

Analisis Sistem Pendingin Baterai Li-Ion Berbentuk Silindris menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Novi Ardhyanti^a, Alfi Tranggono Agus Salim^a, R. Akbar Nur Apriyanto^a

^{a,b,c}Perkeretaapian, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, Kota Madiun 63162
e-mail: noviardhynti@gmail.com, alfitranggono@pnm.ac.id, akbar@pnm.ac.id

Kata kunci:

Sistem Pendingin,
Baterai Lithium Iron
Phosphate, Pelat
Pendingin, Fluida Air

ABSTRAK

Penurunan kinerja baterai, *cycle life*, dan *safety* baterai disebabkan faktor kerja baterai LiFePo₄ (*Lithium iron phosphate*) melebihi *temperature* operasional 40°C. Permasalahan penelitian adalah distribusi panas dengan variasi sistem pendinginan dan pengaruh fluida untuk baterai LiFePo₄. Tujuan penelitian adalah menganalisis persebaran panas baterai dan temperatur baterai LiFePo₄ di bawah temperatur operasional. Metode penelitian adalah kuantitatif eksperimen melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk sistem pendingin baterai LiFePo₄. Baterai LiFePo₄ tanpa pelat pendingin disimulasikan untuk hasil *temperature* maksimum baterai. Temperatur operasional baterai lebih rendah 40°C dengan tambahan pelat pendingin yang dirangkai pada baterai dengan variasi fluida air dan udara yang mengalir dalam pelat pendingin. Hasil dan kesimpulan penelitian adalah data kenaikan temperatur maksimum baterai 1,2°C dan persebaran panas yang merata pada permukaan baterai dengan variasi pelat pendingin yang dialiri fluida air.

Keywords:

Cooling System,
Lithium Iron Phosphate
Battery, Cooling Plate,
Water Fluid

ABSTRACT

The decrease in battery performance, *cycle life*, and battery *safety* is caused by the work factor of LiFePo₄ (*Lithium iron phosphate*) battery exceeds the operational temperature of 40°C. The research problem is heat distribution with cooling system variation and fluid effect for LiFePo₄ battery. The research objective is to analyze the heat distribution of the battery and the temperature of the LiFePo₄ battery below the operational temperature. The research method is quantitative experiment, with *Computational Fluid Dynamics* (CFD) simulation for LiFePo₄ battery cooling system. LiFePo₄ battery without cooling plate was simulated for maximum battery temperature result. The operational temperature of the battery is lower by 40°C with additional cooling plates assembled on the battery with variations of water and air fluids that flows in the cooling plates. The results and conclusions of the research are data on the maximum battery temperature increase of 1,2°C and the distribution of heat evenly on the surface of the battery with a variation of the cooling plate flowing with water fluid.

1. PENDAHULUAN

Kereta ringan berbasis *hybrid* atau *hybrid trainer car* merupakan kereta yang memiliki sumber daya dari kombinasi listrik dan bahan bakar fosil, salah satu sumber daya yang digunakan adalah baterai [1]. Baterai digunakan sebagai media penyimpanan energi pada kereta ringan melalui reaksi kimia sehingga untuk menciptakan kereta ringan berbasis *hybrid* yang memiliki kinerja dan efisiensi tinggi maka baterai yang digunakan wajib memiliki *specific power density* serta *specific energy density* yang tinggi [2]. Baterai Li-ion tipe LiFePo₄ (*Lithium iron phosphate*) menjadi baterai yang paling disarankan sebagai penyimpanan energi *electric vehicle* karena memiliki kelebihan yaitu energi density dan power density yang tinggi, lebih ringan, tidak memiliki *memory effect*, *self discharge* yang rendah, dan memiliki tegangan yang cukup tinggi [3].

Baterai LiFePo₄ memiliki kekurangan yaitu saat bekerja secara terus-menerus melebihi temperatur operasional berkisar 25-40°C maka terjadi masalah termal yang berpotensi meledak [2]. Pemasalahan termal baterai LiFePo₄ berdampak pada kinerja baterai seperti *cycle life*, tingkat keamanan baterai, dan masa pakai baterai [4]. Menurut penelitian Lauren Merinda (2017), penyelesaian masalah termal dilakukan menggunakan sistem pendingin. Sistem pendingin baterai dilakukan untuk mengkondisikan *temperature*

baterai dalam kondisi *temperature* stabil dan berfungsi menyerap panas dari baterai yang beroperasi [5]. Penggunaan sistem pendinginan secara internal berisiko membuat baterai mengalami panas berlebih dan mengubah tegangan karena sistem pendinginan internal mengalami perubahan komponen penyusun dari baterai [2]. Maka dari itu, penggunaan sistem pendingin secara eksternal disarankan untuk baterai Li-ion karena dalam proses pendinginan memerlukan penambahan material pada permukaan baterai Li-ion tanpa mengubah komponen dalam baterai [2]. Sistem pendinginan eksternal dikategorikan berdasarkan fluida dan media yang digunakan. Secara umum, fluida yang digunakan yaitu udara dan cairan [6]. Penggunaan media pendinginan pipa atau pelat pendingin lebih sesuai untuk baterai Li-ion dikarenakan media tersebut mampu menyerap panas lebih dan membuat distribusi panas baterai lebih merata [7].

