

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SISTEM PENDINGIN AKTIF, PASIF, DAN HIBRIDA UNTUK MANAJEMEN TERMAL MODUL BATERAI NICKEL MANGANESE COBALT OXIDES (NMC) BERBASIS SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS DAN VALIDASI EKSPERIMENTAL

by Muhammad Zamroni (13321076) | advised by Ir. Narendra Kurnia Putra, S.T., M.T., Ph.D., IPP. dan Dr.-Ing. Justin Pradipta, S.T., M.T.



Program Studi Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung



Laboratorium Manajemen Energi
Program Studi Teknik Fisika ITB

1.



Latar Belakang

NMC dipilih karena densitasnya yang tinggi, yaitu **150 - 250 Wh/kg**. Sayangnya, baterai ini memiliki kekurangan pada bagian keamanan. Saat melebihi temperatur ekstrem, baterai NMC bisa **panas bahkan hingga meledak**.

Pengisian:

Pengosongan:

Optimal:

-20°C 0°C 20°C 40°C 55°C

Temperatur Maksimum

Untuk mengatur termal baterai, **diperlukan BTMS** (Battery Thermal Management System) yang mencakup:

Temperatur maksimum
 $T_{max} \leq 55^\circ\text{C}$

Keseragaman temperatur
 $\Delta T_{max} \leq 5^\circ\text{C}$

Pada KLBB, terdapat 3 jenis pendingin yang biasa digunakan:



Pendingin aktif

Konveksi udara paksa



Pendingin pasif

Phase Change Material (PCM): Parafin RT40



Pendingin hibrida

Gabungan pendingin aktif dan pasif

Untuk menentukan jenis pendingin yang paling efektif mendinginkan baterai, **diperlukan simulasi CFD** untuk analisis mendalam dan secara *time-dependent* yang sulit dilakukan secara *hardware*.

2.



Teori Dasar

Pembangkitan kalor internal baterai:

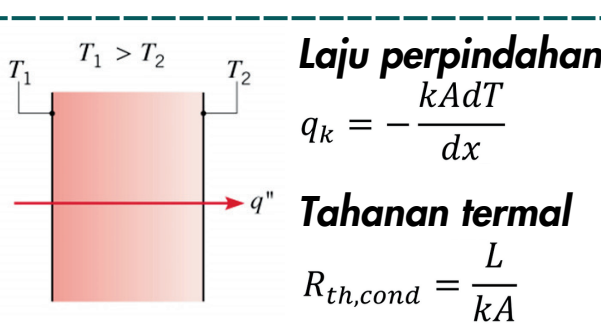
$$Q_{tot} = Q_{irr} + Q_{rev}$$

$$Q_{irr} = I^2 \times R_{int}$$

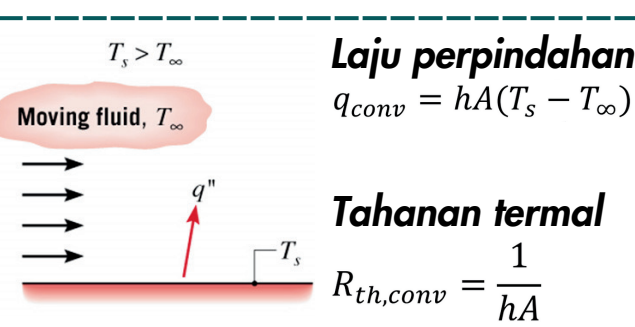
$$Q_{rev} = I \times T \times \frac{dE_{ocv}}{dT}$$

Perpindahan kalor:

Konduksi



Konveksi



Mekanika Fluida:

