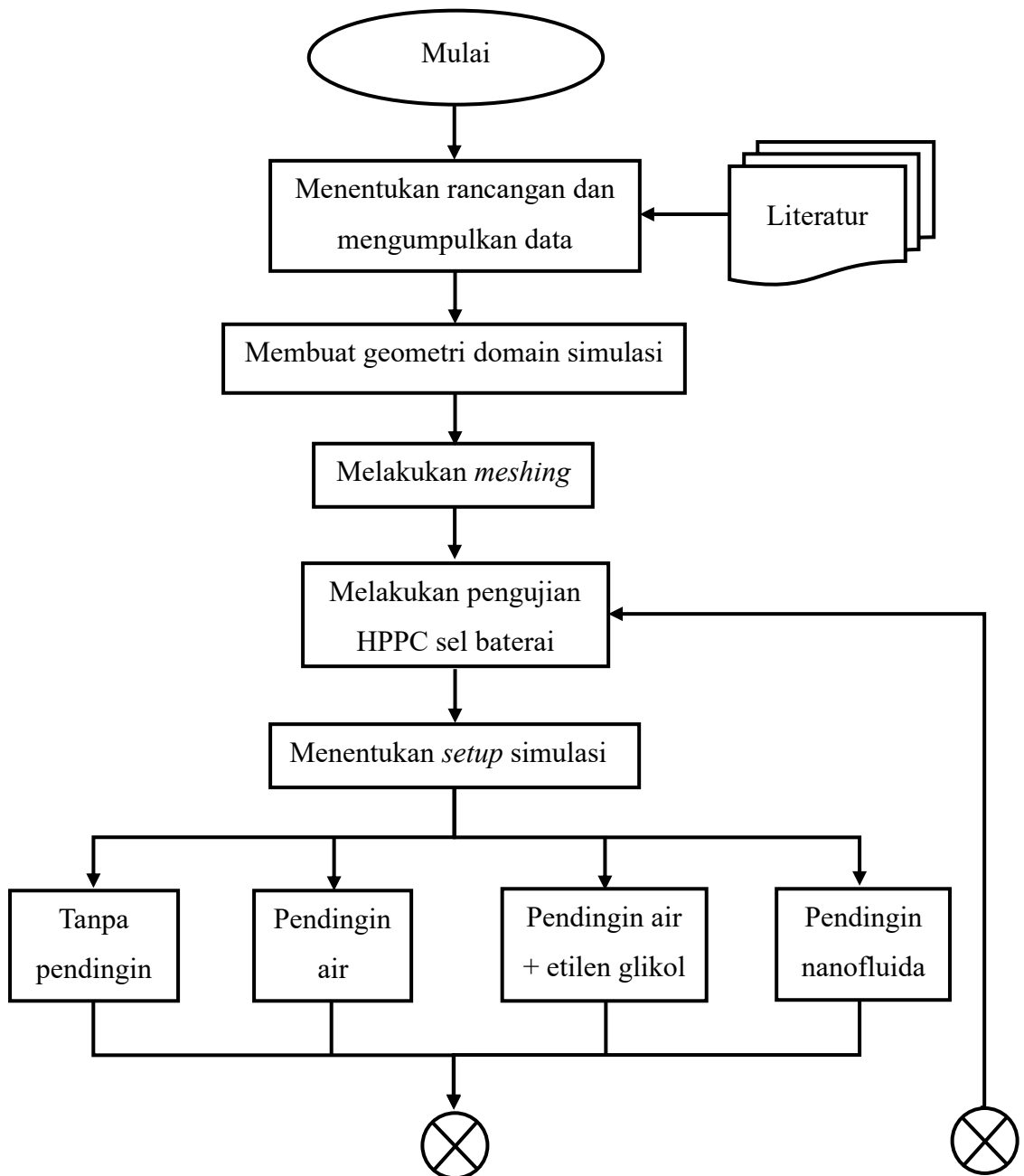


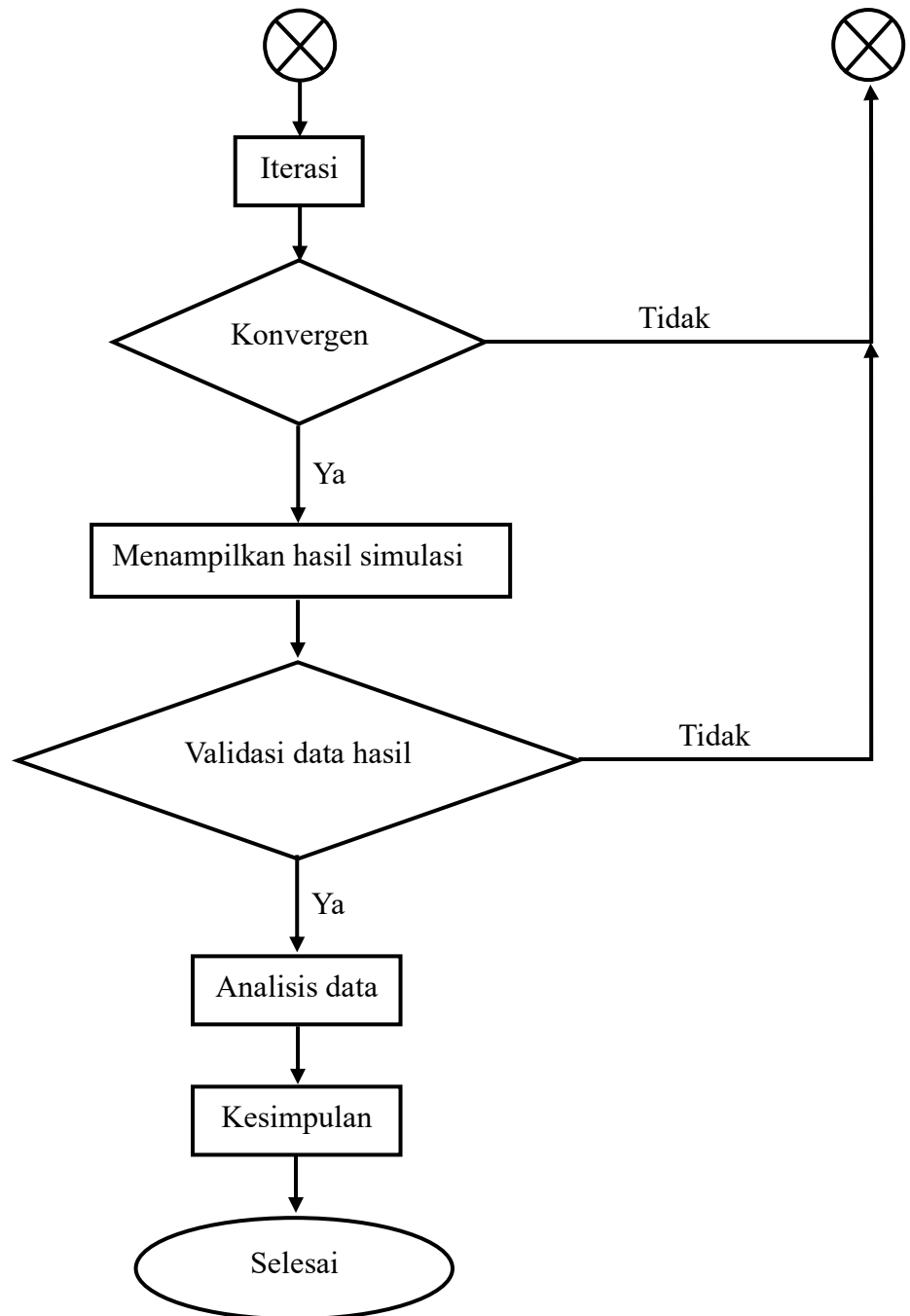
# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis menyusun diagram alir yang bertujuan untuk menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir. Adapun diagram alir yang telah disusun adalah sebagai berikut.