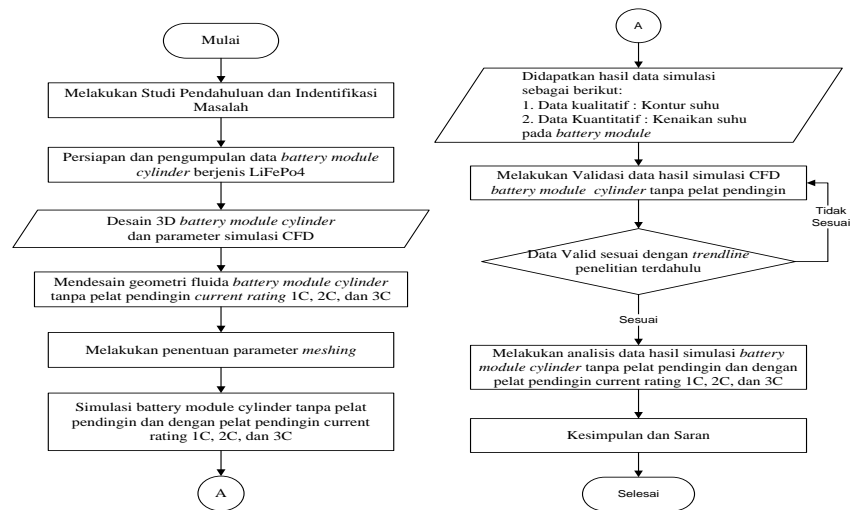
Sistem pendinginan tersebut didukung dengan penelitian yang telah dilakukan Jianpeng Wang tahun 2017 bahwa sistem pendinginan menggunakan pipa pendingin yang dialiri fluida air pada baterai *lithium Ion* 37 Ah dengan *current rating* 1C mampu mengondisikan kenaikan temperatur baterai pada kisaran 2-3°C [4]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Lauren Merinda (2017) mendukung penggunaan sistem pendingin dengan pelat pendingin yang dialiri fluida air dan jenis aliran laminar mampu menjadikan temperatur maksimum sel baterai turun dari 45°C menjadi 30°C [2]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Nan Mei (2021) mengenai sistem pendingin menggunakan *flat heat pipe* pada baterai *lithium Ion* berbentuk modul dengan *current rating* 1C, 2C, dan 3C membuktikan bahwa temperatur maksimum rata-rata setiap sel baterai secara bertahap meningkat dan mencapai maksimum pada 3°C [8]. Hal tersebut didukung dengan penelitian Huanwei Xu pada tahun 2021 tentang sistem pendinginan cairan berupa air dengan saluran pendingin berbentuk serpentin pada baterai *lithium Ion* berbentuk silinder dengan *current rating* 3C yang menyatakan bahwa sistem pendingin tersebut mampu mengondisikan temperatur maksimum baterai 28.58°C dengan simulasi *Computational Fluid Dynamics* [9].

Berdasarkan penelitian terdahulu, panas yang tidak terdistribusi merata pada baterai perlu penambahan pelat pendingin yang dialiri fluida air dan udara untuk mengetahui media yang efektif untuk mengondisikan temperatur baterai di bawah temperatur operasional [9]. Hasil dari penambahan pelat pendingin yang dialiri fluida air tersebut mampu membuat panas pada baterai terdistribusi merata [9]. Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan distribusi panas secara merata pada baterai dan mengondisikan temperatur baterai di bawah temperatur operasional. Persebaran panas pada baterai mampu ditingkatkan dengan menambahkan variasi pelat pendingin berbentuk *serpentine* yang dialiri fluida air pada modul baterai *current rating* 1C, 2C, dan 3C dengan konfigurasi 7 seri 2 paralel menggunakan baterai berbentuk silinder dan tipe LiFePo₄ (*Lithium iron phosphate*). Penentuan variasi media pendingin mengacu pada penelitian terdahulu [9]. Penelitian ini menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berupa *software* untuk menganalisis aliran fluida modul baterai *lithium-ion* [2].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan dari penelitian simulasi *battery module cylinder* menggunakan simulasi CFD ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

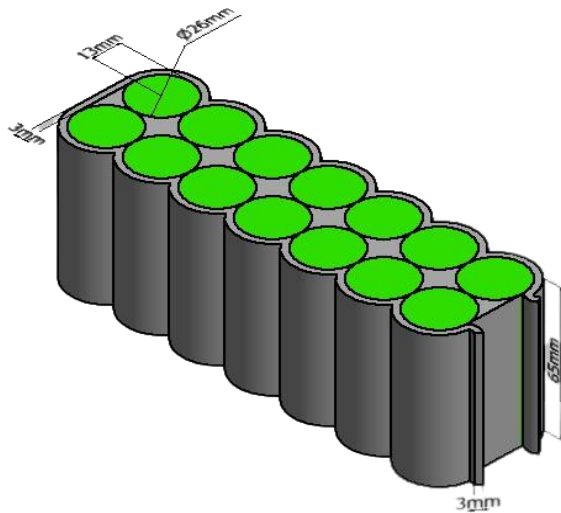
Berdasarkan Gambar 1, penelitian dimulai dari penentuan tema penelitian, pemilihan objek yang diteliti, pembuatan rumusan masalah, hingga pengumpulan data dari objek yang diteliti yaitu berupa *battery module cylinder* yang digunakan pada *hybrid trainer car* berjenis LiFePo4 (*Lithium iron phosphate*), jenis baterai LiFePo4 memiliki *current rating* tinggi, *life span* panjang, dan *safety level* tinggi [10]. Material *phosphate* disarankan untuk baterai karena mampu menstabilkan elektroda saat kondisi *overcharge* [11], pengumpulan data spesifikasi baterai, fluida, dan pelat pendingin melalui penelitian terdahulu, serta desain pelat pendingin untuk *battery module cylinder* yang berbentuk *serpentine* (berliuk-liuk) [9]. Tahap berikutnya setelah memperoleh data yaitu melakukan *pre-processing* dengan membuat desain geometri fluida *battery module cylind* yang digunakan pada *hybrid trainer car*. Saat desain *battery module cylind* telah dibuat, dilanjutkan tahap *processing* dengan melakukan *setup* pada *software*. Hasil dari proses tersebut berupa data kualitatif dan kuantitatif. Tahap akhir setelah memperoleh hasil data kualitatif dan kuantitatif, dilakukan validasi data jika data yang dihasilkan telah sesuai dengan *trendline*. Hasil dari proses tersebut berupa data kualitatif dan kuantitatif dan kemudian dilakukan analisis dan pengambilan kesimpulan mengenai sistem pendingin yang efektif untuk *battery module cylind* yang digunakan pada *hybrid trainer car*.

2.2 Simulasi Battery Module Cylinder

Simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) menyimulasikan gerak fluida berdasarkan perhitungan fluida [12] yang bertujuan menggambarkan aliran fluida yang dianalisis. Selain itu, dilakukan simulasi perpindahan panas [13] yang terdiri atas lima tahapan, yaitu (a) tahap pembuatan geometri, (b) tahap melakukan *meshing*, (c) tahap *setup* untuk menginputkan parameter simulasi, (d) tahap *solution*, dan (e) tahap *result* untuk memperoleh hasil simulasi.

2.2.1 Geometri

Tahap pembuatan geometri untuk simulasi bertujuan mendeskripsikan bentuk dari objek yang disimulasikan dan dianalisis sesuai kondisi nyata dari *battery module cylinder* LiFePo4 [14]. Pembuatan desain geometri 3D *battery module cylinder* menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2021 Student Version*. Geometri fluida *battery module cylinder* dibuat dengan konfigurasi 7 seri 2 paralel dan penambahan pelat pendingin berbentuk *serpentine* (berliuk-liuk) mengikuti bentuk baterai [9] menggunakan *software Ansys Fluent 2022 R1 Student Version*. Desain 3D geometri fluida dan dimensi geometri *battery module cylinder* ditunjukkan pada dan Tabel 1.

