



## Eksperimen Heat Transfer pada Minichannel Baterai Pesawat Listrik dengan Fluida Etilen Glikol-Air

### *Heat Transfer Experiments on Electric Aircraft Battery Minichannels with Ethylene Glycol-Air Fluid*

Dhawysulthan M A<sup>1</sup>, Gaguk Marausna<sup>2</sup>, Farid Jayadi<sup>3</sup>, Eric Leonardo Sitepu<sup>4</sup>,  
Muhamad Bayu Adi Kusuma<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>, Institusi Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta  
180302135@students.sttkd.ac.id\*

#### **Abstract**

*The aviation industry has changed the mass and private transportation industry, thus making aircraft more and more varied, this type of air transportation has a very high adverse effect on the atmosphere because of its very high fuel consumption and emitting so many pollutants that aircraft for the future will lead to There are 2 types of aircraft, namely Hybrid-Electric Aircraft and All-Electric Aircraft. Both have the same electric power drive, but there are weaknesses in this transportation. Namely on the battery used. The method used is the experimental method. While this type of research uses an electric aircraft battery prototype where the temperature of the working fluid will be measured with a thermocouple 1 (T1) and flowed by a pump from tank 1 to the minichannel in the battery pack. For the battery, the temperature will be measured by thermocouple 2 (T2), thermocouple 3 (T3), and thermocouple 4 (T4) then the working fluid from the minichannel will be flowed into tank 2 where the temperature will be measured using thermocouple 5 (T5). The results obtained in this study are the use of working fluid 75% Ethylene Glycol – 25% Water is better than 75% Water – 25% Ethylene Glycol in terms of pressure drop, temperature value, and heat transfer convection itself. Meanwhile, for the working fluid flow velocity and Reynolds Number, the working fluid is 75% Ethylene Glycol – 25% Water better than 75% Water – 25% Ethylene Glycol.*

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

#### **Abstrak**

Industri aviasi telah mengubah industri transportasi massal maupun privat, sehingga membuat pesawat terbang semakin banyak variasinya, jenis transportasi udara ini memiliki pengaruh buruk yang sangat tinggi terhadap atmosfer karena konsumsi bahan bakar yang sangat tinggi dan membuang polutan yang sangat banyak sehingga pesawat untuk masa depan akan mengarah ke 2 tipe pesawat yaitu *Hybrid-Electric Aircraft* dan *All-Electric Aircraft*. Keduanya memiliki kesamaan berpengerak tenaga listrik, tetapi terdapat kelemahan pada transportasi ini. Yaitu pada baterai yang digunakan. Metode yang digunakan adalah 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). Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah penggunaan fluida kerja 75% Etilen Glikol – 25 % Air lebih baik daripada 75% Air – 25% Etilen Glikol dari segi *pressure drop*, nilai temperatur, dan *heat transfer convection* nya itu sendiri. Sedangkan untuk kecepatan aliran fluida kerja dan *Reynolds Number* yang didapatkan lebih baik fluida kerja 75% Etilen Glikol – 25% Air dibandingkan dengan 75% Air – 25% Etilen Glikol.

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

## **1. Pendahuluan**

Industri aviasi telah mengubah industri transportasi massal maupun privat, sehingga membuat pesawat terbang tambah banyak variasinya, jenis transportasi udara ini memiliki pengaruh buruk yang sangat tinggi terhadap atmosfer karena konsumsi bahan bakar yang sangat tinggi dan membuang polutan yang sangat banyak [1]. Data emisi terbaru menunjukkan bahwa peran dunia transportasi dalam emisi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer berada di angka 7% dan sekitar 2,6% di antaranya disumbangkan oleh industri penerbangan [2]. Oleh karena itu, pesawat untuk masa depan akan mengarah ke 2 tipe pesawat yaitu *Hybrid-Electric Aircraft* dan *All-Electric Aircraft* [3].

