

## EKSPERIMEN *HEAT TRANSFER* PADA *MINICHANNEL* MENGGUNAKAN *VORTEX GENERATOR* PADA BATERAI PESAWAT LISTRIK

<sup>1</sup>G. Marausna, <sup>2</sup>F. Jayadi, <sup>3</sup>E.L. Sitepu

<sup>1,2,3</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

### Abstrak

Salah satu industri yang menjadi sorotan adalah industri penerbangan karena dampak bencana pada lingkungan dan kesehatan manusia dengan penggunaan bahan bakar fosil, dan emisi. Pertumbuhan industri penerbangan, baik dalam hal transportasi penumpang dan kargo di industri, telah memperdalam kekhawatiran ini karena pertumbuhan permintaan ini menyiratkan lebih banyak konsumsi bahan bakar. Kunci utama untuk nilai baterai pesawat adalah untuk memberikan daya yang reliabilitasnya bagus dan aman secara sertifikasi. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Sedangkan jenis penelitian ini menggunakan prototype baterai pesawat listrik dengan fluida kerja Air dan Etilen Glikol 50%, dialirkan oleh pompa dari tank 1 ke arah minichannel temperaturnya 20-25 °C, baterai temperaturnya 70-80 °C, fluida kerja dari minichannel akan dialirkan ke tank 2 debit 0,006-0,007 m<sup>3</sup>/s. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah penggunaan fluida kerja Etilen Glikol 50% lebih baik daripada Air dari segi pressure drop dikarenakan faktor densitas. Sedangkan untuk, Reynolds Number, Nusselt Number, Heat Transfer Convection yang didapatkan fluida kerja Air lebih baik dibandingkan dengan Etilen Glikol 50% dikarenakan faktor specific heat capacity dan kecepatan aliran fluida kerja.

**Kata kunci :** Heat Transfer, Baterai Pesawat Listrik, Etilen Glikol-Air, Minichannel, Vortex Generator.

### Abstract

One of the industries in the spotlight is the aviation industry because of the catastrophic impact on the environment and human health with the use of fossil fuels, and emissions. industrial growth, in terms of passenger and cargo transportation in the industry, has deepened this due to this growth in demand for more fuel consumption. Without the use of power electronics to convert and control electrical energy, no benefit from Electric Aircraft is possible. The key to aircraft battery value is to provide reliable and certified safe power. The method used is the experimental method. While this type of research uses an electric aircraft battery prototype with working fluid of Water and 50% Ethylene Glycol, flowed by a pump from tank 1 to the minichannel the temperature is 20-25 °C, the battery temperature is 70-80 °C, the working fluid from the minichannel will be flowed to the minichannel. tank 2 discharge 0.006-0.007 m<sup>3</sup>/s. The results obtained in this study are the use of 50% Ethylene Glycol working fluid is better than Water in terms of pressure drop due to the density factor. Meanwhile, the Reynolds Number, Nusselt Number, Heat Transfer Convection obtained by the working fluid Water are better than 50% Ethylene Glycol due to the specific heat capacity and flow velocity of the working fluid.

**Keywords:** Heat Transfer, Electric Aircraft Battery, Ethylene Glycol-Water, Minichannel, Vortex Generator.

### Pendahuluan

Salah satu industri yang menjadi sorotan adalah industri penerbangan karena dampak bencana pada lingkungan dan kesehatan manusia dengan penggunaan bahan bakar fosil, emisi berbahaya dan pekerjaan kelompok besar dan beragam karyawan.

Pertumbuhan industri penerbangan, baik dalam hal transportasi penumpang dan kargo di industri, telah memperdalam kekhawatiran ini karena pertumbuhan permintaan ini menyiratkan lebih banyak konsumsi bahan bakar, lebih banyak limbah berbahaya, dan lebih banyak kebisingan (Karaman et al., 2018).