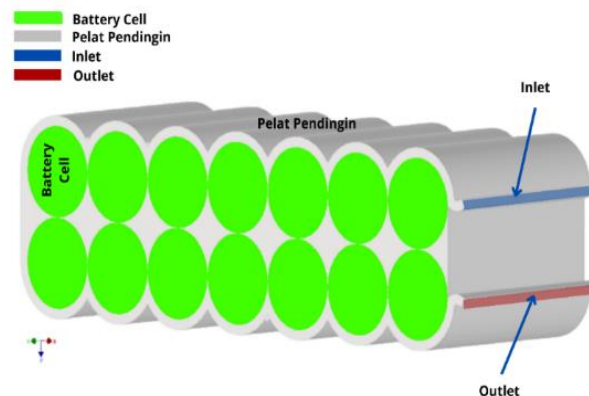


Gambar 2. Desain 3D Geometri Fluida Battery Module Cylinder Dengan Pelat Pendingin

Tabel 1. Dimensi Geometri Battery Module Cylinder

No	Nama	Dimensi
Baterai Sel		
1	diameter	26 mm
	tinggi	65 mm
Inlet dan Outlet		
2	lebar	3 mm
	tinggi	65 mm
Pelat Pendingin		
3	tebal	3 mm
	tinggi	65 mm
	bentuk	Serpentine (berliuk-liuk)

Gambar 2 dan Tabel 1 merupakan desain 3D geometri *battery module cylinder* yang disimulasikan dengan dialiri fluida air dan udara melalui pelat pendingin yang dipasang melekat dengan *battery module cylinder*. Tahapan berikutnya pada geometri fluida *battery module cylinder* yaitu pemberian nama pada setiap bagian atau *create nama selection* yang bertujuan sebagai *boundary condition* atau kondisi batas seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Boundary Condition Battery Module Cylinder

Berdasarkan Gambar 3, *battery module cylinder* memiliki konfigurasi 7 seri 2 paralel sehingga jumlah keseluruhan *battery cell* adalah 14 buah, pelat pendingin dengan *inlet* sebagai saluran masuk fluida dari sistem refrigerasi ke area pendinginan. Di samping itu, komponen *outlet* sebagai saluran keluar fluida dari area pendinginan ke sistem refrigerasi.

2.2.2 Meshing

Mesh merupakan gabungan dari *cell-cell* yang berbentuk seperti jala [15], jenis *mesh* yang digunakan sangat mempengaruhi kualitas dan konvergensi [16]. Maka dari itu, tahapan *meshing* harus memperkirakan besar jumlah elemen karena semakin besar elemen yang dibuat, proses simulasi numerik semakin berat dan berlangsung lama sehingga file yang dihasilkan semakin besar [16]. Kualitas suatu *mesh* memiliki peran penting untuk menjamin hasil simulasi dan jika kualitas *meshing* semakin baik, proses simulasi menjadi lebih mudah konvergen [13].

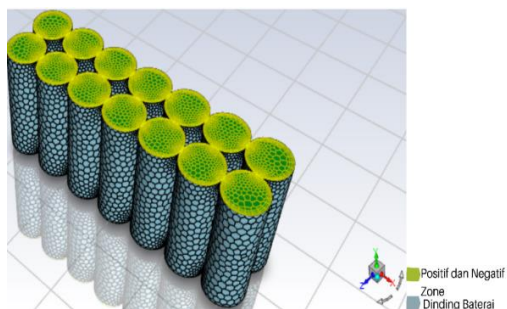
Parameter yang sering digunakan dalam penentuan kualitas *meshing*, yaitu *skewness*, *orthogonal quality*, dan *aspect ratio*. Tahapan *meshing* pada *battery module cylinder* dilakukan melalui tiga variasi, yaitu *battery module cylinder* tanpa pelat pendingin, dengan pelat pendingin yang dialiri oleh fluida udara dan air. Parameter kualitas *meshing* ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Tahapan Meshing pada Battery Module Cylinder

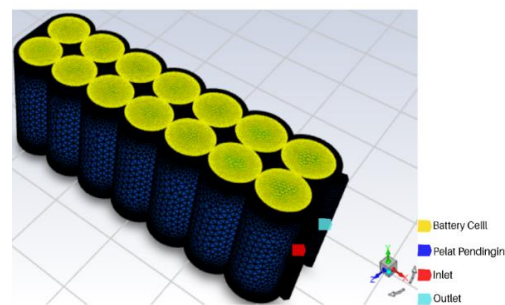
No	Nama	Jumlah elements	Skewness	Orthogonal Quality	Aspect Ratio
1.	Tanpa pelat Pendingin	15.773	0.00244	0.99727	1.1961
2.	Pelat pendingin Udara	20.091	0.00006	0.99986	1.0268
3.	Pelat pendingin Air	20.091	0.00006	0.99986	1.0268

Berdasarkan Tabel 2, dari nilai *skewness* yang telah dihasilkan untuk tiga variasi yang telah dilakukan proses *meshing*, nilai tersebut dalam kategori sangat baik karena nilai *skewness* mendekati 0 (nol) [17]. Nilai *orthogonal quality* yang telah dihasilkan melalui tiga variasi yang dilakukan *meshing* menunjukkan bahwa nilai tersebut dalam kategori sangat baik dengan nilai telah >0.1 [17]. Selain itu, nilai *aspect ratio* yang telah dihasilkan melalui proses *meshing* untuk ketiga variasi tersebut dalam kategori sangat baik dikarenakan nilai yang dihasilkan lebih dari 1 yang sesuai dengan parameter untuk penentuan kualitas *meshing* [18].

Bentuk *meshing* untuk *battery module cylinder* adalah jenis *poly-hexcore* merupakan bentuk *meshing* yang menggabungkan dua bentuk element yaitu *polyhedron* dan *hexahedron*. Bentuk *poly-hexcore* memiliki kelebihan mampu mengurangi jumlah elemen dan tetap mempertahankan akurasi dari hasil *meshing* [19].