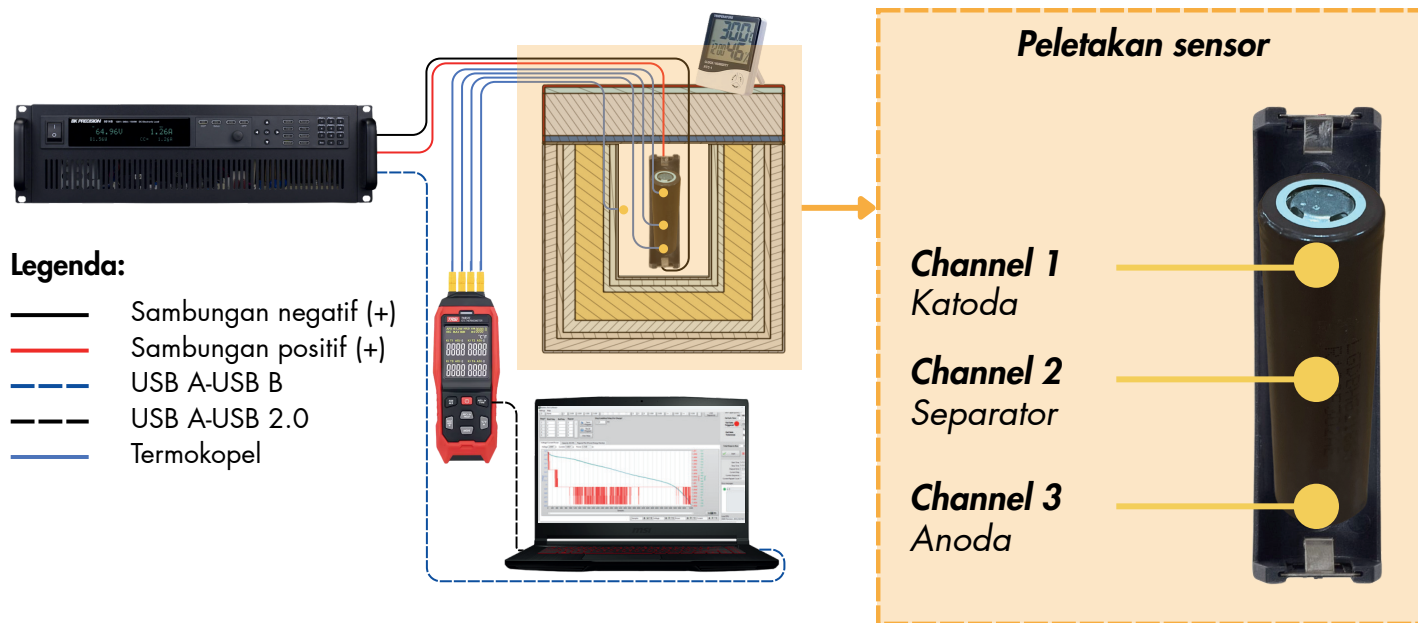
Bil. Reynolds	Bil. Prandtl	Bil. Nusselt (Churchill-Bernstein)	Koef. Konveksi
$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$	$Pr = \frac{c_p \mu}{k}$	$Nu_D = 0,3 + \frac{0,62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (0,4/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$	$h = \overline{Nu}_D \times \frac{k}{D}$

3.

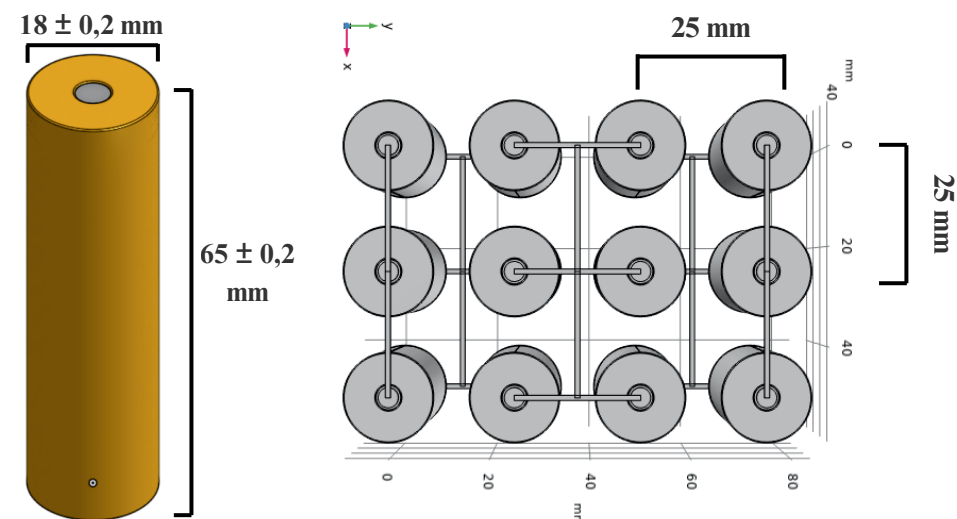


Metodologi

Konfigurasi Eksperimen:



