

ANALISIS PERPINDAHAN KALOR PADA MINICHANNEL PENDINGIN BATERAI PESAWAT ELEKTRIK DENGAN METODE CFD

¹G. Marausna, ²F. Jayadi, ³M.B.A. Kusuma

^{1,2,3}*Teknik Dirgantara, STTKD Yogyakarta*

Abstrak

Industri aviasi telah mengubah industri transportasi massal maupun privat, 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. Tetapi kelemahan di baterai yang berat dan harus memiliki life time yang panjang. Baterai menggunakan minichannel dan fluida sebagai media heat transfer. Baterai yang digunakan di kebanyakan pesawat adalah Lion. Lalu hasil yang diinginkan adalah bagaimana kecepatan yang sesuai untuk minichannel sebagai pendinginan baterai dalam, karena kecepatan sangat mempengaruhi konveksi. Metode penelitian ini menggunakan simulasi untuk mengetahui kondisi aliran di dalam minichannel dan variasi yang digunakan adalah Reynold number mulai dari 500 hingga turbulen 5500, hasil dari simulasi adalah jika Reynold number lebih besar dengan aliran kecepatan lebih besar, nilai temperatur outlet akan semakin kecil, Temperatur inlet dengan pengujian 20 °C., hasil yang diperoleh adalah semakin tinggi Reynold number, semakin tinggi juga kecepatan, dan temperatur outlet semakin rendah. Aliran didalam minichannel berubah seiring dengan peningkatan Reynold number.

Kata kunci: Heat transfer, Baterai Pesawat Listrik, Air, Minichannel, CFD, Reynold number.

Abstract

The aviation industry has changed the mass and private transportation industry, this type of air transportation has a very high negative impact on the atmosphere because of its very high fuel consumption and emitting a lot of pollutants so that future aircraft will lead to 2 types of aircraft, namely Hybrid-Electric Aircraft and All-Electric Aircraft. But the weakness in the battery is heavy and must have a long life time. The battery uses a minichannel and fluid as a heat transfer medium. The battery used in most aircraft is Lion. Then the desired result is how the speed is suitable for the minichannel as cooling the inner battery, because speed greatly affects convection. This research method uses a simulation to determine the flow conditions in the minichannel and the variation used is the Reynold number ranging from 500 to turbulent 5500, the result of the simulation is that if the Reynold number is larger and the flow velocity is greater, the outlet temperature value will be smaller; the inlet temperature by testing 20 °C., the results obtained are the higher the Reynold number, the higher the speed, and the lower the outlet temperature. The flow in the minichannel changes as the Reynolds number increases.

Keywords: Heat transfer, Electric Aircraft Battery, Water, Minichannel, CFD, Reynold number

Pendahuluan

Kekhawatiran yang berkembang tentang perubahan iklim telah mendorong negara-negara Uni Eropa untuk setuju untuk mengurangi emisi sebesar 80% pada tahun 2050 dan menstabilkan karbon dioksida atmosfer pada 450 ppm untuk menjaga pemanasan global di bawah 2°C. Karena transportasi udara telah berkembang selama beberapa dekade terakhir, langkah menuju lebih banyak pesawat listrik telah berjalan jauh. Banyak subsistem yang sebelumnya menggunakan tenaga hidrolis, mekanik dan pneumatik telah diganti seluruhnya atau sebagian dengan sistem kelistrikan (Andwari *et al.*, 2017). Baterai merupakan salah satu komponen terpenting dalam pesawat listrik atau *hybrid electric*. Kendaraan listrik baterai berjalan sepenuhnya dengan baterai dan penggerak listrik, tanpa mesin pembakaran internal tradisional (Ogura dan Kolhe, 2017). Di dalam baterai, perubahan suhu antara modul dan sel harus diakomodasi, atau *thermal run away* dapat terjadi. Untuk menghilangkan suhu berlebih dalam baterai, perangkat manajemen termal baterai yang sesuai juga diperlukan. (Kumar dkk

¹Email Address: 180202072@students.sttkd.ac.id
Received 12 Juni 2022, Available Online 30 Juli 2022

 <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i1.513>

2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aliran pada saluran mikro yang digunakan sebagai media perpindahan panas menggunakan metode CFD.