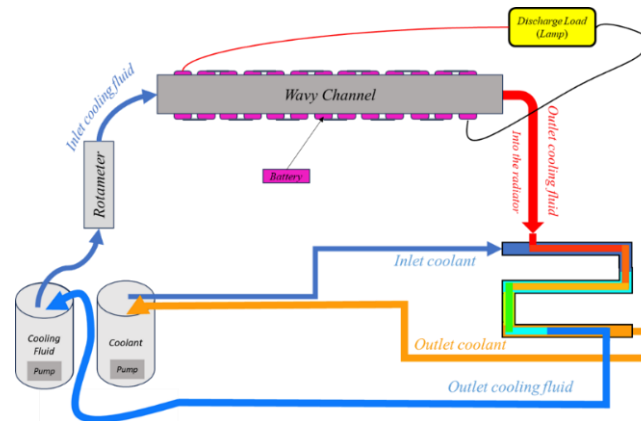




**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Perancangan dan Pengumpulan Data

Sistem pendingin baterai dirancang untuk mengatasi akumulasi panas saat baterai beroperasi. Sistem ini digunakan untuk mendinginkan baterai Li-ion tipe 18650 yang disusun 13 seri dan 1 paralel (13S1P). Skematik sistem pendingin baterai ditunjukkan pada Gambar 3.2.



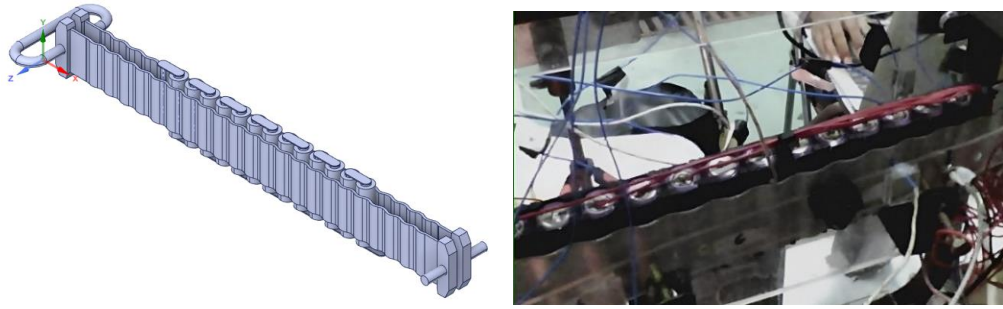
**Gambar 3.2** Skematik Sistem Pendingin Baterai

Rangkaian baterai diapit dengan *wavy channel tube*. Baterai dihubungkan ke beban lampu, saat *switch* dinyalakan maka lampu akan terhubung dan menyala. Ini dilakukan untuk *discharge* baterai. Saat baterai di-*discharge* terjadi proses *electrochemical* dan *joule heating* (Kurniawan, 2020). Ini menyebabkan baterai dapat menghasilkan panas.

Fluida pendingin ditampung di dalam tangki, yang kemudian dialirkan ke *wavy channel tube* melalui inlet menggunakan pompa sehingga fluida pendingin mengalir di sepanjang *tube* tersebut. Ini bertujuan untuk menyerap akumulasi panas yang dihasilkan modul baterai. Fluida pendingin kemudian keluar melalui outlet dengan suhu yang lebih tinggi, yang kemudian melewati radiator untuk didinginkan kembali menggunakan *coolant*. Lalu, fluida pendingin ditampung kembali di tangki. Adapun sistem pendingin baterai untuk pengujian eksperimen yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 3.3. Untuk penelitian tugas akhir ini, model yang digunakan hanya *wavy channel tube* dan modul baterai Li-ion 18650 silinder, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.3** Alat Eksperimen Sistem Pendingin Baterai



**Gambar 3.4** Model Simulasi

### 3.2.1 Spesifikasi Sel Baterai Lithium-Ion 18650

Dalam penelitian tugas akhir ini, baterai Li-ion umum tipe 18650 digunakan dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1. Data spesifikasi tersebut mengacu pada data spesifikasi pembelian baterai (Lampiran 2) dan penelitian Sarchami et al. (2022).

