fluid dynamic*

Abstract

E-Inobus is an electric bus produced by PT. INKA (Persero) with a mission of innovation in the field of land transportation which carries the theme of green transportation, an environmentally friendly mode of transportation. The type of battery used on *battery module* is an IFR 26650 3.2V 3600mAh battery. The battery has a long life cycle, is rechargeable and the BMS has a large total power storage capacity. By using the battery as an energy storage system in the development of electric vehicles. To create an electric vehicle that has high efficiency, a battery with *specific power density* and *specific energy density* tall one. Among the many advantages it has, it has the disadvantage that it is very sensitive to temperature. So to maintain the safety and performance of the battery, a thermal management system is needed. The method used is numerical analysis with CFD simulation (*Computational Fluid Dynamic*) to determine dynamic fluid characteristics and phenomena that occur. An analysis of the thermal management of the cooling system is carried out to determine the performance of the battery cooling system which is affected by the temperature *inlet* and airflow velocity *inlet*. Increasing the airflow velocity is an effective method to reduce the maximum temperature of the battery cells. The maximum temperature of the battery cells can be reduced by increasing the airflow velocity at the inlet.

Analisis Udara sebagai *Cooling System Battery Pack E-Inobus* dengan Metode *Computational Fluid Dynamic*

Increasing the airflow velocity from 2,5m/s to 10m/s be able to lower the temperature of the battery cells which initially 42,86°C to 38,28°C.

Keywords: *battery pack, cooling system, computational fluid dynamic*

I. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan aktivitas penting yang dilakukan manusia setiap hari. Spesifikasi alat transportasi pada zaman ini dituntut untuk memenuhi permintaan pasar dan mempertimbangkan ketersediaan energi. Alat transportasi di Indonesia sendiri telah mengalami banyak pengembangan dalam berbagai bidang, mulai dari desain bentuk sampai dengan sumber energi penggerakannya. Salah satu alat transportasi yang sedang mengalami banyak pengembangan adalah bus. Kendaraan bus yang umumnya menggunakan bahan bakar solar, kini telah dikembangkan penggunaan listrik sebagai tenaga penggerakannya.

Energi listrik sebagai sistem tenaga penggerak telah diterapkan pada beberapa kendaraan yang ada di Indonesia. Diantaranya yaitu Kereta Rel Listrik (KRL), *Mass Rapid Transit* (MRT), *Light Rail Transit* (LRT), dan mobil listrik. Pada umumnya kendaraan listrik menggunakan pantograph sebagai media transmisi listrik dari *Overhead Line Electric* (Listrik Aliran Atas). Namun penggunaan listrik aliran atas ini memiliki jalur aliran terbatas dan membutuhkan biaya besar dalam proses produksinya. Oleh karena itu dirumuskan inovasi penggunaan *battery pack* sebagai sumber energi listriknya. *Battery pack* merupakan gabungan dari sejumlah *battery cells* yang disusun menjadi *module battery* yang kemudian dirangkai dengan rangkaian seri menjadi satu *battery pack*. *Battery pack* memiliki berbagai komponen penting seperti BMS (*Battery Management System*), *battery modul*, dan HV (*High Voltage*) *control*.

Jenis baterai yang digunakan pada *battery module* adalah baterai LiFePo₄ IFR 26650 3.2V 3600mAh. Baterai LiFePo₄ memiliki siklus penggunaan yang panjang, dapat diisi ulang dan BMS memiliki kapasitas total penyimpanan daya yang besar. Di samping itu penggunaan baterai terbatas pada suhu, disarankan untuk menjaga baterai pada suhu 15°C - 35°C dan perbedaan suhu antar modul baterai sebesar 5°C untuk menghindari efek yang merugikan (Pesaran, 2013). Penggunaan baterai diatas suhu normal secara terus menerus dapat mengurangi performa baterai, umur pakai baterai serta meningkatkan presentase kerusakan baterai. Selain baterai, komponen seperti BMS dan HV *control* juga menghasilkan panas dan apabila panas tersebut tertahan di dalam *battery pack* sehingga baterai dapat mengalami *overheating* (Merlinda, 2017). Efek dari *overheating* tersebut dapat mengurangi performa dari *battery pack* itu sendiri. Untuk menjaga suhu kerja baterai tetap dalam suhu normal, maka dibutuhkan kontrol seperti BTMS (*Baterai Thermal Management System*) dan *cooling system* untuk dapat menjaga dan mempertahankan suhu kerja baterai agar tidak melebihi suhu kerja normal.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa spesifikasi baterai litium-ion jenis LiFePO₄ 26650 3.2V yang meliputi dimensi baterai, kapasitas baterai (Ah), temperatur operasional, *operating cell voltage*, nominal *voltage*, arus baterai, densitas, *specific heat*, dan konduktivitas termal dari baterai maupun aliran pendingin yaitu udara. Yang kemudian menjadi *input setter* pada saat simulasi menggunakan *Software ANSYS Fluent* dengan metode *Computational Fluid Dynamic*.