Pemodelan dan Setelan Simulasi CFD:



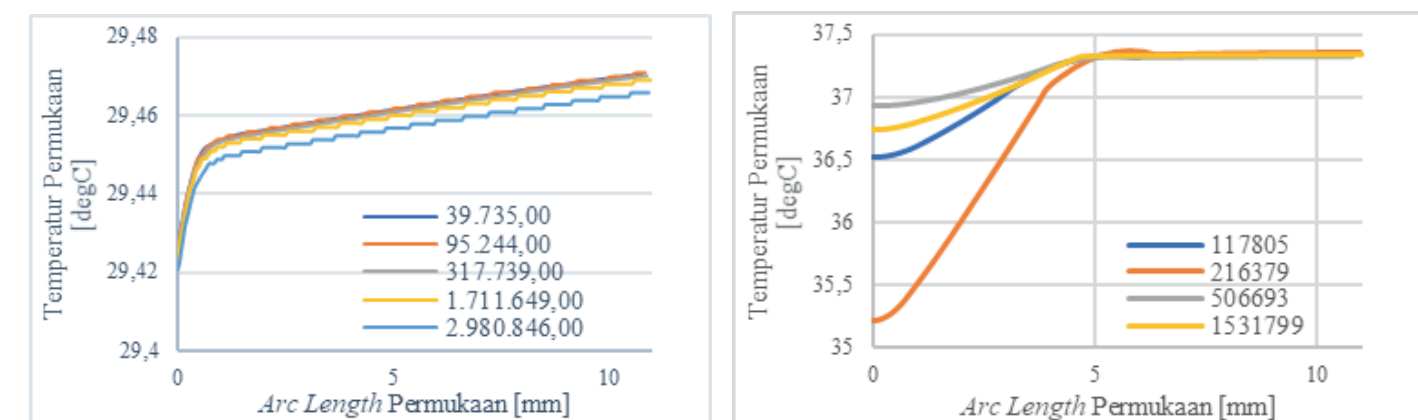
Modul yang digunakan:

Heat Transfer in Solids (ht)

dengan node:

Global Equations ODE

Mesh Independence Study:

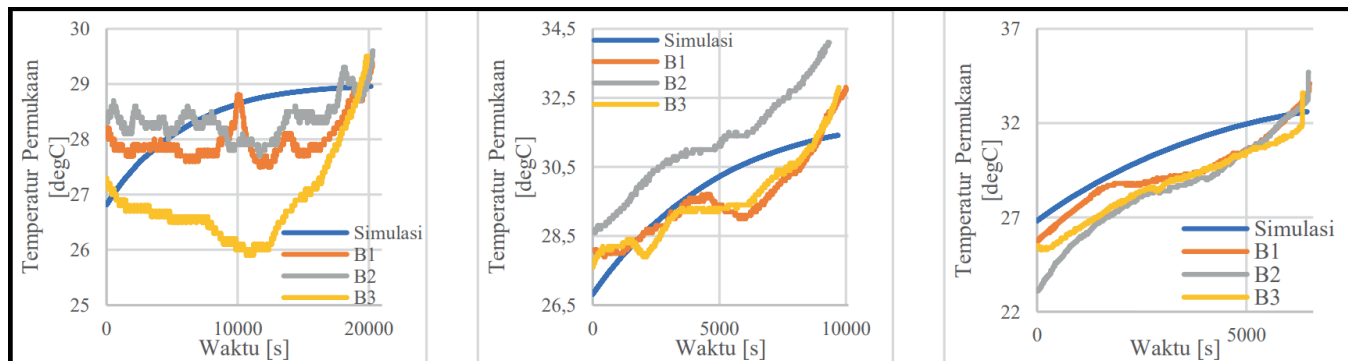
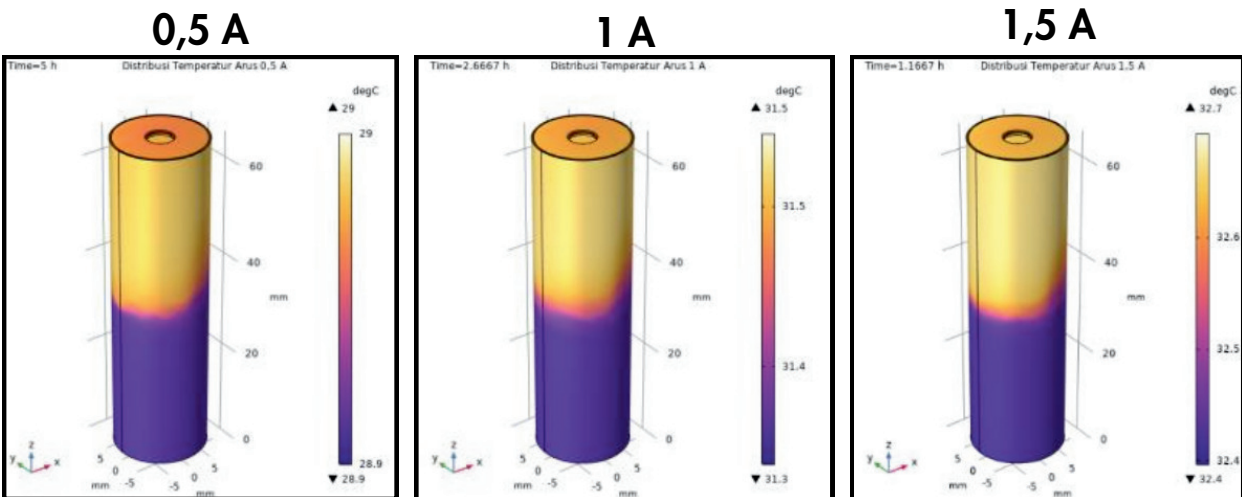


