

STUDI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEMPERATUR MODUL BATERAI SILINDER 18650 TERHADAP VARIASI ARUS PENGOSONGAN

Oleh : Muhammad Farhan Rasyidnianto
NIM : 13321037

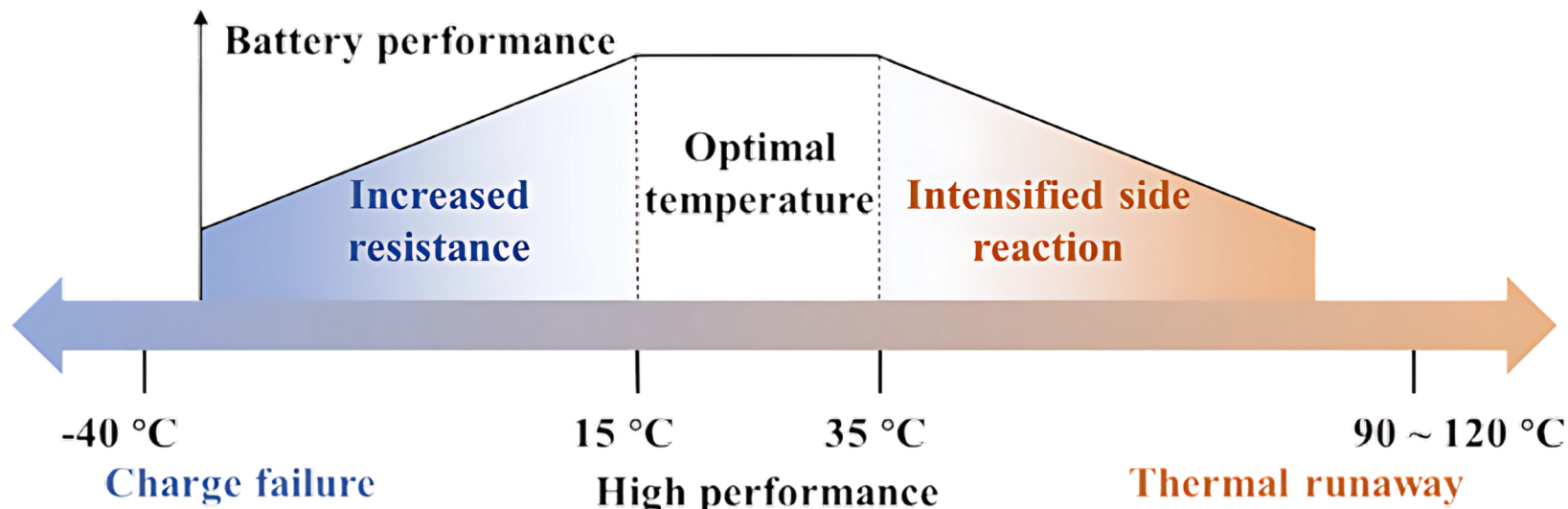
Dosen Pembimbing 1 : Dr.-Ing. Justin Pradipta, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Narendra Kurnia Putra, ST, MT, Ph.D., IPP.



Program Studi Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung

LATAR BELAKANG

- Baterai lithium-ion (Li-ion) tipe silinder 18650 banyak digunakan dalam kendaraan listrik dan perangkat portabel karena densitas energi yang tinggi dan umur pakai panjang. Namun, selama proses pengosongan, terjadi akumulasi panas internal yang dapat menyebabkan peningkatan temperatur berlebih. Kondisi ini berdampak pada efisiensi sistem, mempercepat degradasi material aktif, dan berpotensi menimbulkan risiko keselamatan berupa terbakarnya baterai (Kalkan *et al.*, 2024).
- Kinerja optimal baterai Li-ion dicapai pada rentang temperatur 15–35 °C dan perbedaan temperatur antarsel <5 °C (Gungor *et al.*, 2023). Jika temperatur melebihi batas maksimum tersebut, risiko kerusakan dan ketidakseimbangan performa meningkat secara signifikan dan bisa memicu terjadinya kebakaran sel apabila sel bersuhu mencapai 90–120 °C. Oleh karena itu, pemahaman mengenai distribusi temperatur dalam modul baterai sangat penting, terutama saat terjadi variasi arus pengosongan (Kumar *et al.*, 2023).
- Metode elemen hingga (MEH) merupakan pendekatan numerik yang memungkinkan pemodelan distribusi temperatur secara tiga dimensi (Chanthevee *et al.*, 2018). Dalam studi ini, dilakukan kombinasi eksperimen dan simulasi berbasis MEH untuk menganalisis karakteristik termal modul baterai 18650 serta mengevaluasi keakuratan model terhadap data nyata.