Tinjauan Pustaka

Baterai lithium-ion (LIB) adalah metode penyimpanan energi berdasarkan senyawa interkalasi, yang telah menarik 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 yang minimal, pengisian cepat, tingkat pelepasan otomatis yang rendah, dan ramah lingkungan (Baskoro *et al.*, 2019).

Heat transfer adalah pertukaran energi internal sensibel dan laten antara dua media karena perbedaan suhu. Kalor dapat ditransfer dalam tiga cara berbeda: konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi adalah perpindahan panas dari partikel berenergi tinggi ke partikel berenergi rendah yang berdekatan karena interaksi antar partikel. Konveksi adalah suatu bentuk perpindahan kalor antara permukaan padat dan cairan atau gas yang berdekatan yang bergerak yang melibatkan efek gabungan dari konduksi dan gerakan fluida. Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau foton) karena perubahan konfigurasi elektron atom atau molekul (Çengel & Ghajar, 2020).

Bilangan Reynolds adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mewakili jenis aliran. 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 (Çengel & Cimbala, 2014). Menggunakan Persamaan Bilangan Reynolds Mengenai aliran fluida cair dalam pipa, yaitu :

$$Re = \frac{V_{avg}D}{\nu} = \frac{\rho V_{avg}D}{\mu} \quad (1)$$

Dimana untuk $Re \leq 2300$ adalah aliran *laminar*, $2300 \leq Re \leq 4000$ adalah aliran transisi, dan $Re \geq 4000$ adalah aliran *turbulence* (Fadli *et al.*, 2021)

Penerapan CFD atau *Computational Fluid Dynamic* dapat dilakukan untuk keperluan simulasi sistem sebelum *experiment* dilakukan. baik untuk riset teoritis, desain ataupun kepentingan pPresentasi ide baru. Berikut adalah beberapa contoh bidang industri yang memanfaatkan bantuan softwaRe CFD. Contohnya pada industri energi untuk meneliti *airfoil*, (Hoelzen *et al.*, 2018) menyatakan para peneliti telah bekerja untuk mengembangkan jenis turbin angin baru untuk menghasilkan listrik dari energi angin. Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam komputasi

$$\text{Continuity} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0 \quad (2)$$

$$x\text{-momentum} \quad \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u u) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad } u) + S_{Mx} \quad (3)$$

$$y\text{-momentum} \quad \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v u) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad } v) + S_{My} \quad (4)$$

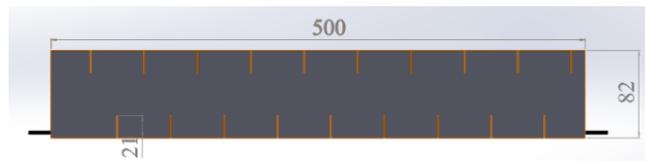
$$z\text{-momentum} \quad \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w u) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad } w) + S_{Mz} \quad (5)$$

$$\text{Energy} \quad \frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i u) = -p \text{div } u + \text{div}(k \text{grad } T) + \Phi + S_i \quad (6)$$

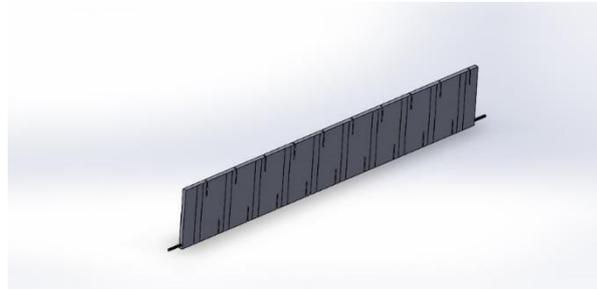
Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan membandingkan antara bentuk aliran *laminar* hingga bentuk aliran *turbulent*. Fungsi *pitch* yang ada di *minichannel* yaitu untuk memperlambat aliran agar konveksi yang terjadi lebih baik. Variasi yang dilakukan adalah perbedaan Reynold number yang berbeda dari 10, 1280, 5120 dengan kelipatan 2.