Gambar 4. Hasil Meshing Isometric Battery Module Cylinder



Gambar 5. Hasil Meshing Isometric Battery Module Cylinder Dengan Pelat Pendingin

Pada Gambar 4, tampak hasil *meshing* pada bagian luar dengan bentuk *meshing* yaitu *poly-hexcore*. Area yang diberi tanda biru dan hijau merupakan positif zone, negatif zone, dan dinding dari *battery cell*. Pada Gambar 5, bentuk *meshing* pada area pelat pendingin berbentuk *tetrahedral*, dan pada bagian *inlet* dan *outlet* bentuk *meshing* berukuran lebih kecil dibandingkan dengan bentuk *meshing* yang terjadi pada dinding pelat pendingin. Ukuran pada *inlet* dan *outlet* lebih kecil dibandingkan dengan area lain karena pada area tersebut lebih didetailkan fenomena yang terjadi.

2.2.3 Setup

Pada tahapan *setup* ini, terjadi fenomena fisika yang ikut terlibat dalam proses simulasi. Dalam setiap pemilihan model simulasi, persamaan *Governing Navier-Stokes* yang berasal dari persamaan konservasi massa, konservasi momentum, dan konservasi energi berubah serta mempengaruhi hasil simulasi [14]. Pengaturan *setup* yang digunakan untuk simulasi *battery module cylinder* sebagai berikut.

- Type* yang digunakan pada simulasi *battery module cylinder* yaitu *pressure-based* turunan dari persamaan momentum dan kecepatan yang membuat medan kecepatan yang dikoreksi oleh tekanan memenuhi kontinuitas [17].
- Velocity formulation* yang digunakan yaitu *velocity absolute* dikarenakan aliran pada domain tidak berputar [17].
- Models* yang digunakan yaitu *battery module* untuk mengaktifkan *setup* dari *battery* seperti jenis *current rating*, kapasitas *battery cell*, dan *electric contacts* [20].

- d. *Material* yang digunakan untuk simulasi yaitu fluida udara dan air. Solid yang digunakan yaitu aluminium untuk pelat pendingin dan baterai LiFePo4.
- e. *Boundary Conditions* pada simulasi ini berupa *velocity inlet* yang digunakan 0.07 m/s, 0.1 m/s, 2.7 m/s, *operating pressure* 101325 Pa dalam kondisi *steady*, *temperature* 300K, dan *wall* sebagai dinding batas fluida objek yang dianalisis [21].

2.2.4 Solution

Tahap *solution* pada simulasi *battery module cylinder* dilakukan apabila pemilihan *models* tepat dan perhitungan yang dihasilkan nilai yang konvergensi [22]. Tahap *solution* yang digunakan pada simulasi ini sebagai berikut.

- a. Proses simulasi CFD *battery modul cylinder* menggunakan skema *coupled* dengan algoritma *pressure-based coupled* untuk mencapai implementasi kondisi tunak fase tunggal yang kuat dan efisien [17]. Simulasi ini menggunakan *second order upwind* untuk menghasilkan hasil yang akurat dan direkomendasikan untuk aliran kompleks [23].
- b. Penggunaan *hybrid initialization* memberikan kecepatan awal dan medan tekanan yang lebih baik daripada standar dan memberikan estimasi cepat fluks medan menggunakan berbagai metode [19].

2.2.5 Result

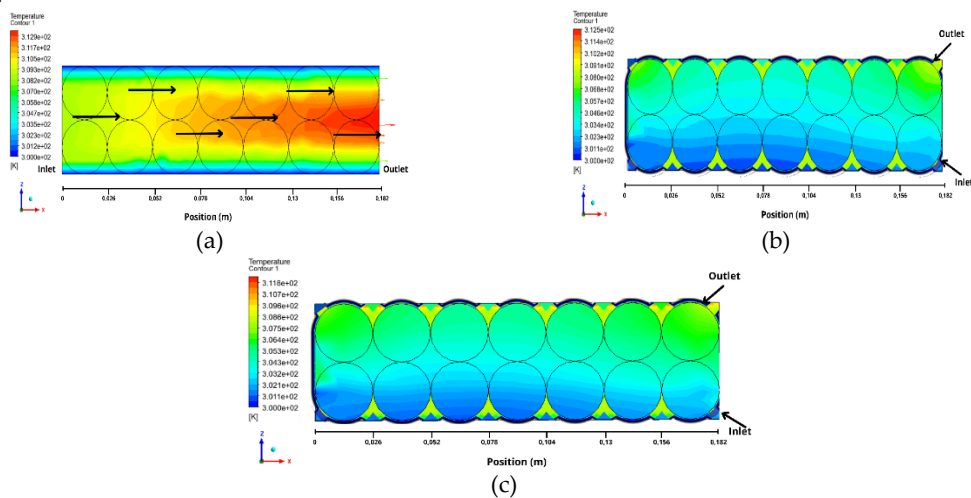
Tahap *result* yang merupakan tahap untuk menampilkan hasil simulasi dalam bentuk data kualitatif berupa perbedaan *temperature* pada semua variasi simulasi baik untuk variasi *battery module cylinder* tanpa pelat pendingin maupun dengan pelat pendingin. Berdasarkan teori perpindahan panas yang erat hubungannya dengan sistem pendingin pada baterai lithium-ion, hasil dari simulasi yang dilakukan dibandingkan dengan hasil perhitungan nilai *heat transfer*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data hasil simulasi berupa data kualitatif yaitu kontur *temperature* dari distribusi panas yang terjadi pada *battery module cylinder* dan data kuantitatif yaitu kenaikan *temperature* pada *battery module cylinder*. Berikut data kualitatif dari persebaran pada *battery module cylinder* dengan *current rating* 1C, 2C, dan 3C menggunakan variasi tanpa pelat pendingin, dengan pelat pendingin yang dialiri fluida udara dan air.

3.1 Analisis Hasil Simulasi Battery Module Cylinder dengan Current Rating 1C

Distribusi *temperature battery module cylinder* menggunakan *current rating* 1C ditunjukkan pada Gambar 6.