Power Electronics telah menjadi salah satu teknologi pendukung terpenting untuk Electric Aircraft. Tanpa penggunaan power electronics untuk mengubah dan mengontrol energi listrik, tidak ada

<sup>1</sup>Email Address : [20920002@students.sttkd.ac.id](mailto:20920002@students.sttkd.ac.id)  
Received 12 Juni 2022, Available Online 30 Juli 2022

 <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i1.616>

manfaat dari Electric Aircraft yang mungkin terjadi. Namun, aplikasi dirgantara menghadirkan beberapa kondisi operasi yang menantang untuk power electronics dan masih ada sejumlah area di mana perbaikan harus dilakukan dalam hal bobot, volume, biaya, dan reliabilitas konverter daya dan sistem terkaitnya (Wheeler, 2016).

Kendaraan elektrik pasti membutuhkan baterai sebagai resource penggerak komponen elektriknya, seperti motor starter, lampu, klakson, dan lain sebagainya. Baterai sangat penting sebagai penyuplai energi ke seluruh komponen elektrik yang ada pada kendaraan elektrik, hal ini menjadikan baterai sangat vital sebagai resource komponen-komponen listrik (Afif & Pratiwi, 2015).

Mengingat kontribusi bahan bakar fosil terhadap emisi gas rumah kaca, banyak penelitian baru-baru ini dikhususkan untuk mengembangkan kendaraan listrik (EV). Di antara berbagai jenis baterai yang tersedia untuk EV, baterai lithium-ion dikenal sebagai sumber energi yang paling menjanjikan, terutama karena kepadatan energinya yang tinggi, dan siklus hidupnya yang panjang (Kiani et al., 2020).

Kunci utama untuk nilai baterai pesawat adalah untuk memberikan daya yang reliabilitasnya bagus dan aman secara sertifikasi, menjadi ringan yaitu premium yang tinggi pada berat, memiliki *output* daya yang konsisten di lingkungan operasinya, dan memiliki masa pakai yang cukup lama (Tariq et al., 2017).

## Tinjauan Pustaka

### *Reynolds Number*

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mewakili jenis aliran. Bilangan *Reynolds* adalah rasio gaya inersia terhadap gaya lengket. Jenis aliran dapat dicirikan oleh bilangan *Reynolds* besar atau kecil. Semakin tinggi bilangan *Reynolds*, semakin turbulen aliran tersebut. Pada saat yang sama, jika bilangan *Reynolds* semakin kecil, semakin *laminar* alirannya. Bilangan *Reynolds* adalah perbandingan gaya inersia dan gaya viskos (Çengel & Cimbala, 2014). Menggunakan Persamaan Bilangan *Reynolds* Mengenai aliran fluida cair dalam selang, yaitu :

$$Re = \frac{V_f D_h}{\nu} \quad (1)$$

Keterangan:

$Re$	= bilangan <i>Reynolds</i>
$V_f$	= kecepatan fluida kerja (m/s)
$D_h$	= diameter hidrolis (m)
$\nu$	= viskositas dinamik (m <sup>2</sup> /s)

Untuk  $Re \leq 2300$  adalah aliran *laminar*,  $2300 \leq Re \leq 4000$  adalah aliran transisi, dan  $Re \geq 4000$  adalah aliran *turbulence*.

### *Nusselt Number*

Bilangan Nusselt menunjukkan peningkatan perpindahan panas melalui lapisan fluida sebagai akibat konveksi relatif terhadap konduksi melintasi lapisan fluida yang sama. Semakin besar bilangan Nusselt, semakin efektif konveksinya. Angka Nusselt  $Nu = 1$  untuk lapisan fluida menunjukkan perpindahan panas melintasi lapisan dengan konduksi murni (Çengel & Ghajar, 2020). Untuk persamaan dari *Nusselt Number* yang akan digunakan dalam jurnal ini yaitu:

$$Nu = 3,66 + \frac{0,0065 (D_h/L_m) Re Pr}{1 + 0,04 [(D_h/L_m) Re Pr]^{2/3}} \quad (2)$$