Berikut penjelasan tentang dimensi *minichannel*, dan skema pengujian yang akan dijelaskan di bawah ini : Panjang *minichannel* 500 mm, lebar 5 mm, tinggi 80 mm, jumlah *pitch* 19 dan tinggi 2 cm.



Gambar 1. Skema Aliran *Minichannel* Tampak Samping

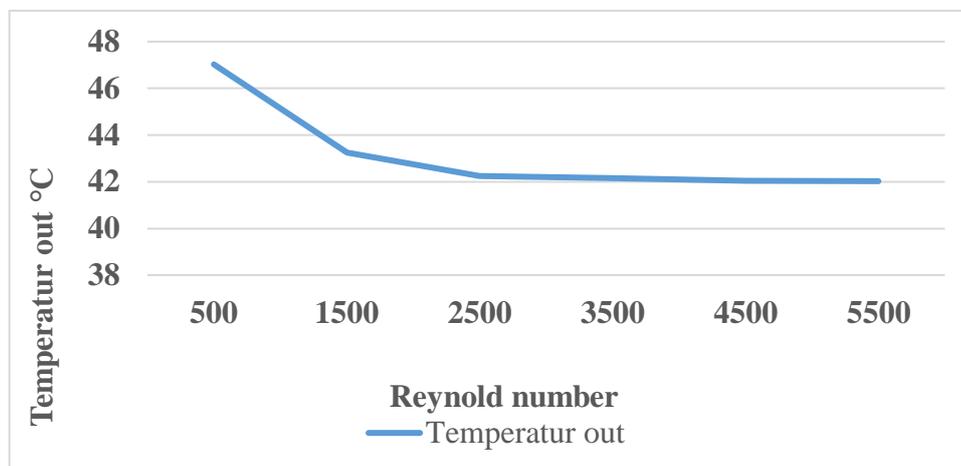


Gambar 2. Skema *Minichannel* 3D

Hasil dan Pembahasan

Set up simulasi CFD

Set up simulasi CFD dengan *setting* dinding *minichannel* temperatur 60 °C dan *inlet* temperatur 20 °C. Kecepatan aliran menyesuaikan dengan Reynold number yang sudah dihitung. Reynold number juga akan mempengaruhi kecepatan aliran yang di berikan. Variasi Re bertujuan untuk menganalisa pengaruh kecepatan pada *minichannel*. Temperatur 20 °C adalah temperatur yang sesuai untuk pendinginan karena fluida yang dipakai air dan air memiliki temperatur rata-rata 20°. Baterai pada suhu rata-rata optimum yang beroperasi di lingkungan sekitar mulai dari 40 °C hingga 50 °C (104 F hingga 122 F) (Han *et al*, 2018). *Set up* pada baterai saat simulasi adalah 60°C dikarenakan kita meningkatkan suhu baterai untuk tinjauan mencari batas aman pendinginan baterai, agar saat digunakan *Set up* tersebut dapat pas pada pendinginan *minichannel*. Jumlah *mesh* 321.491 dan kualitas *mesh* skewness 0.24 rata-rata, maksimum 0.83. Pada kecepatan 0.13 pada literasi 233 sudah konvergen. Continuity 5.8665×10^{-7} , x-velocity 5.7123×10^{-5} , y-velocity 2.7791×10^{-5} , z-velocity 2.8072×10^{-5} , energy 1.0157×10^{-6} , k 3.0182×10^{-4} , epsilon 4.5297×10^{-4} .