**Tabel 3.1** Spesifikasi Baterai Lithium-Ion (Li-ion) 18650

Spesifikasi	Nilai	Satuan
Kapasitas Nominal	1,26	Ah (ampere-hour)
Tegangan Nominal	3,7	V (volt)
Tinggi Baterai	65	mm (milimeter)
Diameter Baterai	18	mm (milimeter)
Massa	45	g (gram)
Material Anoda	Grafit	-
Material Katoda	LiNiCoAlO <sub>2</sub>	-
Material Elektrolit	Lithium salt (LiPF <sub>6</sub> )	-

### 3.2.2 *Properties* Sel Baterai Lithium-Ion

*Properties* sel baterai merujuk pada penelitian Li et al., (2019). Nilai tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** *Properties* Sel Baterai

Besaran	Notasi	Nilai	Satuan
Densitas	$\rho$	2092	kg/m <sup>3</sup>
Panas Spesifik	$C_p$	678	J/(kg · K)
Konduktivitas Termal	$k$	18,2	W/(m · K)
Konduktivitas Listrik Elektroda Positif	$\sigma_+$	1190000	S/m
Konduktivitas Listrik Elektroda Negatif	$\sigma_-$	983000	S/m

### 3.2.3 *Properties* Busbar

Busbar digunakan sebagai penghantar listrik dan menghubungkan antar baterai sehingga tercipta rangkaian baterai 13S1P (13 Seri dan 1 Paralel). Material busbar yang digunakan adalah tembaga (*copper*) dengan *properties* material yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** *Properties* Busbar Tembaga

Besaran	Notasi	Nilai	Satuan
Densitas	$\rho$	8978	kg/m <sup>3</sup>
Panas Spesifik	$C_p$	381	J/(kg · K)
Konduktivitas Termal	$k$	387,6	W/(m · K)
Konduktivitas Listrik	$\sigma$	$5,8 \times 10^7$	S/m

### 3.2.4 *Properties* Wavy Channel Tube

*Wavy channel tube* digunakan sebagai tempat untuk mengalirkan fluida pendingin. Material yang digunakan adalah aluminium dengan *properties* ditunjukkan pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** *Properties* Wavy Channel Tube Aluminium

Besaran	Notasi	Nilai	Satuan
Densitas	$\rho$	2719	kg/m <sup>3</sup>
Panas Spesifik	$C_p$	871	J/(kg · K)
Konduktivitas Termal	$k$	202,4	W/(m · K)

### 3.2.5 Properties Air (W)

Berikut data *properties* air yang ditunjukkan pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.5 Properties Air**

Besaran	Notasi	Nilai	Satuan
Densitas	$\rho$	998,2	kg/m <sup>3</sup>
Panas Spesifik	$C_p$	4182	J/(kg · K)
Konduktivitas Termal	$k$	0,6	W/(m · K)
Viskositas	$\mu$	0,001003	kg/(m · s)

### 3.2.6 Properties Air (W) 60% + Etilen Glikol (EG) 40%

Campuran air dan etilen glikol juga digunakan sebagai fluida pendingin. Komposisi yang digunakan dalam fluida ini adalah air (W) 60% dan etilen glikol (EG) 40%. *Properties* dari fluida tersebut merujuk pada penelitian Farhana et al., (2020) yang ditunjukkan pada Tabel 3.7.

**Tabel 3.6 Properties 60% Air + 40% Etilen Glikol**

Besaran	Notasi	Nilai	Satuan
Densitas	$\rho$	1051,5	kg/m <sup>3</sup>
Panas Spesifik	$C_p$	2661	J/(kg · K)
Konduktivitas Termal	$k$	0,4110	W/(m · K)
Viskositas	$\mu$	0,0021	kg/(m · s)