Keterangan:

- $D_h$  = Diameter Hidrolik (m)  
 $L_m$  = Panjang *Minichannel* (m)  
 $Re$  = Bilangan *Reynolds*  
 $Pr$  = Bilangan *Prandtl*

### Heat Transfer

*Heat Transfer* adalah pertukaran bentuk energi internal sensibel dan laten antara dua media sebagai akibat dari perbedaan suhu. Panas dapat ditransfer dalam tiga mode berbeda: konduksi, konveksi, dan radiasi. (Çengel & Ghajar, 2020). Untuk persamaan dari *heat transfer convection* yang akan digunakan yaitu :

$$\dot{Q}_{conv} = hA(\Delta T_{lm}) \quad (3)$$

Keterangan:

- $\dot{Q}$  = nilai heat transfer convection (W)  
 $h$  = koefisien heat transfer ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )  
 $A$  = luas permukaan selang ( $m^2$ )  
 $T_{lm}$  = Log Mean Temperature ( $^\circ C$ )

### Pressure Drop

Penurunan tekanan atau *pressure drop* adalah perbedaan antara tekanan di antara saluran masuk dan saluran keluar dari tabung. Ini adalah ukuran resistensi yang diberikan tabung untuk mengalir di atasnya, sedangkan dapat dijelaskan oleh (Çengel & Ghajar, 2015) bahwa persamaan penurunan tekanan yaitu :

$$\Delta_p = f \frac{L}{D_h} \frac{\rho V_f^2}{2} \quad (4)$$

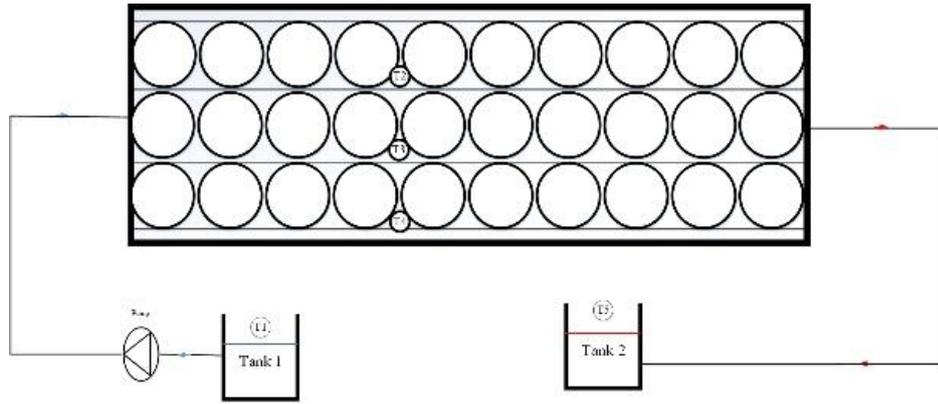
Keterangan:

- $\Delta p$  = penurunan tekanan atau *pressure drop* (Pa)  
 $f$  = faktor gesek  
 $L$  = panjang *minichannel* (m)  
 $D_h$  = diameter hidrolik (m)  
 $\rho$  = densitas fluida kerja ( $kg/m^3$ )  
 $V_f$  = kecepatan fluida kerja (m/s)

### Metode Penelitian

Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental. Sedangkan jenis penelitian ini menggunakan *protoype* baterai pesawat listrik yang dimana fluida kerja akan diukur temperaturnya dengan *thermocouple* 1 (T1) dan dialirkan oleh pompa dari *tank* 1 ke arah *minichannel* yang berada di *battery pack*. Untuk baterainya akan diukur temperaturnya oleh *thermocouple* 2 (T2), *thermocouple* 3 (T3), dan *thermocouple* 4 (T4) lalu fluida kerja dari *minichannel* akan dialirkan ke *tank* 2 dimana akan diukur temperaturnya menggunakan *thermocouple* 5 (T5). Material yang digunakan untuk *minichannel* yaitu plat aluminium dikarenakan penghantaran panas aluminium lebih baik dibandingkan dengan plat seng dengan masing masing nilai  $C_p$  sebesar  $9 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ C$  dan  $3,7 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ C$ , dan nilai  $k$  masing masing sebesar  $247 \text{ W/m} \cdot K$  dan  $116 \text{ W/m} \cdot K$ .