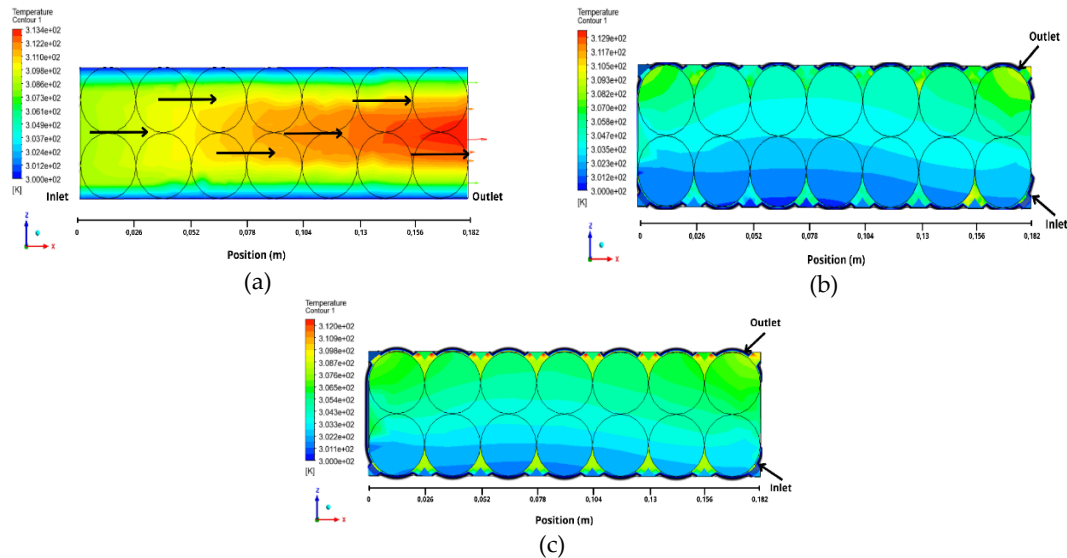


Gambar 6. Distribusi panas *battery module cylinder* dengan *current rating* 1C (a) tanpa pelat pendingin, (b) pelat pendingin dan fluida udara, dan (c) pelat pendingin dan fluida air

Berdasarkan Gambar 6, *battery cell* yang terletak dekat *inlet* memiliki *temperature* lebih rendah range 300-308K (26.85-31.85°C) daripada *battery cell* yang terletak pada bagian *outlet*. Hal ini dikarenakan aliran fluida yang mengalir secara alami hanya melalui celah-celah antar-*battery cell* sehingga bagian yang memperoleh aliran fluida lebih banyak yaitu bagian *battery cell* yang teletak dekat *inlet*. Sementara itu, perbedaan *temperature* maksimum *battery module cylinder* kisaran 11.8-12.9 °C dengan *temperature* tertinggi terletak pada *battery cell* yang dekat dengan *outlet* dan persebaran panas merata di seluruh permukaan *battery cell*.

3.2 Analisis Hasil Simulasi Battery Module Cylinder dengan Current Rating 2C

Distribusi *temperature battery module cylinder* menggunakan *current rating* 2C ditunjukkan pada Gambar 7.

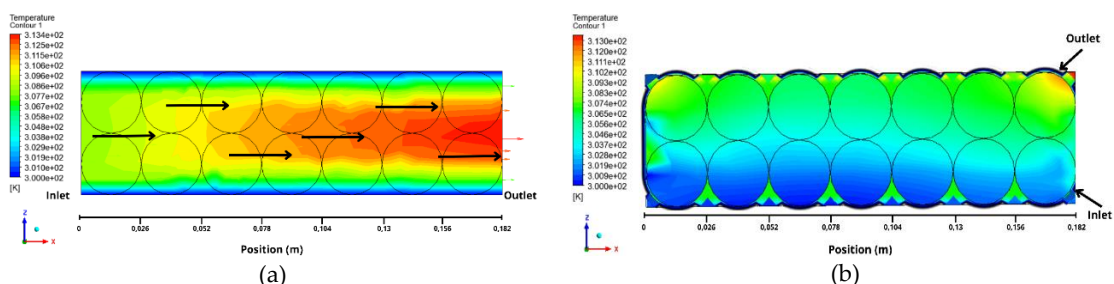


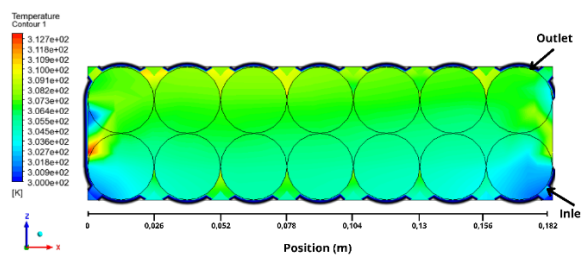
Gambar 7. Distribusi panas *battery module cylinder* dengan *current rating* 2C (a) tanpa pelat pendingin, (b) pelat pendingin dan fluida udara, dan (c) pelat pendingin dan fluida air

Berdasarkan Gambar 6, *battery cell* yang terletak dekat *inlet* memiliki *temperature* lebih rendah range 300-309.8K atau (26.85-36.65°C) daripada *battery cell* yang terletak pada bagian *outlet*. Hal ini dikarenakan aliran fluida yang mengalir secara alami hanya melalui celah-celah antar-*battery cell* sehingga bagian yang memperoleh aliran fluida lebih banyak yaitu bagian *battery cell* yang teletak dekat *inlet*. Sementara itu, perbedaan *temperature* maksimum *battery module cylinder* kisaran 12-13.4 °C dengan *temperature* tertinggi terletak pada *battery cell* yang dekat dengan *outlet* dan persebaran panas merata di seluruh permukaan *battery cell*.

3.3 Analisis Hasil Simulasi Battery Module Cylinder dengan Current Rating 3C

Distribusi *temperature battery module cylinder* menggunakan *current rating* 3C ditunjukkan pada Gambar 7.





Gambar 8. Distribusi panas *battery module cylinder* dengan *current rating* 3C (a) tanpa pelat pendingin, (b) pelat pendingin dan fluida udara, dan (c) pelat pendingin dan fluida air

Berdasarkan Gambar 6, *battery cell* yang terletak dekat *inlet* memiliki *temperature* lebih rendah range 300-310.6K atau (26.85-37.45°C) daripada *battery cell* yang terletak pada bagian *outlet*. Hal ini dikarenakan aliran fluida yang mengalir secara alami hanya melalui celah-celah antar *battery cell* sehingga bagian yang memperoleh aliran fluida lebih banyak yaitu bagian *battery cell* yang teletak dekat *inlet*. Sementara itu, perbedaan *temperature* maksimum *battery module cylinder* kisaran 12.7-13.438 °C dengan *temperature* tertinggi terletak pada *battery cell* yang dekat dengan *outlet* dan persebaran panas merata di seluruh permukaan *battery cell*.