Baterai merupakan salah satu part yang sangat esensial di dalam *Hybrid-Electric Aircraft* maupun *All-Electric Aircraft*. Baterai pack kendaraan listrik saat ini mempunyai densitas sangat tinggi dan berat yang

diperlukan rendah agar mengatur sel-sel baterai tersebut muat di dalam kendaraan listrik sebanyak mungkin. Namun, panas yang dihasilkan dari komponen baterai merupakan masalah serius yang dapat mempengaruhi energy storage, life cycle, durability, dan efficiency baterai kendaraan listrik [4].

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Baterai *Lithium-Ion* (LIB) adalah penyimpanan energi berdasarkan senyawa interkalasi, telah mendapat banyak perhatian dalam dua tahun terakhir. LIB juga akan digunakan pada kendaraan listrik karena sifatnya yang diinginkan seperti bobot yang ringan, kepadatan energi yang tinggi, potensi sirkuit terbuka, efek memori minimal, pengisian cepat, tingkat pengosongan otomatis yang rendah, dan ramah lingkungan [5].

*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. Konduksi adalah perpindahan panas dari partikel yang lebih energik dari suatu zat ke partikel yang kurang energik yang berdekatan sebagai akibat dari interaksi antara partikel. Konveksi adalah cara perpindahan panas antara zat padat permukaan dan cairan atau gas yang berdekatan yang bergerak, dan itu melibatkan efek gabungan dari konduksi dan gerakan fluida. Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau foton) sebagai akibat dari perubahan dalam konfigurasi elektron atom atau molekul [6]. Untuk persamaan dari *heat transfer convection* yang akan digunakan yaitu :

$$\dot{Q}_{conv} = hA(\Delta T_{lm}) \quad (1)$$

Untuk  $\dot{Q}$  adalah nilai *heat transfer convection*,  $h$  adalah koefisien *heat transfer*,  $A$  adalah luas permukaan selang, dan  $T_{lm}$  adalah *Log Mean Temperature*.

Bilangan *Reynolds* atau 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. lagi 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 [7]. Menggunakan Persamaan Bilangan *Reynolds* Mengenai aliran fluida cair dalam selang, yaitu :

$$Re = \frac{V_f D_h}{\nu} \quad (2)$$

Dimana  $Re$  adalah bilangan *Reynolds*,  $V_f$  adalah kecepatan fluida kerja,  $D_h$  adalah diameter hidrolis, dan  $\nu$  adalah viskositas dinamik. Untuk  $Re \leq 2300$  adalah aliran *laminar*,  $2300 \leq Re \leq 4000$  adalah aliran transisi, dan  $Re \geq 4000$  adalah aliran *turbulence* [8].

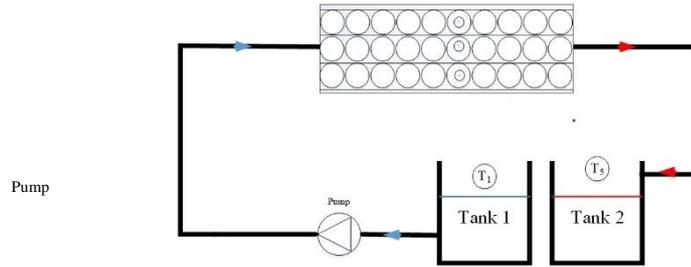
Penurunan tekanan atau *pressure drop* adalah perbedaan antara tekanan di antara saluran masuk dan saluran keluar dari tabung. Ini adalah ukuran resistensi yang diberikan tabung untuk mengalir di atasnya, sedangkan dapat dijelaskan oleh (Çengel & Ghajar, 2015) bahwa persamaan penurunan tekanan yaitu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

$$\Delta p = f \frac{L}{D_h} \frac{\rho V_f^2}{2} \quad (3)$$

Untuk  $\Delta p$  adalah penurunan tekanan atau *pressure drop*,  $f$  adalah faktor gesek,  $L$  adalah panjang *minichannel*,  $D$  adalah diameter hidrolis,  $\rho$  adalah densitas fluida kerja, dan  $V_f$  adalah kecepatan fluida kerja.