### 3.2.7 Properties Nanofluida

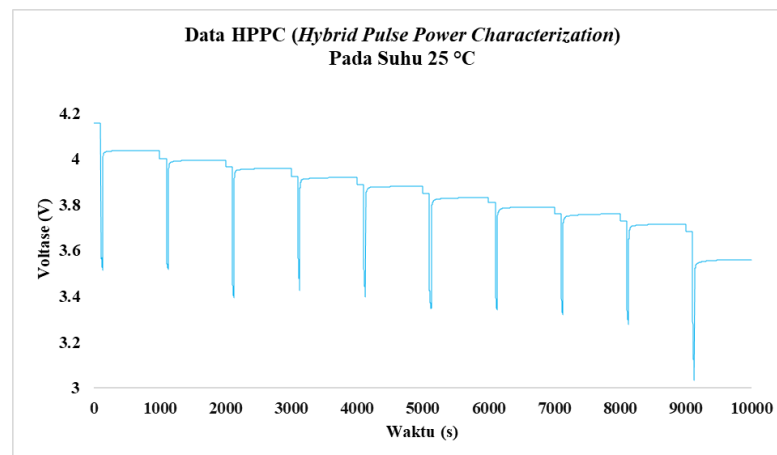
Nanofluida yang digunakan adalah *cellulose nanocrystal* (CNC) - air (W) + etilen glikol (EG). Nanofluida tersebut merujuk pada penelitian Farhana et al., (2020) yang berjudul “*Experimental Studies on Thermo-Physical Properties of Nanocellulose–Aqueous Ethylene Glycol Nanofluids*”. Pada penelitian ini, digunakan nanofluida berupa nanopartikel *cellulose nanocrystal* (CNC) dengan konsentrasi 0,5% yang disuspensikan menggunakan basis fluida dari campuran air (W) 60% dan etilen glikol (EG) 40%. *Properties* dari nanofluida CNC-W+EG ditunjukkan pada Tabel 3.8.

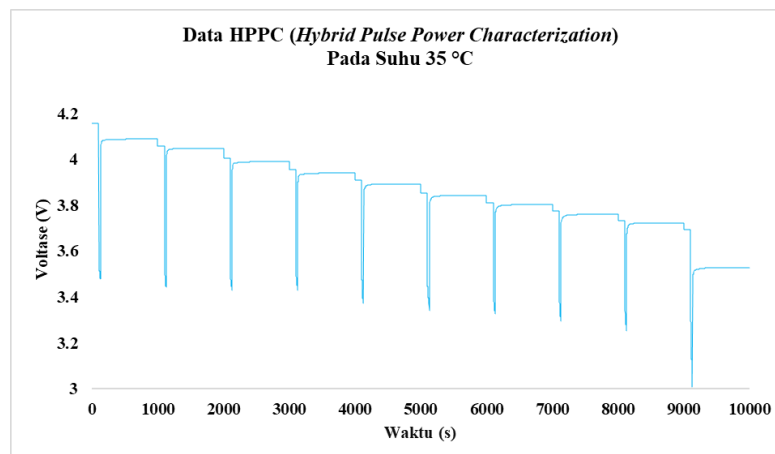
**Tabel 3.7** *Properties* Nanofluida CNC-W+EG

Besaran	Notasi	Nilai	Satuan
Densitas	$\rho$	1052,3	kg/m <sup>3</sup>
Panas Spesifik	$C_p$	2512,5	J/(kg · K)
Konduktivitas Termal	$k$	0,4120	W/(m · K)
Viskositas	$\mu$	0,00223	kg/(m · s)

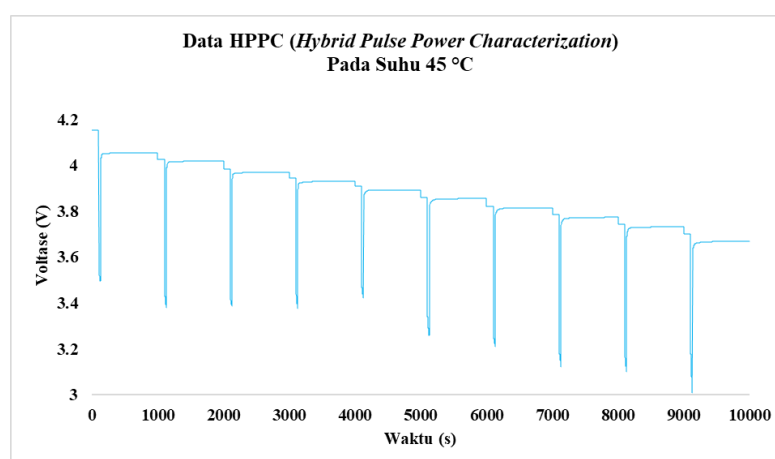
### 3.3 Pengujian *Hybrid Pulse Power Characterization* (HPPC) Sel Baterai