Adapun temperatur yang akan di uji yaitu diestimasikan  $\pm 70-80 \text{ }^\circ C$ , untuk temperatur fluida kerja 1 dan 2 diestimasikan  $\pm 20-25 \text{ }^\circ C$ , debit yang dialirkan diestimasikan  $\pm 0,006-0,007 \text{ m}^3/s$ , dan temperatur baterai akan menurun, dan temperatur di *out* lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur *in*.



**Gambar 1. Skema Eksperimental**

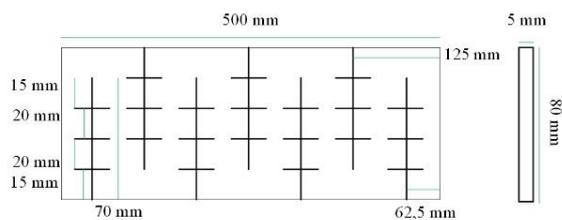
Adapun untuk dimensi *vortex generator* nya yaitu mempunyai panjang 7 cm, jarak *vortex generator* 1 ke dasar *minichannel* yaitu 2 cm, dan jarak *vortex generator* 2 ke *vortex generator* 1 yaitu 2 cm. Untuk dimensi *minichannel* yang akan dipakai adalah dengan panjang 500 mm, lebar 5 mm, dan tinggi 80 mm. Untuk dimensi baterai yang akan dipakai adalah dengan diameter 50 mm, tinggi 80 mm. *Minichannel* berjumlah 4 pcs dan jumlah baterai 30 pcs dimana *minichannel* dan baterai disusun seperti gambar 3 lalu ditutup dengan *battery pack*. Untuk penggunaan fluida kerjanya sendiri ada 2 tipe yaitu fluida kerja 1 adalah Air dan fluida kerja 2 adalah Etilen Glikol 50% terdiri dari 50% air dan 50% Etilen Glikol .



**Gambar 2. Bentuk Minichannel yang akan Diuji**



**Gambar 3. Bentuk Minichannel, dan baterai**



**Gambar 4. Dimensi Minichannel dan Vortex Generator**

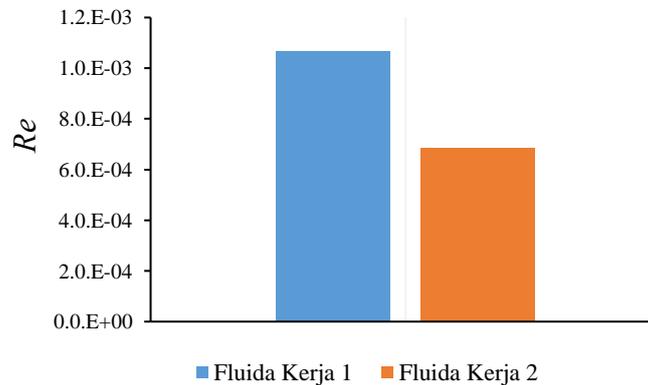
**Tabel 1. Tabel *Properties* Fluida Kerja**

Jenis Fluida	Fluida 1 (Air)	Fluida 2 (Etilen Glikol 50%)
<i>Thermal Conductivity</i> , $k$ (W/m·K)	0,61	0,41
<i>Density</i> , $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	997	1050,44
<i>Specific Heat Capacity</i> , $C_p$ (kJ/kg·K)	4,18	3,499
<i>Viscosity Kinematic</i> , $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	$8,9 \times 10^{-7}$	$1,46 \times 10^{-3}$
<i>Viscosity Dynamic</i> , $\mu$ (kg/m·s)	$8,9 \times 10^{-3}$	1,54