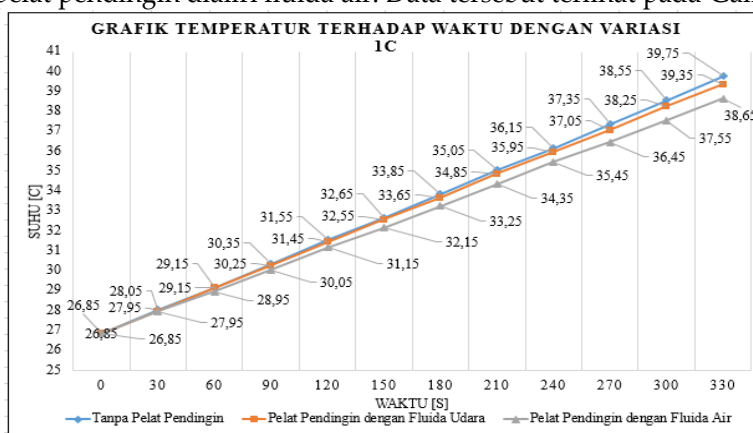
Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, *battery module cylinder* menggunakan *current rating* 1C, 2C, dan 3C mengalami kenaikan *temperature* setiap kenaikan *current rating*. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi nilai *current rating* suatu baterai, nilai *temperature* maksimum juga meningkat lebih tinggi [8]. Penggunaan pelat pendingin berpengaruh dalam mengondisikan *temperature* baterai sehingga *temperature* maksimum yang dihasilkan oleh *battery module cylinder* di bawah *temperature* operasional.

3.4 Analisis Data

Hasil data simulasi yang telah diperoleh dianalisis secara kuantitatif dengan mengamati hasil kenaikan *temperature* pada variasi metode pendingin yaitu tanpa pelat pendingin dan dengan pelat pendingin yang dialiri fluida udara dan air. Dari proses tersebut, dihasilkan analisis untuk mengetahui media pendingin yang mampu mengondisikan *temperature* baterai di bawah *temperature* operasional. Berikut hasil analisis dari *battery module cylinder*.

3.4.1 Analisis Variasi Battery Module Cylinder dengan Current Rating 1C

Hasil data dari simulasi variasi *battery module cylinder* dengan *current rating* 1C membandingkan tiga metode pendinginan yang digunakan yaitu tanpa pelat pendingin, dengan pelat pendingin dialiri fluida udara, dan dengan pelat pendingin dialiri fluida air. Data tersebut terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik *Temperature* dari Metode Pendinginan *Battery Module Cylinder* dengan *Current Rating* 1C

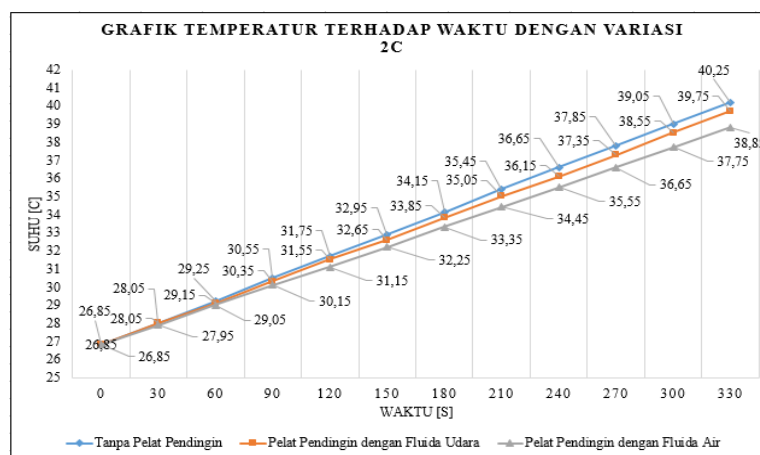
Gambar 9 menunjukkan kenaikan *temperature* yang berbeda-beda pada setiap variasi. *Temperature* tertinggi yang dihasilkan adalah 39.75°C untuk metode tanpa pelat pendingin, pada metode dengan pelat

pendingin yang dialiri fluida udara menghasilkan *temperature* tertinggi sebesar 39.35°C, dan untuk variasi metode dengan pelat pendingin yang dialiri fluida air menghasilkan *temperature* tertinggi yaitu 38.65°C. Fluida pendingin berupa air memiliki kinerja pendinginan yang efisien dalam mengkondisikan *temperature* baterai di bawah *temperature* operasi [2].

Hasil kenaikan *temperature* yang dihasilkan dari ketiga metode tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik jika diamati metode tanpa pelat pendingin dan dengan pelat pendingin yang dialiri fluida udara memiliki selisih *temperature* maksimum yang tidak berbeda jauh, sedangkan metode yang menggunakan pelat pendingin dan dialiri fluida air lebih mampu membuat *temperature* maksimum baterai lebih rendah dibandingkan dengan metode tanpa pelat pendingin dan menggunakan pelat pendingin yang dialiri udara serta distribusi panas lebih merata di seluruh permukaan baterai modul. Dari hasil tersebut, setiap variasi metode pendinginan mengalami kenaikan sebesar 1-1.2°C setiap kenaikan *temperature*.

3.4.2 Analisis Variasi Battery Module Cylinder Dengan Current Rating 2C

Hasil data dari simulasi variasi *battery module cylinder* dengan *current rating* 2C membandingkan tiga metode pendinginan yang digunakan yaitu tanpa pelat pendingin, menggunakan pelat pendingin dialiri fluida udara, dan menggunakan pelat pendingin dialiri fluida air. Data simulasi tersebut terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik *Temperature* dari Metode Pendinginan *Battery Module Cylinder* dengan *Current Rating* 2C

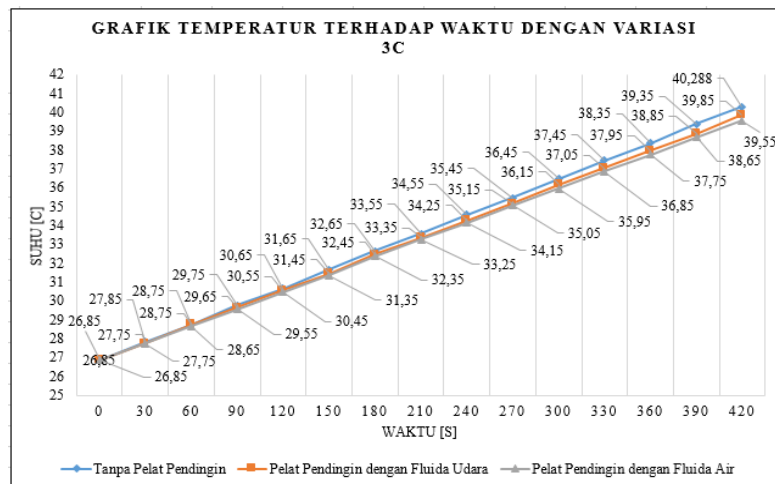
Gambar 9 menunjukkan hasil kenaikan *temperature* yang berbeda-beda untuk setiap variasi. *Temperature* tertinggi yang dihasilkan adalah 40.25°C untuk metode tanpa pelat pendingin, pada metode dengan pelat pendingin yang dialiri fluida udara menghasilkan *temperature* tertinggi sebesar 39.75°C, dan untuk variasi metode dengan pelat pendingin yang dialiri fluida air menghasilkan *temperature* tertinggi yaitu 38.85°C. *Temperature* yang dihasilkan pada variasi *current rating* 2C lebih tinggi daripada *current rating* 1C. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi nilai *current rating*, *temperature* yang dihasilkan oleh baterai saat beroperasi juga semakin tinggi [8].