a. Data Spesifikasi Baterai LiFePO₄

Baterai yang digunakan adalah baterai *cylindrical* jenis LiFePo₄ IFR 26650 3.2V 3600mAh, baterai tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Besaran	Keterangan	Data
P	Densitas	2500 kg/m ²

Analisis Udara sebagai *Cooling System Battery Pack E-Inobus* dengan Metode *Computational Fluid Dynamic*

C_p	<i>Specific Heat</i>	1000 J/kgK
K	Konduktivitas Panas	3 W/mK
P_D	<i>Energy Source</i>	67,97 W/m ³
I	Arus Baterai	30.2A
I_t	Kapasitas Baterai	3600mAh
C – rate	<i>Discharge rate</i>	1C
V	Nominal Voltage	3.7V
T_b	Temperatur Operasional	40°C
E	OCV	4.2V
ΔS	Perubahan Entropi	-35 J/molK
F	Konstanta Faraday	96484 C/mol
N	Jumlah elektron	0.5

b. Data Spesifikasi Udara Pendingin

Berdasarkan *cooling system* yang sudah diterapkan pada sistem *battery pack*, jenis fluida yang digunakan adalah udara bersuhu rendah yang diambil dari sistem *air conditioner*, udara memiliki data spesifikasi sebagai berikut:

Besaran	Keterangan	Data
ρ	Densitas Udara	1,3 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
C_p	<i>Specific Heat</i>	1005 J/kgK
μ	Koefisien Viskositas	0,018 x 10 ⁻²
T	Temperatur Udara	20°C
k	Konduktivitas Panas Udara	0,026 $\frac{\text{W}}{\text{mK}}$
α	Difusivitas Panas Udara	21x10 ⁻⁶ $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
s_h	<i>Source Term</i>	5.904 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3/\text{s}}$

c. Data Material Box

Berdasarkan material box yang sudah diterapkan pada sistem *battery pack*, jenis material yang digunakan adalah aluminium dengan data spesifikasi sebagai berikut:

Besaran	Keterangan	Data
ρ	Densitas	2700 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
C_p	<i>Specific Heat</i>	903 $\frac{\text{W}}{\text{kgK}}$
k	Konduktivitas Panas	237 $\frac{\text{W}}{\text{mK}}$

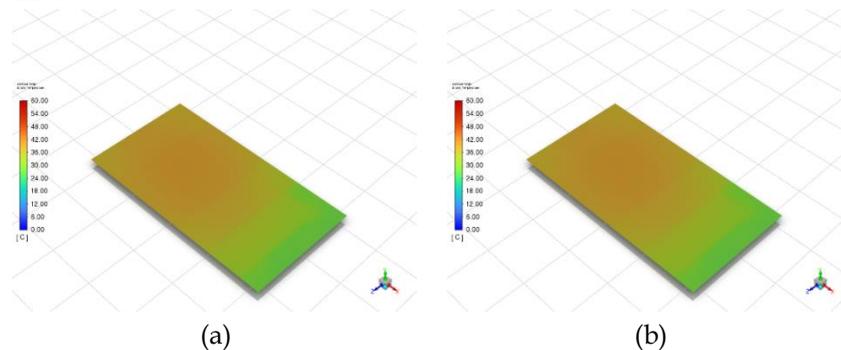
Analisis Udara sebagai *Cooling System Battery Pack E-Inobus* dengan Metode *Computational Fluid Dynamic*