## Hasil dan Pembahasan

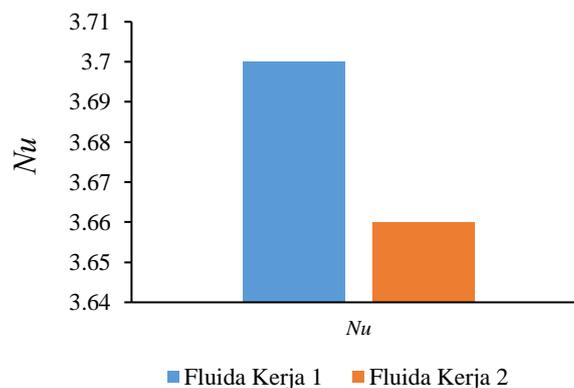
### *Reynolds Number*

Dalam pembahasan *Reynolds Number* ini, didapatkan nilai  $Re$  untuk masing masing fluida kerja 1 dan 2 yaitu 561,8 dan 0,27. Disini dapat dilihat bahwa nilai  $Re$  fluida kerja 1 lebih besar dibandingkan dengan fluida kerja 2. Adapun faktor yang mempengaruhi nilai  $Re$  ini yaitu nilai densitas masing masing fluida kerja yaitu 997 kg/m<sup>3</sup> dan 1050 kg/m<sup>3</sup>. Semakin kecil nilai densitas maka nilai  $Re$  yang didapatkan semakin besar dikarenakan pergerakan fluida nya semakin mudah dibandingkan dengan densitasnya semakin besar.

**Gambar 5. Nilai Bilangan  $Re$** 

### *Nusselt Number*

Dalam pembahasan *Nusselt Number* ini, didapatkan nilai  $Nu$  untuk masing masing fluida kerja 1 dan 2 yaitu 3,702 dan 3,664. Disini dapat dilihat bahwa nilai  $Nu$  fluida kerja 1 lebih besar dibandingkan dengan fluida kerja 2. Adapun faktor yang mempengaruhi yaitu nilai  $Re$  yang dimana nilai  $Re$  masing masing fluida kerja yaitu 561,8 dan 0,27.