Hasil kenaikan *temperature* dari ketiga metode tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik. Jika diamati, metode tanpa pelat pendingin dan dengan pelat pendingin yang dialiri fluida udara memiliki selisih *temperature* maksimum yang tidak berbeda jauh, sedangkan metode yang menggunakan pelat pendingin dan dialiri fluida air lebih mampu membuat *temperature* maksimum baterai lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan metode tanpa pelat pendingin dan menggunakan pelat pendingin yang dialiri udara serta distribusi panas lebih merata di seluruh permukaan baterai modul. Dari data tersebut, setiap variasi metode pendinginan mengalami kenaikan sebesar 1-1.3°C.

3.4.3 Analisis Variasi Battery Module Cylinder Dengan Current Rating 3C

Hasil data dari simulasi variasi *battery module cylinder* dengan *current rating* 3C membandingkan tiga metode pendinginan yang digunakan yaitu tanpa pelat pendingin, menggunakan pelat pendingin dialiri

fluida udara, dan menggunakan pelat pendingin yang dialiri fluida air. Data tersebut terlihat pada Gambar 10.



Gambar 11. Grafik *Temperature* dari Metode Pendinginan *Battery Module Cylinder* dengan *Current Rating* 3C

Gambar 9 menunjukkan hasil data perbedaan *temperature* dari ketiga metode pendinginan, *temperature* tertinggi dari variasi *current rating* 3C terjadi pada metode tanpa pelat pendingin dengan *temperature* sebesar 40.288°C, sedangkan untuk metode menggunakan pelat pendingin yang dialiri udara *temperature* maksimum berada pada *temperature* 39.85°C, dan untuk variasi metode menggunakan pelat pendingin yang dialiri air menghasilkan *temperature* maksimum sebesar 39.55°C, hasil *temperature* tersebut lebih rendah dari hasil metode tanpa pelat pendingin dan metode yang menggunakan pelat pendingin yang dialiri fluida udara. *Temperature* yang dihasilkan pada variasi menggunakan *current rating* 3C menghasilkan *temperature* maksimum yang lebih tinggi daripada variasi *current rating* 1C dan 2C. Hal tersebut dikarenakan tingkat pengosongan atau *current rating* dari sebuah baterai yang semakin tinggi dapat mempengaruhi *temperature* maksimum yang dihasilkan dari sistem baterai yang beroperasi [8]. Data tersebut menunjukkan bahwa setiap variasi metode pendinginan mengalami kenaikan sebesar 0.9-1°C.

3.5 Pembahasan Hasil Simulasi Sistem Pendingin *Battery Module Cylinder*

Hasil simulasi *battery module cylinder* menunjukkan adanya kenaikan *temperature* dari ketiga metode tersebut. Jika diamati, metode tanpa pelat pendingin dan menggunakan pelat pendingin yang dialiri fluida udara menghasilkan *temperature* lebih tinggi dibandingkan menggunakan pelat pendingin yang dialiri fluida air. Hal tersebut terjadi karena media yang digunakan mempengaruhi persebaran panas yang terjadi pada baterai. Penggunaan media berupa pelat pendingin yang dialiri fluida air pada *battery module* yang diletakkan pada samping baterai yang berbentuk *serpentine* mampu membuat *temperature* maksimum baterai berada di bawah *temperature* operasional yaitu baterai bekerja pada *temperature* kisaran 300-312.7K atau 26.85-39.55°C. Hal tersebut dikarenakan penggunaan pelat pendingin berbentuk *serpentine* mampu melekat lebih erat pada *battery module* sehingga banyak panas yang hilang dan menjadikan *temperature* maksimum baterai di bawah *temperature* operasionalnya [9]

3.6 Validasi Data Hasil Simulasi CFD

Data yang dihasilkan pada simulasi dilakukan validasi dengan membandingkan antara hasil data simulasi dan hasil perhitungan berdasarkan teori perpindahan panas pada baterai yang berhubungan erat dengan sistem metode pendinginan yang diterapkan pada *battery module cylinder* berjenis LiFePo4 (*Lithium iron phosphate*). Penelitian pada *battery module cylinder* menggunakan metode pendinginan yang berupa pelat pendingin dengan material aluminium. *Temperature inlet* yang dihasilkan dari hasil perhitungan sebesar 21.627°C, sedangkan *temperature* keluaran yang dihasilkan dari hasil simulasi adalah 26.85°C. Hasil perhitungan dan hasil simulasi tersebut memiliki selisih sebesar 5,223 %. Faktor penyebab selisih *temperature* tersebut di antaranya tipe *meshing*, ukuran *meshing*, *solution methods*, dan pengondisian saat simulasi yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan.

Pergerakan aliran fluida dalam pelat pendingin yang dianalisis menggunakan perhitungan *reynolds number*. Satu di antara tiga variasi yang digunakan untuk variasi *battery module cylinder* tanpa pelat pendingin menghasilkan *Reynolds number* sebagai berikut.

$$Re = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Viskos}} = \frac{\rho l V m}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.22 \text{ kg/m}^2 \times 0.182 \text{ m} \times 0.07 \text{ m/s}}{0.0000181 \text{ N.s/m}^2} = 858.7182$$

Re merupakan Reynold number, A adalah luas area (m²), l adalah panjang area (m), v adalah kecepatan fluida (m/s), μ adalah viskositas absolut fluida (Pa.s), dan ρ adalah massa jenis fluida (kg/m³).