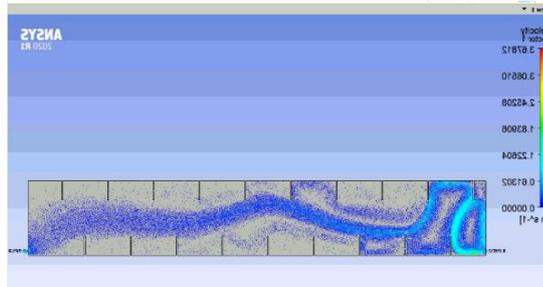


Gambar 3. Grafik temperatur *outlet* dan kecepatan

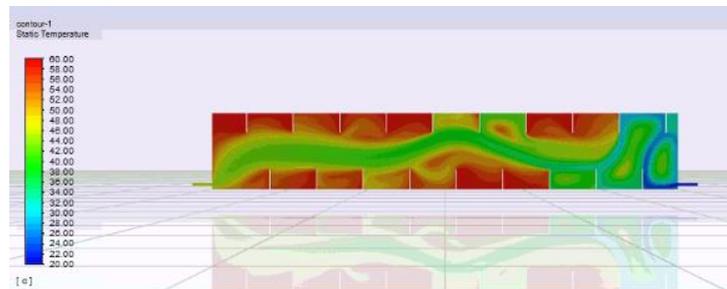
Pada simulasi, perbandingan lain juga dilakukan untuk melihat perbedaan *inlet* 20°C, Karena pengaruh temperatur *inlet* dengan suhu yang sedikit tinggi, akan berpengaruh banyak ke temperatur *outlet* nya.

Distribusi Kecepatan dan temperatur pada *minichannel* aliran *laminar*

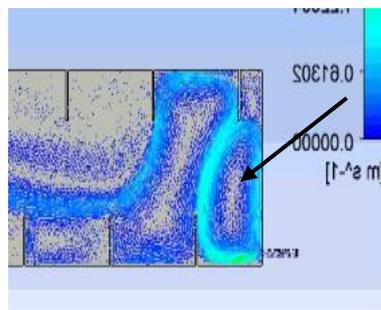
Aliran *laminar* dilakukan pengujian mulai dari Reynold number 500 hingga 5500. Jika Reynold number semakin tinggi maka kecepatan aliran juga akan semakin tinggi dan jika kecepatan semakin tinggi, temperatur *outlet* akan semakin menurun atau semakin dingin, dengan kondisi konveksi dinding *minichannel* 60 °C. Jika kecepatan semakin tinggi, aliran air yang melewati *minichannel* mengambil kalor dalam jumlah sedikit.



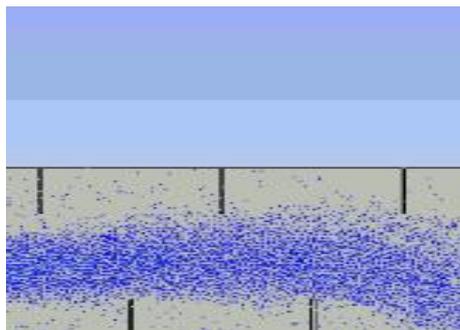
Gambar 4. Distribusi kecepatan Re 500



Gambar 5. Distribusi temperatur Re 500



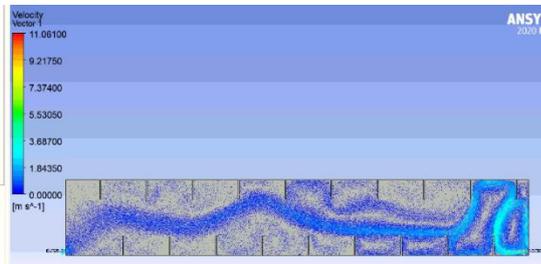
Gambar 6. Distribusi kecepatan area *inlet* Re 500



Gambar 7. Distribusi temperatur area *inlet* Re 500

Pada Gambar 4 menunjukkan aliran *laminar* Reynold number 500 dengan kecepatan aliran 3.025 m/s. dengan pengujian menggunakan fluida air. Temperatur *outlet* pada *minichannel* adalah 59.96 °C. pada kecepatan tersebut aliran dalam *minichannel* menabrak *pitch* bagian bawah dan bagian atas *pitch*. Pada Gambar 6 area *inlet* menjadi distribusi aliran paling cepat dan itu ditandakan dengan kontur berwarna biru muda, aliran menjadi *swirl* saat fluida mengarah kebagian atas dinding *minichannel*. Lalu pada Gambar 7 distribusi temperatur dengan suhu paling dingin adalah area *inlet* dan ditunjukkan dengan kontur berwarna hijau.