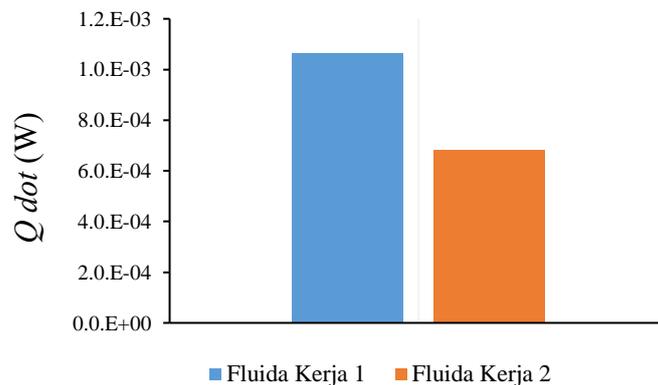
**Gambar 6 Nilai Bilangan  $Nu$**

### Heat Transfer Convection

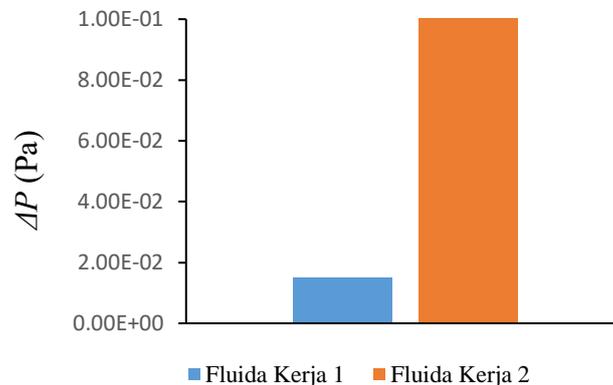
Dalam pembahasan *Heat Transfer Convection* ini, didapatkan nilai  $\dot{Q}$  untuk masing masing fluida kerja 1 dan 2 yaitu  $1,1 \times 10^{-3}$  W dan  $6,8 \times 10^{-4}$ . Disini dapat dilihat bahwa nilai  $\dot{Q}$  fluida kerja 1 lebih besar dibandingkan dengan fluida kerja 2. Adapun faktor yang mempengaruhi nilai  $\dot{Q}$  ini yaitu nilai  $C_p$  yang dimana masing masing fluida kerja nilainya yaitu  $4,18$  kJ/kg $\cdot$ °C dan  $3,499$  kJ/kg $\cdot$ °C. Disini dapat dilihat bahwa nilai  $C_p$  fluida kerja 1 lebih besar daripada fluida kerja 2, maka daripada itu nilai  $\dot{Q}$  fluida kerja 1 lebih besar daripada fluida kerja 2.

### Pressure Drop

Dalam pembahasan *Pressure Drop* ini, didapatkan nilai  $\Delta P$  untuk masing masing fluida kerja 1 dan 2 yaitu  $1,5 \times 10^{-2}$  W dan  $2,1 \times 10^1$ . Disini dapat dilihat bahwa nilai  $\Delta P$  fluida kerja 2 lebih besar dibandingkan dengan fluida kerja 1. Adapun faktor yang mempengaruhi nilai  $\Delta P$  ini yaitu nilai densitas masing masing fluida kerja yaitu  $997$  kg/m<sup>3</sup> dan  $1050$  kg/m<sup>3</sup>. Semakin kecil nilai densitas maka nilai  $\Delta P$  yang didapatkan semakin kecil dikarenakan kepadatan fluida nya semakin renggang dibandingkan dengan densitasnya semakin besar. Maka daripada itu untuk nilai *pressure drop* yang baik dibutuhkan densitas yang besar untuk penurunan tekanan fluida kerja yang lebih baik.



Gambar 7 Nilai Heat Transfer Convection



Gambar 8. Nilai Pressure Drop

### Kesimpulan

Fluida air memiliki nilai karakteristik perpindahan kalor yang baik dibandingkan dengan etilen glikol 50% karena memiliki bilangan reynolds 561,8, nusselt 3,702, heat transfer convectionnya  $1,1 \times 10^{-3}$  W, namun nilai pressure drop lebih rendah dibandingkan dengan glikol yaitu  $1,5 \times 10^{-2}$  W.

**Daftar Pustaka**

- Afif, M. T., & Pratiwi, I. A. P. (2015). Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(2), 95–99. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1>
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). Fluid Mechanics Fundamentals and Applications. In L. Buczek (Ed.), *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (3rd ed.). Mc Graw Hill.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and Mass Transfer : Fundamentals & Applications Sixth Edition* (6th ed.). Mc Graw Hill.
- Karaman, A. S., Kilic, M., & Uyar, A. (2018). Sustainability reporting in the aviation industry: worldwide evidence. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 9(4), 362–391. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-12-2017-0150>
- Kiani, M., Omiddezyani, S., Houshfar, E., Miremadi, S. R., Ashjaee, M., & Mahdavi Nejad, A. (2020). Lithium-ion battery thermal management system with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/AgO/CuO nanofluids and phase change material. *Applied Thermal Engineering*, 180, 115840. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115840>
- Tariq, M., Maswood, A. I., Gajanayake, C. J., & Gupta, A. K. (2017). Aircraft batteries: Current trend towards more electric aircraft. *IET Electrical Systems in Transportation*, 7(2), 93–103. <https://doi.org/10.1049/iet-est.2016.0019>
- Wheeler, P. (2016). Technology for the More and All Electric Aircraft of the Future. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ICA-ACCA.2016.7778519>