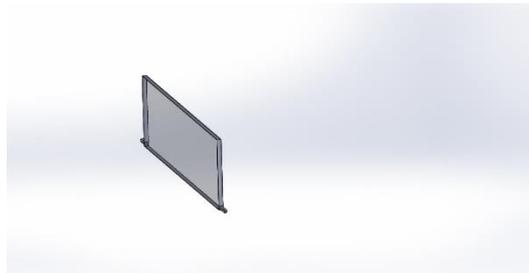
## 3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian yang dilakukan, penulis akan menggunakan metode eksperimen. Sedangkan jenis penelitian ini menggunakan *prototype* 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).

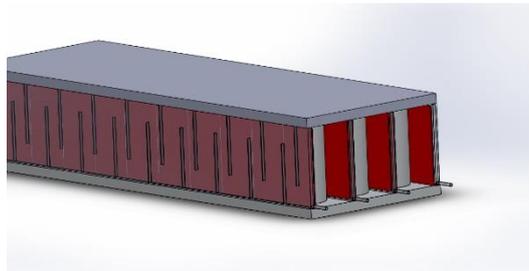


Gambar 1. SkemaEksperimental

Adapun 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 kerja nya sendiri ada 2 tipe yaitu fluida kerja A 75% Etilen Glikol – 25% Air dan fluida kerja B 75% Air – 25% Etilen Glikol.



Gambar 2. BentukMinichannel yang akanDiuji



Gambar 3. BentukMinichannel, dan baterai

Tabel1. Tabel Properties FluidaKerja

JenisFluida	75 EG / 25 W (FluidaKerja A)	75 W / 25 EG (FluidaKerja B)
Thermal Conductivity, k (W/m·K)	0,3299	0,47195
Density, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1079,72	1038,36
Specific Heat Capacity, Cp (kJ/kg·K)	3,1695	3,8395
Viscosity Kinematic, $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	9,59	0,447082
Viscosity Dynamic, $\mu$ (kg/m·s)	79,269	5,069

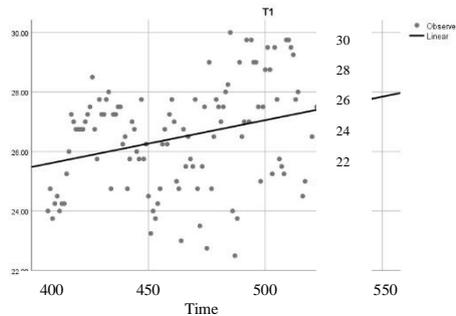
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan pengujian dalam penelitian ini meliputi fluida kerja A dan fluidakerja B, dimana dalam setiap pengujian berlangsung selama 10 menit yang terdiri dari 5 menit pengaliran fluida kerja dan 5 menit

berikutnya untuk pengambilan data. Untuk data yang didapatkan oleh masing-masing fluida kerja yaitu sebagai berikut :

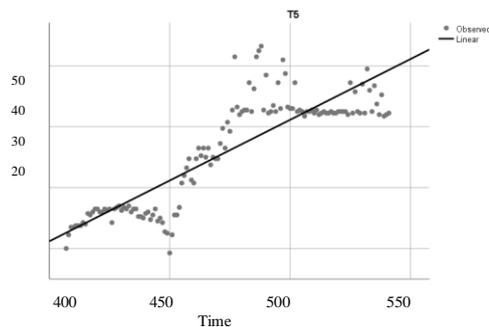
#### Temperatur Fluida Kerja 75% Etilen Glikol – 25%

Dalam grafik temperatur yang terbaca pada *thermocouple* 1 di bawah bahwa untuk aliran *inlet* setiap detik nya semakin berubah-ubah dikarenakan faktor fluida yang berada di *tank* 1 mengalami perpindahan kalor konveksi akibat temperatur ruangan lalu di beberapa menit berikutnya akan terjadi kenaikan temperatur dikarenakan *heat transfer* pada siklus aliran.



Gambar 4. Grafik T1 (In) Fluida Kerja A

Sedangkan untuk penjelasan grafik *outlet* atau T5 yaitu pada aliran *outlet* setiap detik nya semakin naik dikarenakan *heat transfer* yang terjadi diantara *minichannel* dan baterai yang dimana baterai mempunyai temperatur sekitar 70°C sampai dengan 80°C. Untuk grafik di bawah ini, 50 detik awal T5 belum terjadi *heat transfer* dengan sempurna, akan tetapi setelah 50 detik awal, *heat transfer* terjadi dan semakin meningkat sampai fluida kerja di *tank* 1 habis.