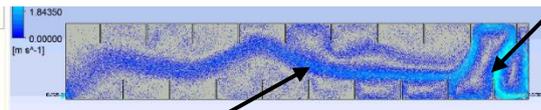
Kemudian Reynold number terbesar aliran *laminar* pada simulasi ini adalah 1500 pada pengujian ini temperatur *outlet minichannel* menjadi lebih kecil di dibandingkan dengan Re 500.



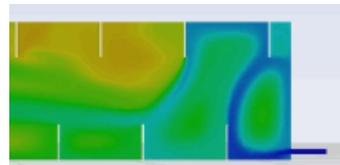
Gambar 8. Distribusi kecepatan Re 1500



Gambar 9. Distriibusi temperatur Re 1500



Gambar 10. Distribusi kecepatan area *inlet* Re 1500

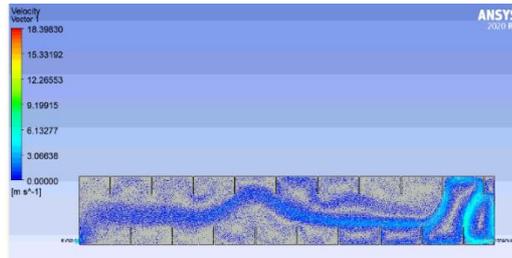


Gambar 11. Distribusi temperatur area *inlet* 1500

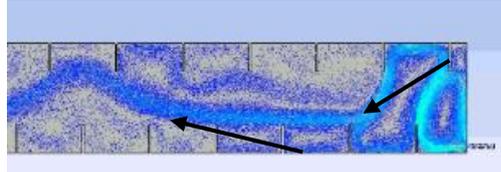
Pada Gambar 10 area *inlet* aliran *swirl* menjadi lebih tinggi dan pada Gambar 8 aliran yang menuju ke *outlet* sedikit berkelok mengikuti jalur., fenomena ini juga tidak berbeda jauh dengan Re 500 Pada simulasi ini kecepatan aliran adalah 9.07 m/s. lalu pada temperatur *outlet minichannel* menurun sangat drastis menjadi 43.24 °C. Jika kecepatan semakin besar maka Reynold number juga akan semakin tinggi. Dan pada Gambar 11 menunjukkan perbedaan temperatur yang sangat jauh, karena kecepatan Re lebih besar, temperatur di dalam *minichannel* lebih dingin, ditunjukkan ddengan kontur berwarna hijau.

Distribusi Kecepatan dan temperatur pada *minichannel* aliran transisi

Aliran transisi memiliki Reynold number antara 2300-4000 dan kecepatan pada Reynold number ini akan semakin besar dan berpengaruh kepada *heat transfer*. Berikut paparan kontur kecepatan dan kontur temperatur.



Gambar 12. Distribusi kecepatan Re 2500

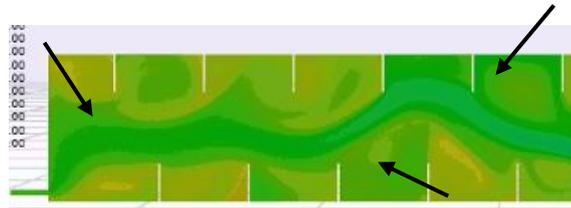


Gambar 13. Distribusi kecepatan area tengah Re 2500

Dengan kecepatan 15.11 m/s pada Gambar 12 aliran *swirl* area *inlet* hampir sama dengan Re 1500 dan aliran transisi ini adalah aliran di antara *laminar* dan *turbulen*, terdapat area kontur berwarna biru muda menandakan area tersebut memiliki kecepatan aliran yang tinggi di dibandingkan dengan area lainnya. Pada Gambar 13 Area yang ditunjuk dengan panah adalah fenomena aliran *swirl* transisi yang tidak terjadi pada Re lain. Berikutnya yang terjadi pada Re 2500 tidak berbeda jauh dengan Re 1500.