Pengujian HPPC bertujuan untuk memperoleh data yang digunakan untuk mengidentifikasi parameter model ECM (detail pada sub bab 2.7 dan 2.8). Pada penelitian ini, pengujian HPPC dilakukan dengan uji eksperimen sel baterai pada tiga variasi kondisi suhu ruang yang berbeda, yaitu 25 °C, 35 °C, dan 45 °C. Pada masing-masing kondisi suhu, baterai di-charge penuh hingga SOC 100%, kemudian di-discharge secara bertahap 10% dengan arus listrik konstan hingga baterai habis atau SOC 0%. Selain itu, diambil waktu relaksasi 10 menit setiap setelah periode 10% discharge. Selama pengujian tersebut voltase baterai diukur terhadap waktu. Data HPPC yang diperoleh untuk masing-masing kondisi suhu 25 °C, 35 °C, dan 45 °C ditunjukkan pada gambar di bawah ini, yang direpresentasikan dalam bentuk kurva.

**Gambar 3.5** Data HPPC Pada Suhu 25 °C



**Gambar 3.6** Data HPPC Pada Suhu 35 °C



**Gambar 3.7** Data HPPC Pada Suhu 45 °C

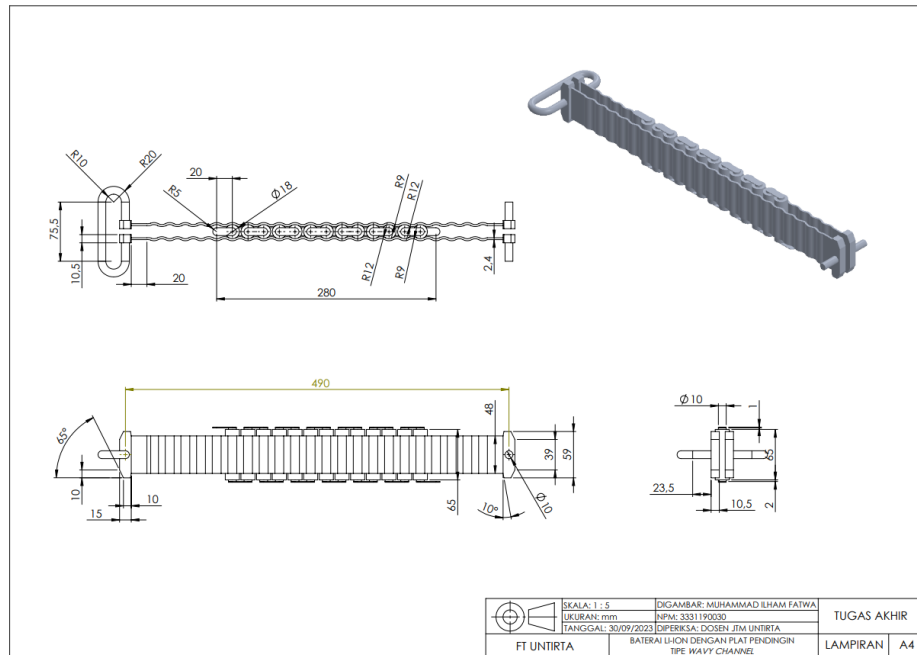
### 3.4 Geometri Model Simulasi

Model simulasi terdiri dari baterai Li-ion silinder 18650 yang disusun 13S1P (13 seri dan 1 paralel) dan *wavy channel tube*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Selain itu, pada model simulasi ini terbagi menjadi dua domain, yaitu domain solid dan domain fluida. Domain solid terdiri dari baterai, busbar, positif tab, dan negatif tab. Sedangkan domain fluida hanya terdiri dari *wavy channel tube*. Ini ditunjukkan pada Gambar 3.9.