TUJUAN DAN SASARAN

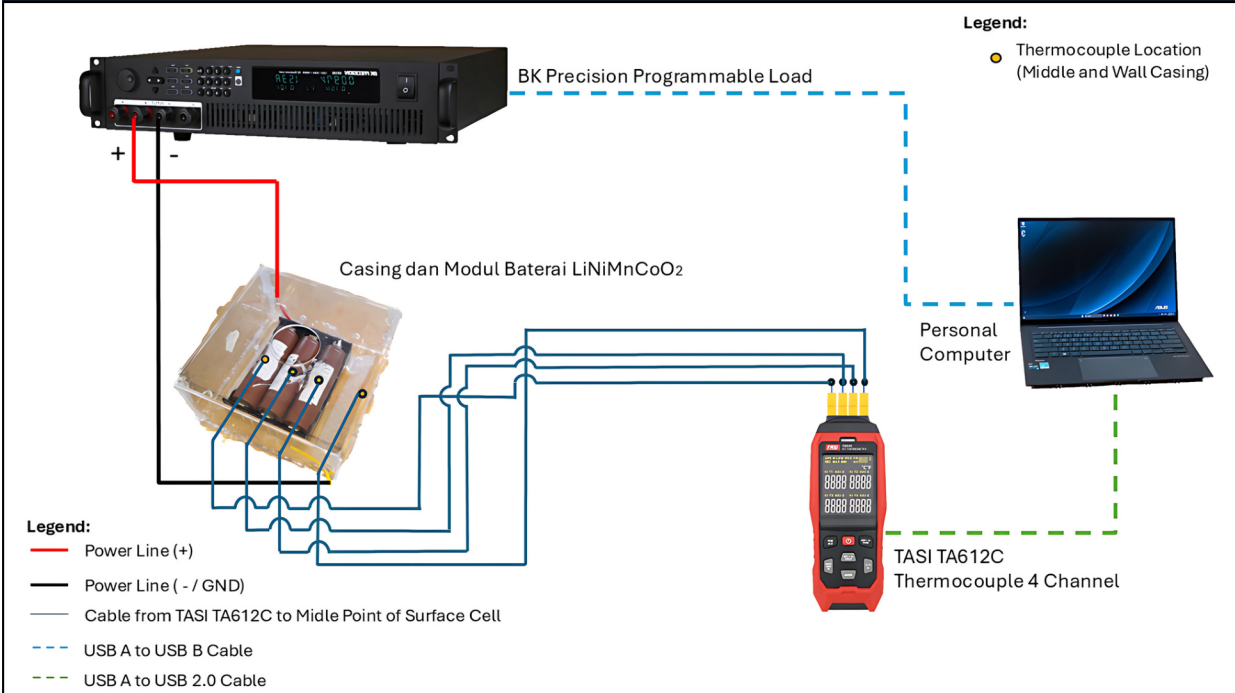
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi arus pengosongan terhadap distribusi temperatur modul baterai 18650, serta mengevaluasi akurasi model simulasi numerik berbasis metode elemen hingga (MEH). Sasaran utama meliputi:

- Menganalisis pengaruh besar arus pengosongan terhadap distribusi temperatur permukaan masing-masing sel pada modul baterai.
- Mengidentifikasi temperatur maksimum dan ketercapaiannya terhadap batas aman (15–35 °C)
- Menyusun dan mensimulasikan model konduksi kalor menggunakan COMSOL Multiphysics.
- Melakukan validasi model terhadap data eksperimen dengan evaluasi *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

BATASAN DAN ASUMSI

- Penelitian ini menggunakan modul baterai 3S dari tiga sel 18650 LG HG2, dibungkus casing akrilik 2 mm untuk menstabilkan suhu lingkungan saat eksperimen. Pengujian dilakukan pada tiga variasi arus pengosongan: 3 A, 4,5 A, dan 3,9 A.
- Simulasi numerik menggunakan COMSOL Multiphysics 5.2 dengan modul *Heat Transfer in Solid and Fluid*. Analisis difokuskan pada distribusi temperatur permukaan sel dan validasi hasil simulasi terhadap data eksperimen.
- Adapun beberapa asumsi yang digunakan dalam model simulasi ini adalah hambatan internal baterai dianggap konstan sepanjang proses, dan pembangkitan kalor *reversible* akibat perubahan entropi diabaikan karena kontribusinya relatif kecil dibandingkan kalor Joule.