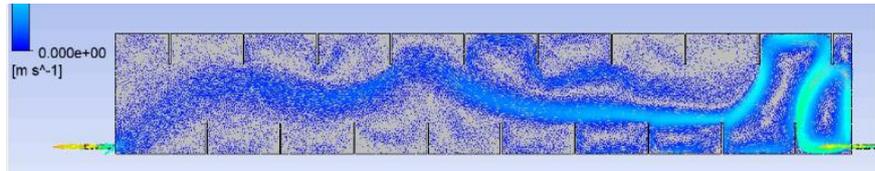
Gambar 14. Dstribusi temperatur pada Re 2500



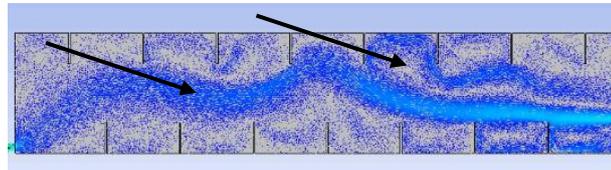
Gambar 15. Distribusi temperatur area tengah Re 2500

Pada area *minichannel* berwarna hijau menandakan bahwa temperatur sangat berkurang drastis, jika dibandingkan dengan Re 1500 perbedaan temperatur *outlet* hanya 1°C. Temperatur *outlet minichannel* adalah 42.24 °C. Pada Gambar 14 menunjukkan area tersebut kebanyakan berwarna hijau dan pada Re 1500 masih ada warna kuning sedikit, tetapi ada perbedaan kontur temperatur saat Re 2500 dan lebih banyak berwarna hijau menandakan temperatur lebih menurun. Pada Gambar 15 area pada panah tersebut menjadi sedikit lebih hijau dibandingkan dengan kontur Re 1500 dan menandakan bahwa konveksi yang terjadi menjadi lebih baik.

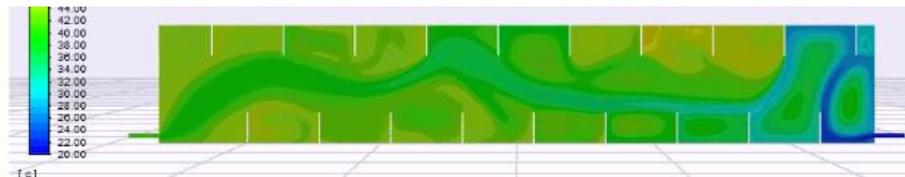
Pengujian juga dilakukan pada Re 3500 dengan kecepatan aliran 21.151 m/s. Pada simulasi ini memiliki kecepatan yang lebih tinggi, Berikut paparan simulasi:



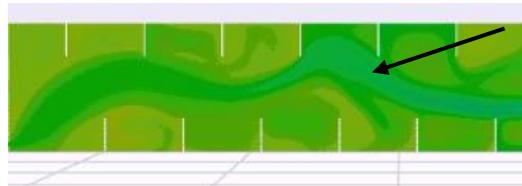
Gambar 16. Distribusi temperatur Re 3500



Gambar 17. Distribusi temperature area tengah Re 3500



Gambar 18. Dsistribusi temperatur pada Re 3500

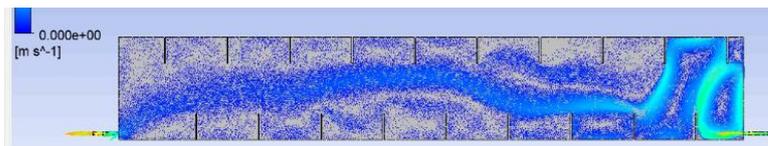


Gambar 19. Dsistribusi temperatur pada Re 3500

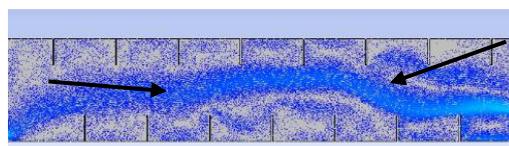
Pada Gambar 17 tanda panah tersebut menunjukkan fenomena *swirl* yang tidak terlalu tinggi dan semakin menuju *outlet* aliran sedikit berbelok mengikuti jalur, fenomena ini juga tidak terjadi pada Re yang lain. Pada Distribusi temperatur, Gambar 19 tanda panah tersebut adalah feoneman *swirl* pada distribusi temperature dikarenakan kecepatan aliran yang tinggi dan mengambil sedikit konveksi.