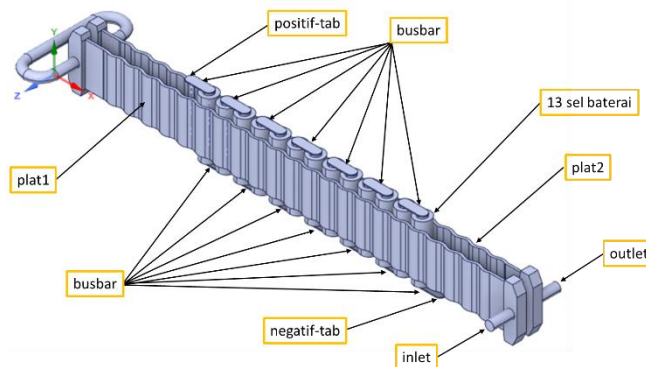
Dalam pembuatan geometri model simulasi, perlu diperhatikan dalam mendefinisikan bagian-bagian yang dibuat. Hal ini dikarenakan dapat mempengaruhi tahap berikutnya. Bagian-bagian dari geometri perlu didefinisikan dengan memberi “nama” pada tiap *surface*-nya. Penamaan ini



akan menjadi acuan dalam menentukan kondisi batas (*boundary condition*) pada tahap *setup*. Adapun bagian-bagian dari model simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.8** Geometri Baterai Li-Ion Dengan *Wavy Channel Tube*

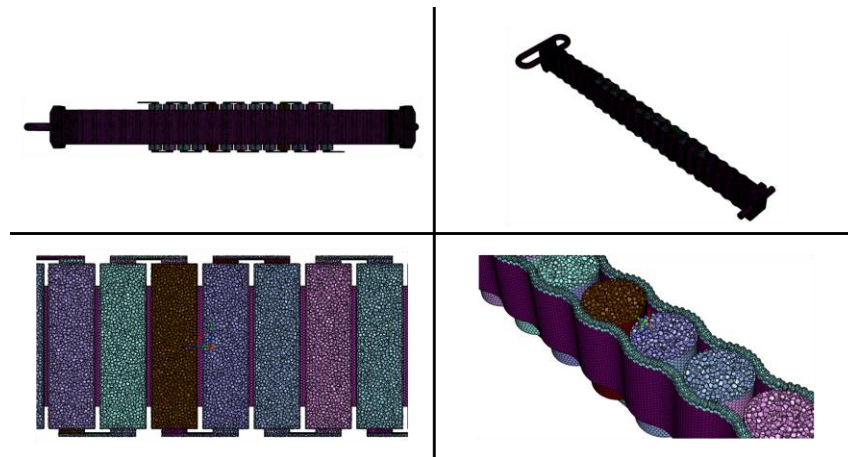


**Gambar 3.9** Bagian-Bagian Model Simulasi

### 3.5 Pemodelan *Meshing*

Pemodelan *meshing* adalah proses dimana domain komputasi, yaitu volume kontrol yang telah dibuat dalam bentuk geometri, dibagi menjadi sub-volume yang sangat kecil. Dalam sub-volume ini, dilakukan perhitungan berbagai persamaan matematis. Pada penelitian ini, jumlah *mesh* yang

digunakan untuk simulasi sebanyak 983069 sel dengan tipe *polyhedra*. Adapun model *mesh* tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Model *Mesh* Domain Simulasi

### 3.5 Penentuan Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Model simulasi terdiri dari beberapa bagian, diantaranya adalah baterai, busbar, positif tab, negatif tab, *wavy channel tube*, inlet, dan outlet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. Bagian-bagian tersebut didefinisikan dengan menerapkan kondisi batas yang sesuai dengan aktualnya. Baterai ditentukan sebagai *active component* untuk pembangkitan panas akibat reaksi elektrokimia dalam baterai dan *joule heating*. Busbar ditentukan sebagai *passive component* untuk menghubungkan antar baterai dan berperan sebagai konduktor yang menghantarkan arus listrik. Positif tab dan negatif tab, masing-masing ditentukan sebagai kutub positif dan kutub negatif modul baterai yang secara aktualnya dihubungkan ke suatu beban. *Wavy channel tube* adalah tempat fluida mengalir dan ditentukan sebagai *no-slip wall*. Inlet adalah aliran masuk fluida ke dalam *wavy channel tube* yang ditentukan sebagai *mass flow inlet*. Outlet ditentukan sebagai *outflow*, dimana aliran keluar dari *wavy channel tube*.