Tingkat yang dipilih: **Halus** (sel baterai) & **Normal** (modul baterai).

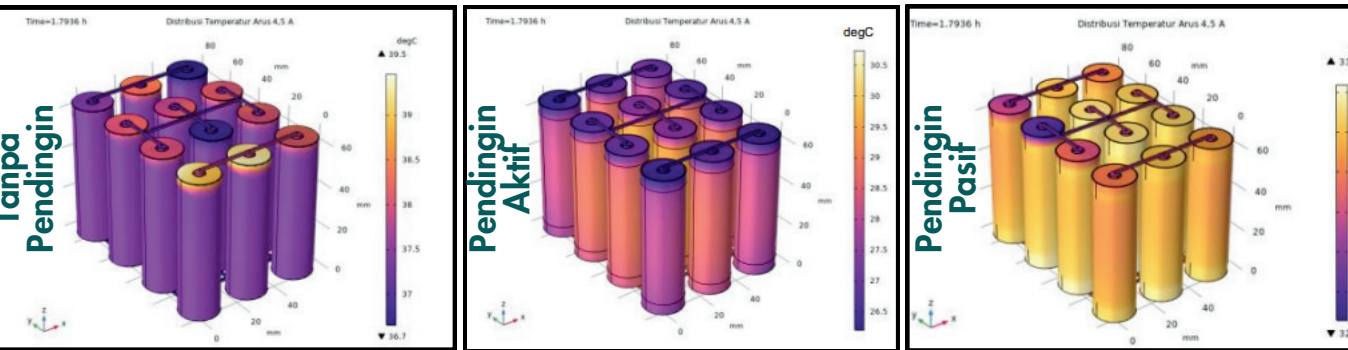
4.



Hasil dan Pembahasan



Pada level sel baterai, galat berada di bawah 5% yang menunjukkan bahwa pemodelan dan simulasi CFD telah tervalidasi dengan eksperimen.



- Tanpa Pendingin: T_{max} tertinggi (39,5 °C).
- Pendingin Pasif: ΔT_{max} terendah (1,1 °C). T_{max} cukup tinggi (33,6 °C).
- Pendingin Aktif: T_{max} cukup rendah (30,5 °C). ΔT_{max} cukup tinggi (4,0 °C).
- Pendingin Hibrida: T_{max} terendah dan ΔT_{max} rendah (28,5 °C dan 2,0 °C)

5.



Kesimpulan

1. Eksperimen pada sel baterai tunggal di 3 arus berhasil mengkarakterisasi perilaku termal baterai.
2. Model sel dan modul baterai berhasil dibuat.
3. Simulasi CFD berhasil dijalankan untuk berbagai skenario.
4. Sistem pendingin hibrida menjadi konfigurasi paling efektif untuk mendinginkan modul baterai.