Distribusi Kecepatan dan temperatur pada *minichannel* aliran turbulen

Aliran turbulen merupakan aliran tercepat yang dimulai dari angka >4000 dan aliran ini biasanya digunakan pada object aliran yang besar. Pada simulasi kali ini Reynold number 4500 adalah aliran yang turbulen, Sehingga pengaruh *heat transfer* sangat besar dan temperatur *outlet* semakin mengecil.

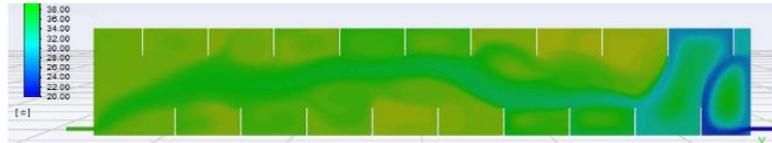


Gambar 20 Distribusi aliran turbulen Re 4500

Gambar 21 Distribusi aliran turbulen area *inlet* Re 4500

Terlihat pada Gambar 20 aliran yang sangat tidak beraturan dan terlihat kontur berwarna biru muda di area *inlet* mengindikasikan bahwa area tersebut menjadi area tercepat di *minichannel*. Pada

simulasi ini menggunakan kecepatan sebesar 27.19 m/s. Pada Gambar 21 tanda panah tersebut aliran semakin tinggi dan mengikuti jalur pada minichannel, aliran *swirl* sedikit terjadi hingga area tengah minichannel. Kontur tersebut sangat berbeda dengan Re lainnya.



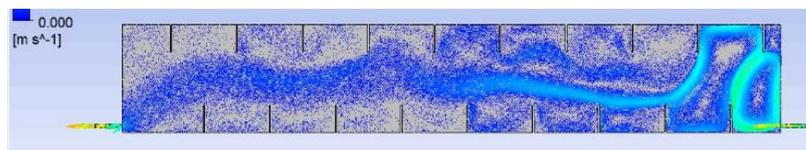
Gambar 22. Distribusi temperatur Re 4500



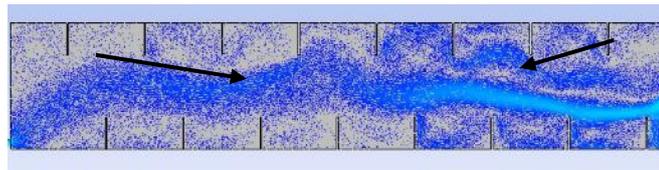
Gambar 23. Distribusi temperatur area tengah Re 4500

Pada aliran turbulen kontur temperatur menjadi hijau muda atau dapat diindikasikan temperatur yang Rendah dibandingkan aliran *laminar* dan transisi. Temperatur *outlet* pada *minichannel* adalah 42.0487 °C. Pada Gambar 23 kontur tersebut menjadi hijau semua dan hampir tidak ada warna kuning, pada Re ini temperatur turun sangat drastis di karenakan kecepatan aliran sangat tinggi.

Pengujian juga dilakukan pada Re 5500 dengan kecepatan aliran 33.233 m/s Pada pengujian ini Re 5500 adalah nilai paling tinggi, berikut paparan distribusi kecepatan dan temperature:

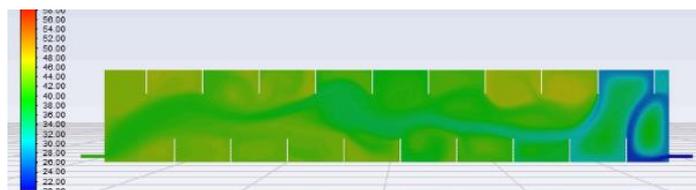


Gambar 24 Distribusi aliran turbulen Re 5500



Gambar 25 Distribusi aliran turbulen Re 5500

Pada Gambar 25, area yang ditunjuk dengan panah memiliki aliran *swirl* yang sedikit tinggi dan semakin aliran menuju *outlet*, aliran tersebut mengikutijalur pada *minichannel*, jika dibandingkan dengan Re 4500, aliran 5500 lebih mengikuti jalur *minichannel*.