METODOLOGI DAN RANCANGAN PENELITIAN

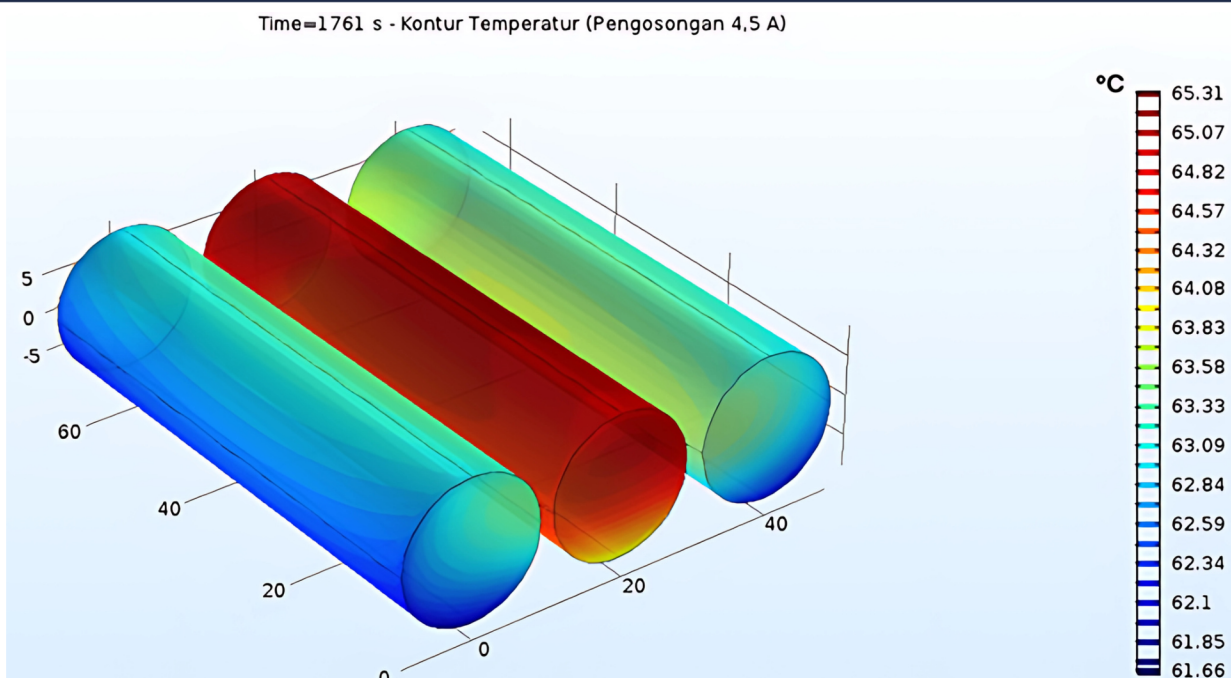
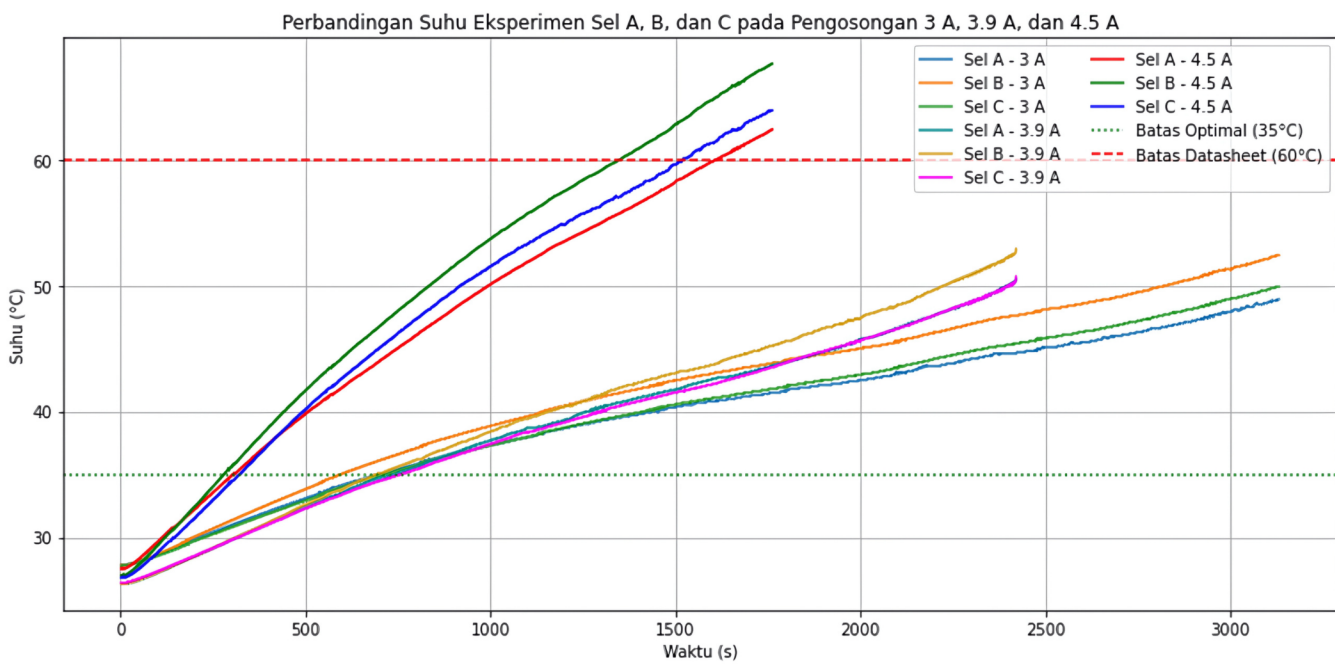