Analisa data dilakukan setelah semua data dari hasil simulasi telah didapatkan. Proses ini dilaksanakan dengan berdasar pada teori-teori yang telah didapatkan pada tahap studi literatur. Metode analisis data yang digunakan yaitu deskriptif kuantitatif. Dimana pengolahan data diperoleh dari hasil simulasi menggunakan *software ANSYS* dengan tujuan mengembangkan teori hipotesis mengenai karakteristik fluida sebagai *cooling system*. Desain dari penelitian ini bersifat khusus, terperinci, dan statis yaitu tidak dapat diimplementasikan di segala kondisi dikarenakan alur dari penelitian sudah direncanakan sejak awal dan tidak dapat diubah lagi. Pada bagian ini akan dibahas kontur temperatur dan perbedaannya pada tiap sisi box *battery pack*, kontur kecepatan pada aliran fluida dan hubungannya dengan temperatur baterai.

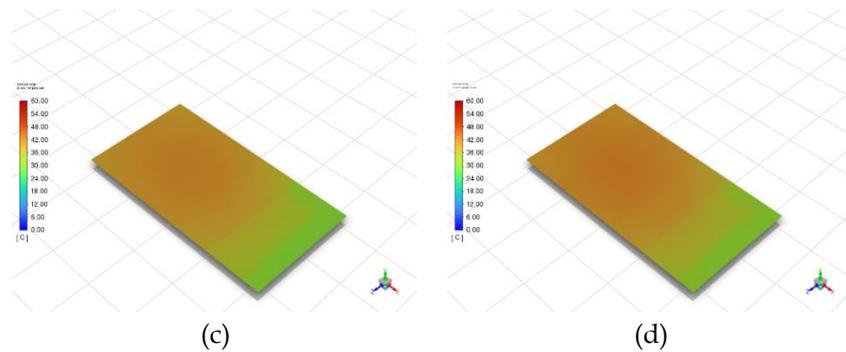
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

No.	Suhu Inlet(°C)	Kecepatan (m/s)	Suhu Baterai(°C)	
			Ave	Max
1.	25	2,5	26,22026	40,39092
2.	26		27,20576	41,21616
3.	27		28,19127	42,04286
4.	28		29,17677	42,86950
5.	25	5,0	24,75557	37,11021
6.	26		25,62477	37,98319
7.	27		26,40597	38,85647
8.	28		27,25336	39,72951
9.	25	7,5	23,39133	35,96463
10.	26		24,87948	36,82779
11.	27		25,57564	37,69009
12.	28		26,74379	38,55223
13.	25	10,0	23,45549	35,64013
14.	26		24,07587	36,50663
15.	27		24,9633	37,38042
16.	28		26,26389	38,25879

Penurunan temperatur baterai dipengaruhi oleh kecepatan vektor aliran, luas permukaan dan densitas fluida. Hal ini menunjukkan hubungan antara laju aliran udara dengan temperatur ialah berbanding terbalik dimana semakin tinggi laju aliran udara maka rentang temperatur operasional baterai juga akan semakin rendah. Dalam penentuan jenis aliran, besarnya kecepatan vektor aliran berkaitan dengan nilai Bilangan Reynold aliran ($Re = \frac{\rho v D}{\mu}$) dan Bilangan Nusselt aliran ($Nu = \frac{h D_h}{k}$). Sedangkan nilai koefisien heat transfer panas secara konveksi (h) dipengaruhi oleh konstanta konduktivitas termal (k), nusselt number (Nu) dan ukuran box baterai (Dh). Sehingga apabila dikaitkan maka kecepatan aliran udara mempengaruhi koefisien heat transfer panas secara konveksi (h) suatu fluida. Keduanya juga akan mempengaruhi besarnya nilai transfer panas (Q) dan performansi pendinginan (ΔT). Hal ini didukung dengan adanya visualisasi hasil simulasi sebagai berikut:



Analisis Udara sebagai *Cooling System Battery Pack E-Inobus* dengan Metode *Computational Fluid Dynamic*