Gambar 26 Distribusi temperatur Re 5500

Pada Gambar 26, kontur ini tidak berbeda jauh dengan Re sebelumnya, karena outlet temperatur juga tidak berbeda jauh, Temperatur *outlet*nya adalah 0.02 °C dengan Re 4500.

Temperatur *outlet* dan velocity adalah data yang berbanding terbalik, dari Re terkecil *velocity* atau kecepatan aliran berbanding lurus, jika Re kecil, maka kecepatan juga kecil jika Re besar maka kecepatan juga besar.

Kesimpulan

Kecepatan pada *minichannel* dipengaruhi oleh Reynold number, jika kecepatan besar maka Reynold number juga besar, sementara itu berbanding terbalik dengan temperatur,. Lalu jika kecepatan kecil temperatur akan mendekati temperatur wall *minichannel* yang sudah di tentukan yaitu 60° C. Reynold number 10 hingga 40 mempunyai perubahan yang tidak signifikan, jika diandingkan dengan Re 80 hingga 2560. Setiap peningkatan Re turun 1°C, Berbeda sedikit dengan Reynold number turbulen yaitu 5120 temperatur *outlet* pada *minichannel* turun 2°C. Disebabkan kecepatan yang semakin meningkat. Pola aliran dalam *minichannel* juga berbeda beda, jika aliran *laminar*, cenderung aliran tersebut memiliki aliran yang cenderung statis atau lebih tenang, tetapi jika aliran *laminar* di dalam *minichannel* diberi hambatan, aliran menjadi sedikit turbulen dan kecepatan menurun lalu tekanan akan naik dengan sendirinya. Jika pada aliran transisi aliran terbentuk dari *laminar* menuju turbulen, aliran ini memiliki Re 2300-4000. Dan pada aliran turbulen di dalam *minichannel* aliran sudah tidak beraturan dan fluida memenuhi dinding *minichannel* yang ada. Aliran *swirl* yang terjadi pada aliran *minichannel* semakin meningkat, pada Re 10 aliran di bagian *inlet* sedikit terjadi fenomena *swirl* dan semakin menuju *outlet* aliran semakin lurus dan tidak terjadi *swirl* atau aliran tidak mengikuti jalur. Pada Re 1280 aliran *swirl* semakin tinggi dan membentuk jalur pada bagian *inlet*. Aliran *swirl* terbesar terjadi pada Re 5120 dan aliran mengikuti jalur.

Daftar Pustaka

- Baskoro, F., Wong, H. Q., & Yen, H. J. (2019). Strategic Structural Design of a Gel Polymer Electrolyte toward a High Efficiency Lithium-Ion Baterai [Review-article]. *ACS Applied Energy Materials*, 2(6), 3937–3971. <https://doi.org/10.1021/acsae.9b00295>
- 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.
- Fadli, M. T. A., Marausna, G., Jayadi, F., & ... (2021). Rancang Bangun Visualisasi Aliran Air Di Dalam Pipa Tubular Dengan Vortex Generator Untuk Meningkatkan Sifat Turbulensi *STTKD: Jurnal Teknik ...*, 7(2), 205–215. <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>
- Hoelzen, J., Liu, Y., Bensmann, B., Winnefeld, C., Elham, A., Friedrichs, J., & Hanke-Rauschenbach, R. (2018). Conceptual design of operation strategies for hybrid *electric* aircraft. *Energies*, 11(1), 1–26. <https://doi.org/10.3390/en11010217>
- Mahmoudzadeh Andwari, A., Pesiridis, A., Rajoo, S., Martinez-Botas, R., & Esfahanian, V. (2017). A Review of Baterai *Electric Vehicle* technology and Readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78(March), 414–430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.138>
- Ogura, K., & Kolhe, M. L. (2017). Baterai technologies for *electric* vehicles. In *Electric Vehicles: Prospects and Challenges*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803021-9.00004-5>