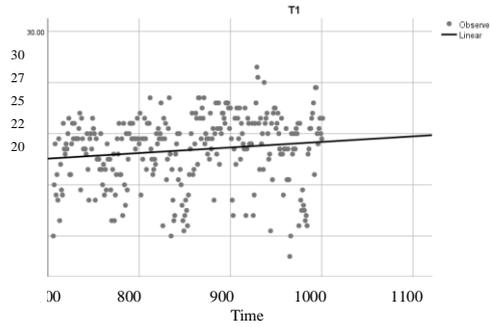


Gambar 5. Grafik T5 (Out) Fluida Kerja A

Untuk rata-rata temperatur yang didapatkan dalam eksperimen ini didapatkan nilai yaitu di T1 26,6 °C, T2 73,5°C, T3 75,4°C, T4 70,0 °C, dan T5 36,0 °C

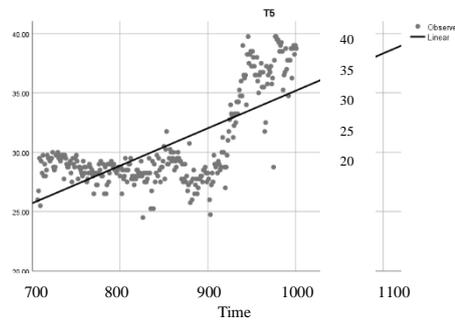
#### Temperatur Fluida Kerja 75% Air – 25% Etilen Glikol

Dalam grafik temperatur yang terbaca pada *thermocouple* 1 di bawah bahwa untuk aliran *inlet* setiap detik nya semakin berubah-ubah dikarenakan faktor fluida yang berada di *tank* 1 mengalami perpindahan kalor konveksi akibat temperatur ruangan lalu di beberapa menit berikutnya akan terjadi kenaikan temperatur dikarenakan *heat transfer* pada siklus aliran.



Gambar 6. Grafik T1 (In) Fluida Kerja B

Sedangkan untuk penjelasan grafik *outlet* atau T5 yaitu pada aliran *outlet* setiap detik nya semakin naik dikarenakan *heat transfer* yang terjadi diantara *minichannel* dan baterai yang dimana baterai mempunyai temperatur sekitar 70°C sampai dengan 80°C. Untuk grafik di bawah ini, 100 detik awal T5 belum terjadi *heat transfer* dengan sempurna, akan tetapi setelah 100 detik awal, *heat transfer* terjadi dan semakin meningkat sampai fluida kerja di *tank* lhabis.

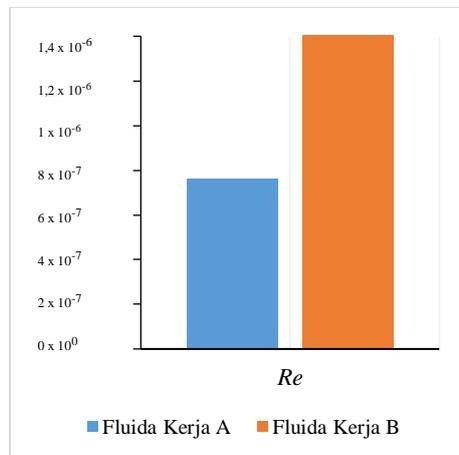


Gambar 7. Grafik T5 (Out) Fluida Kerja B

Untuk rata-rata temperatur yang didapatkan dalam eksperimen ini didapatkan nilai yaitu di T1 24,3 °C, T2 67,1 °C, T3 67,5 °C, T4 68,5 °C, dan T5 30,7 °C.