Gambar 4. 1 *Contour Temperature Battery Module* Kecepatan 2,5 m/s dengan Temperatur *Inlet* (a) 25°C (b) 26°C (c) 27°C (d) 28°C

Hasil simulasi pada saat laju aliran udara sebesar 2,5 m/s dengan variasi temperatur *inlet* pada gambar diatas menunjukkan bahwa terjadi perbedaan kontur warna pada *battery module*. Kontur tersebut menunjukkan persebaran suhu *battery module*, warna jingga pada *contur* tersebut menunjukkan tingkatan dari temperatur *battery module*, semakin pekat warna jingga pada *contur* maka semakin tinggi temperatur operasional dari *battery module*.

IV. KESIMPULAN

Penelitian tugas akhir ini menganalisa manajemen termal pada sistem pendingin baterai LiFePo_4 dengan variasi temperatur *inlet* dan kecepatan aliran udara *inlet*. Analisa terhadap manajemen termal pada sistem pendingin dilakukan untuk mengetahui performansi sistem pendingin baterai yang dipengaruhi oleh besarnya temperatur *inlet* dan kecepatan aliran udara *inlet*. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan kecepatan aliran udara merupakan metode efektif untuk menurunkan temperatur maksimum sel baterai LiFePo_4 . Temperatur maksimum sel baterai LiFePo_4 dapat diperkecil dengan cara meningkatkan kecepatan aliran udara pada inlet. Peningkatan kecepatan aliran udara dari 2,5m/s menjadi 10 m/s mampu menurunkan temperatur sel baterai yang awalnya 42,86°C menjadi 38,28°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Y. A. dan J. M. Cimbala. 2014. *Fluid Mechanics, Fundamentals and Applications*. 4th ed. McGraw Hill. New York
- Chen, D., Jiang, J., Kim, G., Yang, C., & Pesaran, A. (2016). *Comparison of Different Cooling Methods For Lithium Ion Battery Cells*, 94, 846– 854.
- H. Ström. *Boundary layer theory*. Lecture notes, Chalmers University of Technology, 2014.
- Hammami, Y. E. dan M. Feddaoui. 2012. Numerical study of condensing a small concentration of vapour inside a vertical tube. *Heat and Mass Transfer*, 48(9), 1675–1685.
- Joshi, V. P., V. S. Joshi, H. A. Kothari, M. D. Mahajan, M. B. Chaudhari, dan K. D. Sant. 2016. Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler. *Energy Procedia* 109: 161-166.
- Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). *Handbook of batteries*.
- Maulana, Syahdan. (2019). Analisis optimasi aliran fluida dalam pipa kondensasi *water from atmosphere generator* berbasis *computational fluid dynamic (cfd)*.
- Merinda, Laurien. (2017). *Analisis manajemen termal pada sistem pendingin sel baterai li-ion bentuk prisma dengan variasi laju aliran massa dan lebar channel menggunakan metode computational fluid dynamics (cfd)*.
- Peng, P., & Jiang, F. (2016). *International Journal of Heat and Mass Transfer Thermal safety of lithium-ion batteries with various cathode materials : A numerical study*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 103, 1008–1016.
- Rao, Z., Wang, Q., & Huang, C. (2016). Investigation of the thermal performance of phase change material / mini-channel coupled battery thermal management system. *Applied Energy*, 164, 659–669.

Analisis Udara sebagai *Cooling System Battery Pack E-Inobus* dengan Metode *Computational Fluid Dynamic*

- Rao, Z., & Wang, S. (2011). A review of power battery thermal energy management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4554–4571.
- Seifert, H. J., Schuster, E., Lepple, M., Cupid, D., Franke, P., & Ziebert, C. (2012). *Thermodynamics and Phase Diagrams for Lithium Ion Battery*
- Warner, J. (2015). *Battery Pack Design*.
- Xie, X. L., Liu, Z. J., He, Y. L., & Tao, W. Q. (2009). Numerical study of laminar heat transfer and pressure drop characteristics in a water-cooled minichannel heat sink. *Applied Thermal Engineering*, 29(1), 64–74.