- Pengujian dilakukan dengan mengosongkan modul baterai 3S menggunakan BK Precision Programmable Load dengan tiga variasi arus: 3 A, 4,5 A, dan 3,9 A secara berurutan hingga kapasitas habis.
- Setiap permukaan tengah bagian atas di sel baterai terpasang sensor temperatur tipe K yang terhubung ke TASI TA612C, kemudian dicatat secara *real-time* menggunakan komputer melalui koneksi USB.
- Temperatur dipantau pada tiga titik permukaan sel dan satu titik dinding casing akrilik, dengan interval pencatatan 1 detik.

Geometri simulasi dibuat menggunakan COMSOL Multiphysics 5.2, memodelkan tiga sel silinder 18650 dalam konfigurasi sejajar serta casing akrilik sebagai enclosure. Gambar (a) menunjukkan posisi titik pengukuran temperatur sesuai sensor eksperimen, sementara gambar (b) menunjukkan tampilan keseluruhan casing dengan lubang masukan dan keluaran udara.

Meshing dilakukan menggunakan elemen tetrahedral. Untuk memodelkan distribusi temperatur secara detail, masing-masing dari tiga sel baterai dimesh dengan total 241.584 elemen. Sementara itu, domain *enclosure* udara yang merepresentasikan casing akrilik dimesh dengan 92.600 elemen. Fokus utama diberikan pada sel baterai karena menjadi objek utama analisis termal.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Tabel Akurasi Simulasi terhadap Data Eksperimen

Arus Pengosongan	MAE (°C)	MAPE (%)
3 A	1,03	2,38
4,5 A	1,99	3,86
3,9 A	6,76	16,43

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin tinggi arus pengosongan, maka suhu sel baterai meningkat lebih cepat dan signifikan. Pengosongan 4,5 A menghasilkan temperatur tertinggi dan sel tengah selalu mencatat suhu tertinggi karena posisinya di tengah modul yang menerima panas dari dua sisi dan memiliki konveksi terbatas. Pola ini sesuai dengan hasil simulasi COMSOL yang menunjukkan konsentrasi temperatur tertinggi pada sel tengah. Tabel akurasi simulasi terhadap eksperimen menunjukkan bahwa model simulasi akurat untuk arus 3 A (MAE: 1,03 °C; MAPE: 2,38%) dan 4,5 A (MAE: 1,99 °C; MAPE: 3,86%). Namun, pada arus 3,9 A, deviasi meningkat (MAE: 6,76 °C; MAPE: 16,43%).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar arus pengosongan, suhu baterai meningkat lebih cepat akibat efek pemanasan Joule. Sel tengah mengalami suhu tertinggi karena posisi yang terjepit di antara dua sel lain dan terbatasnya pendinginan. Simulasi numerik berbasis COMSOL akurat pada arus 3 A dan 4,5 A (MAPE < 5%), namun kurang akurat pada 3,9 A (MAPE > 16%) akibat degradasi sel yang tidak dimodelkan. Secara keseluruhan, pendekatan MEH efektif merepresentasikan distribusi temperatur, namun perlu pengembangan parameter dinamis resistansi internal baterai untuk memperhitungkan efek degradasi sel baterai.