### Reynolds Number

Dapat dijelaskan dalam *Reynolds Number*, nilai dari *Reynolds Number* yang dimana untuk kecepatan pompa nya konstan, didapatkan untuk fluida kerja A sebesar  $7,62 \times 10^{-7}$ , sedangkan untuk fluida kerja B sebesar  $1,23 \times 10^{-5}$ . Disini didapatkan fenomena bahwa *Reynolds Number* untuk fluida kerja B lebih tinggi dibandingkan dengan fluida kerja A dikarenakan faktor kecepatan aliran fluida dari fluida kerja B Etilen Glikol lebih besar dibandingkan dengan fluida kerja A dengan masing-masing nilai sebesar  $2,95 \times 10^{-4}$  dan  $3,36 \times 10^{-4}$ . Ada faktor densitas atau massa jenis dan *viscosity dynamic* yang mempengaruhi nilai *Reynolds Number* fluida kerja B lebih besar dibandingkan fluida kerja A. Didapatkan nilai densitas nya yaitu untuk fluida kerja A sebesar 1079,72 kg/m<sup>3</sup>, dan fluida kerja B sebesar 1038,36 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan untuk *viscosity dynamic* didapatkan nilai untuk fluida kerja A sebesar 79,269 kg/m·s, sedangkan nilai fluida kerja B sebesar 5,069 kg/m·s.

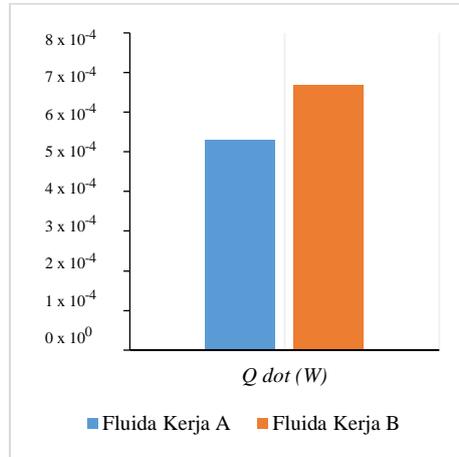


Gambar 8. Perbandingan Nilai Reynolds Number

### Heat Transfer Convection

Dapat dijelaskan dalam *heat transfer convection*, nilai dari *heat transfer convection* antara fluida kerja A dan fluida kerja B didapatkan nilai untuk fluida kerja A sebesar  $5,300 \times 10^{-4}$  W, sedangkan nilai untuk fluida

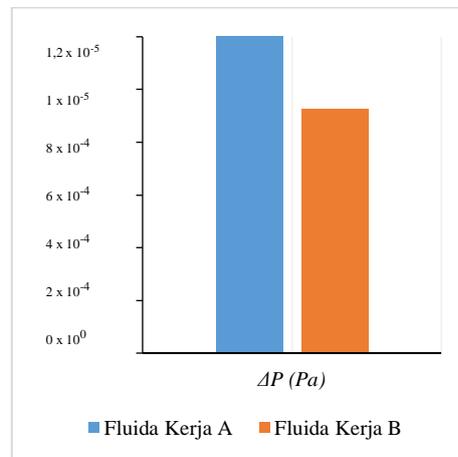
kerja B sebesar  $6,683 \times 10^{-4} \text{W}$ . Disini didapatkan fenomena bahwa nilai *heat transfer convection* yang didapatkan lebih besar dengan fluida kerja B dibandingkan dengan fluida kerja A dikarenakan nilai *specific heat capacity* yang digunakan lebih besar fluida kerja B dengan nilai  $3,8395 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$  dibandingkan dengan fluida kerja A dengan nilai  $3,1695 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ .



Gambar 9. Perbandingan Nilai Heat Transfer Convection

### Pressure Drop

Dapat dijelaskan bahwa nilai *pressure drop* yang didapatkan dalam pengujian ini yaitu untuk fluida kerja A didapatkan nilai sebesar  $1,022 \times 10^6 \text{ Pa}$ , sedangkan untuk nilai fluida kerja B didapatkan nilai sebesar  $9,258 \times 10^4$ . Disini didapatkan bahwa nilai *pressure drop* yang didapatkan sesuai dengan teori yang ada dimana nilai *pressure drop* terpengaruh dari nilai densitas atau massa jenis antara fluida kerja A dan fluida kerja B masing masing sebesar  $1079,72 \text{ kg/m}^3$  dan  $1038,36 \text{ kg/m}^3$ , walaupun nilai kecepatannya fluida kerja A lebih kecil dibandingkan fluida kerja B, akan tetapi didapatkan nilai *pressure drop* fluida kerja A lebih baik daripada fluida kerja B.