### 3.6 Penentuan *Setup* Simulasi

Pengaturan model fisika yang tepat memungkinkan untuk mensimulasikan kondisi realistis, saat menganalisis modul baterai yang sebenarnya. Namun, dalam simulasi ini reaksi elektrokimia di dalam baterai

tidak dipertimbangkan, melainkan direpresentasikan menggunakan data HPPC. Simulasi penelitian tugas akhir ini menggunakan Ansys Fluent.

Pembangkitan panas dari modul baterai menggunakan model MSMD (*Multi Scale - Multi Domain*) dengan sub-model ECM (*Equivalent Circuit Model*) di Ansys Fluent. Parameter yang diinputkan meliputi *nominal capacity cell* (1.26 Ah), *C-Rate* (4C), *active component* (13 sel baterai), *passive component* (busbar), *negative tab* (negatif tab), *positive tab* (positif tab), dan parameter baterai yang digunakan (data HPPC). Dinding (*surface*) sel baterai ditetapkan memiliki koefisien perpindahan panas konveksi  $5 \text{ W/m}^2\text{°C}$  dan perpindahan panas radiasi diabaikan karena variasi suhu yang kecil (Sarchami et al., 2022).

Material yang sesuai diinputkan pada domain model simulasi untuk merepresentasikan modul baterai yang digunakan pada eksperimen. Material sel baterai ditunjukkan pada Tabel 3.2 digunakan untuk domain 13 sel baterai. Domain busbar menggunakan material tembaga (*copper*) dengan *properties* pada Tabel 3.3. Aluminium dengan *properties* pada Tabel 3.4 digunakan untuk dinding *tube* pendingin. Adapun fluida pendingin air, campuran air (W) 60% + etilen glikol (EG) 40%, dan nanofluida *cellulose nanocrystal* (CNC) – air (W) + etilen glikol (EG) dengan *properties*-nya masing-masing digunakan untuk domain fluida di dalam *tube* pendingin.

Saat baterai beroperasi, baterai secara berkala akan mengakumulasi panas karena adanya reaksi *electrochemical* di dalam baterai dan *joule heating*. Untuk mengatasi panas tersebut, fluida pendingin dialirkan masuk melalui inlet dengan variasi laju aliran massa  $5 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ ,  $10 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ , dan  $15 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  pada suhu  $30 \text{ °C}$  dan keluar melalui outlet (*outflow*). Fluida pendingin bertujuan untuk menyerap panas yang dihasilkan oleh baterai. Dinding (*surface*) kedua plat/*tube* pendingin diatur menjadi *no-slip wall* untuk mempertimbangkan tegangan geser fluida terhadap dinding, dengan *wall thickness*  $0,45 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

### 3.7 Penentuan *Solver* Simulasi

Setelah *setup* dilakukan, maka selanjutnya dapat menentukan *solver* simulasi untuk memecahkan atau menyelesaikan persamaan-persamaan matematis dari parameter yang telah diinputkan. Model *energy* diaktifkan untuk menangkap perpindahan panas yang terjadi. *Pressure based* dipilih sebagai tipe *solver* untuk aliran inkompresibel dengan model aliran *laminar* dan kondisi waktu *transient*. Skema SIMPLE digunakan sebagai algoritma untuk perhitungan yang dilakukan Ansys Fluent, dengan diskritisasi *second order* untuk *pressure* dan *second order upwind* untuk *momentum*, *turbulent kinetic energy*, *specific dissipation rate*, dan *energy*. Berikutnya diatur *patch*, *time step*, dan *number of time step*, dan kemudian menjalankan simulasi (*running*).

### 3.8 Hasil Simulasi

Tahap ini merupakan tahap dimana ditampilkannya hasil dari proses iterasi yang telah dilakukan pada Ansys Fluent. Hasil simulasi yang didapat adalah data suhu maksimum modul baterai dan suhu outlet. Selain itu juga didapat kontur distribusi suhu pada modul baterai dan fluida pendingin.