Hasil perhitungan untuk variasi tanpa pelat pendingin pada *battery module cylinder* menunjukkan bahwa aliran pergerakan fluida yang terjadi melalui *battery module cylinder* termasuk dalam kategori aliran laminar karena nilai Re yang dihasilkan kurang dari 2300 [24]. Hal tersebut didukung dengan pernyataan bahwa aliran dalam pipa disebut laminar jika nilai Re < 2300, turbulen untuk Re > 10.000, dan transisi untuk nilai 2300 ≤ Re ≤ 10.000 [24].

4. KESIMPULAN

Aliran fluida pada *battery module cylinder* termasuk aliran laminar karena nilai *reynold number* 858.7182. Distribusi panas yang terjadi pada *battery module cylinder* dengan *current rating* 1C, 2C, dan 3C menggunakan sistem pendingin yaitu tanpa pelat pendingin, menggunakan pelat pendingin yang dialiri fluida udara, dan menggunakan pelat pendingin yang dialiri fluida air menghasilkan persebaran panas yang merata di setiap bagian baterai sel sehingga dari hasil persebaran panas tersebut *battery module cylinder* dengan *current rating* 1C dan menggunakan sistem pendingin berupa pelat pendingin yang dialiri fluida air lebih merata dan *temperature* mampu stabil di bawah *temperature* operasional baterai LiFePo₄. Hasil simulasi pada *battery module cylinder* menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendingin berupa pelat pendingin dan fluida air mampu mengondisikan *temperature* maksimal *battery module cylinder* hingga 38,65°C, dan persebaran panas merata di seluruh permukaan *battery cell*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT INKA, "PT INKA," PT INKA, 2022.
- [2] L. Merinda, "Analisis Manajemen Termal Pada Sistem Pendingin Sel Baterai Li-Ion Bentuk Prismatik Dengan Variasi Laju Aliran Massa Dan Lebar Channel Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)," 2017, [Daring]. Tersedia pada: https://repository.its.ac.id/47164/1/2413100046-Undergraduate_Thesis.pdf
- [3] T. I. C. Buidin dan F. Mariasiu, "Battery Thermal Management Systems: Current Status and Design Approach of Cooling Technologies," *Energies*, vol. 14, no. 16, hlm. 4879, Agu 2021, doi: 10.3390/en14164879.
- [4] J. Wang, H. Xu, X. Xu, dan C. Pan, "Design and simulation of liquid cooled system for power battery of PHEV," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 231, hlm. 012025, Sep 2017, doi: 10.1088/1757-899X/231/1/012025.
- [5] J. Warner, *The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design*. 2015.
- [6] Z. Qian, Y. Li, dan Z. Rao, "Thermal performance of lithium-ion battery thermal management system by using mini-channel cooling," *Energy Convers. Manag.*, vol. 126, hlm. 622–631, Okt 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.08.063.
- [7] A. R. Hisan, I. P. Handayani, dan R. F. Iskandar, "Perancangan Dan Realisasi Sistem Manajemen Termal Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Pendinginan Semi-Pasif," vol. 3, hlm. 8, 2016.
- [8] N. Mei, X. Xu, dan R. Li, "Heat Dissipation Analysis on the Liquid Cooling System Coupled with a Flat Heat Pipe of a Lithium-Ion Battery," *ACS Omega*, vol. 5, no. 28, hlm. 17431–17441, Jul 2020, doi: 10.1021/acsomega.0c01858.

- [9] H. Xu, X. Zhang, G. Xiang, dan H. Li, "Optimization of liquid cooling and heat dissipation system of lithium-ion battery packs of automobile," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 26, hlm. 101012, Agu 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101012.
- [10] x Liu, K. Li, dan X. Li, "The Electrochemical Performance and Applications of Several Popular Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles—A Review. Dalam K. Li, J. Zhang, M. Chen, Z. Yang, & Q. Niu (Ed.), *Advances in Green Energy Systems and Smart Grid*," *Springer Singap.*, vol. 925, hlm. 201–213, 2018.
- [11] D. Linden dan T. Reddy, *Handbook Of Batteries*. 2002.
- [12] S. S. Maulana, "Analisis Optimasi Aliran Fluida Dalam Pipa Kondensasi Water From Atmosphere Generator Berbasis Computational Fluid Dynamic (CFD)," 2019, [Daring]. Tersedia pada: http://lib.unnes.ac.id/35821/1/5202414045_Optimized.pdf
- [13] M. A. Pradana, A. Sulisetyono, dan J. A. R. Hakim, "Studi Sloshing Tangki Lng Dengan Metode Eksperimen Dan Computational Fluid Dynamics (CFD)," hlm. 8, 2019.
- [14] E. Djatmiko, "Physic Setup.PT Optimaxx Prima Teknik.," 2021. <https://www.anakteknik.co.id/live-training/basic-computational-fluid-dynamics-cfd-simulation-with-ansys-fluent>
- [15] E. Supriyanto, "Simulasi Distribusi Temperatur Ruangan Ber Ac Pada Berbagai Variasi Temperatur Disekitar Evaporator," hlm. 26, 2017.
- [16] A. B. Prasetyo, A. A. Azmi, dan D. S. Pamuji, "Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan Mold Injeksi Produk Plastik," hlm. 7, 2018.
- [17] ANSYS, Inc, "Lecturer 7: Mesh Quality & Advanced Topics." 2015.
- [18] C. Wiratama, "Kualitas Mesh pada Computational Fluid Dynamics (CFD)," *Kualitas Mesh pada Computational Fluid Dynamics (CFD)*, 2021. <https://www.aeroengineering.co.id/2021/05/kualitas-mesh-pada-computational-fluid-dynamics-cfd/>
- [19] C. C. Aditama, "Studi Distribusi Udara Pendingin Reefer Container Ikan Pada Kereta Api Menggunakan Computational Fluid Dynamics (Cfd)," *Comput. FLUID Dyn.*, 2022.
- [20] ANSYS, Inc, *ANSYS Fluent Tutorial Guide*. 2017.
- [21] C. Anwar dan S. Panggabean, "Kajian Distribusi Suhu Dan Aliran Udara Pada Alat Pengering Chips Temulawak Tipe Rak Menggunakan Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)," no. 4, 2019.
- [22] I. W. Yudhatama dan M. I. P. Hidayat, "Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) Erosi Partikel Pasir dalam Aliran Fluida Gas Turbulen pada Elbow Pipa Vertikal – Horizontal," vol. 7, no. 2, 2018.
- [23] ANSYS, Inc, "Electronics Cooling with Natural Convection and Radiation." 2012.
- [24] C. Hirsch, "Numerical Computation of Internal External Flows, the Fundamental of Computational Fluid Dynamics (Second).," *John Wiley Sons*, 2007.