Gambar 10. Perbandingan Nilai Pressure Drop

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan data dari hasil pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Data temperatur rata-rata *in* dan rata-rata *out* untuk masing-masing fluida kerja A yaitu *In* 26,6, *Out* 36,0, dan B yaitu *In* 24,3, *Out* 30,7. Didapatkan nilai yang sesuai dimana untuk nilai *In* lebih kecil daripada nilai *Out*.
2. Data *Reynolds Number* didapat untuk fluida kerja A sebesar  $7,62 \times 10^{-7}$  dan fluida kerja B sebesar  $1,23 \times 10^{-5}$ . Faktor yang mempengaruhi fluida kerja B lebih besar dikarenakan nilai densitas dan viskositas dinamik yang didapatkan lebih besar daripada fluida kerja A.
3. Data *heat transfer convection* didapatkan untuk fluida kerja A sebesar  $5,3 \times 10^{-4} \text{ W}$  dan fluida kerja B sebesar  $6,7 \times 10^{-4} \text{ W}$ . Faktor yang mempengaruhi nilai *heat transfer convection* disini yaitu nilai *specific heat capacity* fluida kerja B lebih besar daripada fluida kerja A.
4. Data *pressure drop* yang didapatkan untuk fluida kerja A sebesar  $9,1 \times 10^4$  dan fluida kerja B sebesar  $6,3 \times 10^2 \text{ Pa}$ . Faktor fluida kerja A mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan fluida kerja B dikarenakan faktor

densitas lebih besar walaupun kecepatan aliran fluida kerja B lebih besar dibandingkan dengan fluida kerja A.

## Referensi

- [1] S. A. Taghizadeh, G. H. Shafabakhsh, and I. Aghayan, "Evaluation of aircraft emission at Imam Khomeini International Airport and Mehrabad International Airport," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 11, pp. 6587–6598, 2019, doi: 10.1007/s13762-019-02381-9.
- [2] M. D. Staples, R. Malina, P. Suresh, J. I. Hileman, and S. R. H. Barrett, "Aviation CO<sub>2</sub> emissions reductions from the use of alternative jet fuels," *Energy Policy*, vol. 114, no. December 2017, pp. 342–354, 2018, doi: 10.1016/j.enpol.2017.12.007.
- [3] A. W. Schäfer *et al.*, "Technological, economic and environmental prospects of all-electric aircraft," *Nat. Energy*, vol. 4, no. 2, pp. 160–166, 2019, doi: 10.1038/s41560-018-0294-x.
- [4] S. Wiriysart, C. Hommalee, S. Sirikasemsuk, R. Prurapark, and P. Naphon, "Thermal management system with nanofluids for electric vehicle battery cooling modules," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 18, no. December 2019, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1016/j.csite.2020.100583.
- [5] F. Baskoro, H. Q. Wong, and H. J. Yen, "Strategic Structural Design of a Gel Polymer Electrolyte toward a High Efficiency Lithium-Ion Battery," *ACS Appl. Energy Mater.*, vol. 2, no. 6, pp. 3937–3971, 2019, doi: 10.1021/acsaem.9b00295.
- [6] Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer : Fundamentals & Applications Sixth Edition*, 6th ed. Boston: Mc Graw Hill, 2020.
- [7] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*, 3rd ed. Boston: Mc Graw Hill, 2014.
- [8] M. T. A. Fadli *et al.*, "Rancang Bangun Visualisasi Aliran Air di Dalam Pipa Tubular dengan Vortex Generator untuk Meningkatkan Sifat Turbulensi Fluida," *STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 7, no. 2, pp. 205–215, 2021, [Online]. Available: <https://www.jurnal.sttkd.ac.id/index.php/ts/article/view/321%0Ahttps://www.jurnal.sttkd.ac.id/index.php/ts/article/download/321/270>.