

**PENDINGINAN MODUL BATERAI LITHIUM-ION SILINDER  
MENGUNAKAN *WAVY CHANNEL TUBE***



**Skripsi**

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan  
Dalam Menyelesaikan Program Strata-(S1)  
Pada Jurusan Teknik Mesin  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

Disusun Oleh:

**MUHAMMAD ILHAM FATWA  
3331190030**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN  
2023**

## TUGAS AKHIR


### Pendinginan Modul Baterai Lithium-Ion Silinder Menggunakan Wavy Channel Tube


Dipersiapkan dan disusun oleh:

**Muhammad Ihham Fatwa**  
3331190030

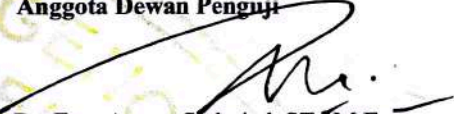
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 19 Desember 2023

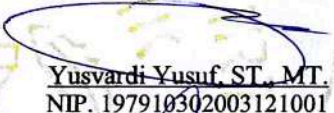
**Pembimbing Utama**

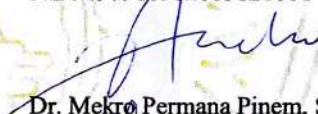
  
Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.  
NIP. 198902262015041002

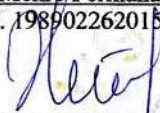
  
Hadi Wahyudi, MT., Ph.D.  
NIP. 197101162002121001

**Anggota Dewan Penguji**

  
Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST., M.Eng.  
NIP. 197505152014041001


  
Yusvardi Yusuf, ST., MT.  
NIP. 197910302003121001

  
Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.  
NIP. 198902262015041002

  
Hadi Wahyudi, MT., Ph.D.  
NIP. 197101162002121001

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Tanggal, 27 Desember 2023  
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

  
Dhimas Satria, S.T., M.Eng.  
NIP. 198305102012121006



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Muhammad Ilham Fatwa  
NPM : 3331190030  
Judul : Pendinginan Modul Baterai Lithium-Ion Silinder Menggunakan  
*Wavy Channel Tube*

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

### MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, Desember 2023



**Muhammad Ilham Fatwa**

**NPM. 3331190030**

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdulillah Rabbil'alamin. Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul "Pendinginan Modul Baterai Lithium-Ion Silinder Menggunakan *Wavy Channel Tube*". Shalawat dan salam tidak lupa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah ke zaman Islamiyah yang penuh dengan keberkahan dari Allah SWT.

Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pada jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari proses studi yang penulis jalani hingga tersusunnya laporan tugas akhir ini tidak terlepas dari peran berbagai pihak yang senantiasa membantu penulis dalam menyelesaikannya. Oleh karena itu, izinkan penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga penulis yang tidak henti-hentinya memberikan semangat, doa, motivasi, inspirasi, dan dukungan lainnya baik moril maupun materil selama penulis menuntut ilmu.
2. Bapak Dhimas Satria, S.T., M. Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Ibu Miftahul Jannah, S.T., M. T. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 yang senantiasa memberikan pengarahan serta masukan kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir.
5. Bapak Hadi Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 2 atas ilmu dan bimbingannya yang diberikan kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
6. Bapak Imron Rosyadi, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingan dan semangat yang diberikan dalam menjalankan perkuliahan.

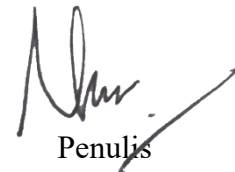
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen yang senantiasa selalu memberikan pengarahan dan berbagi ilmu kepada penulis di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
8. Tim penelitian tugas akhir, diantaranya ada Wahyudin, Nuriman, Fikri, Andreas, dan Rodo yang selalu memberikan semangat dan membantu penulis.
9. Rekan-Rekan Seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2019, yang telah memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan perkuliahan ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebajikannya dan menjadikan setiap pencapaian yang penulis peroleh sebagai amal sholeh di akhirat kelak. Aamiin.

Tidak ada sesuatu yang sempurna di dunia, begitupun dengan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran agar laporan ini menjadi lebih baik lagi. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak yang membacanya.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Cilegon, Desember 2023



Penulis

## ABSTRAK

### Pendinginan Modul Baterai Lithium-Ion Silinder Menggunakan *Wavy Channel Tube*

Disusun oleh:

**Muhammad Ilham Fatwa**

**NIM. 3331190030**

Sistem pendingin baterai diperlukan untuk mengontrol suhu baterai agar tetap berada dalam kisaran suhu optimal. Sistem pendingin *wavy channel tube* dengan fluida pendingin air, campuran air dan etilen glikol, nanofluida *cellulose nanocrystal* yang disuspensikan pada campuran air dan etilen glikol, dianalisis dengan simulasi numerik dan eksperimen untuk menurunkan suhu maksimum modul baterai. Pengaruh variasi laju aliran massa untuk mengalirkan fluida pendingin dipertimbangkan, yaitu  $5 \times 10^{-4}$  kg/s,  $10 \times 10^{-4}$  kg/s, dan  $15 \times 10^{-4}$  kg/s. Dalam penelitian ini, simulasi numerik dilakukan menggunakan *software* Ansys Fluent dan eksperimen dilakukan dengan alat pendingin modul baterai yang telah dibuat. Berdasarkan hasil simulasi, ditemukan bahwa nanofluida CNC-W+EG dapat mengontrol suhu baterai tetap berada dalam kisaran suhu optimal, dengan suhu maksimum modul baterai dari laju aliran terendah ke tertinggi, masing-masing adalah 37,93 °C, 34,6 °C, dan 33,42 °C. Namun, secara keseluruhan, air menjadi fluida pendingin yang efektif dengan suhu maksimum masing-masing adalah 35,15 °C, 33,02 °C, dan 32,32 °C. Selain itu, hasil simulasi juga menunjukkan bahwa dengan meningkatkan laju aliran massa, dapat menurunkan suhu maksimum modul baterai dan suhu pada outlet. Di sisi lain, hasil eksperimen menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dengan hasil simulasi. Hal ini dikarenakan *setup* eksperimen yang masih perlu dievaluasi, seperti pada pompa, geometri dan *wavy channel tube*, suhu awal eksperimen, pengukuran suhu, dan konfigurasi radiator yang perlu ditingkatkan.

**Kata kunci:** *Ansys Fluent, Baterai Li-Ion, Pendinginan Baterai, Wavy Channel*

## **ABSTRACT**

### ***Cooling of Cylindrical Lithium-Ion Battery Module Using Wavy Channel Tube***

*Arranged by:*

**Muhammad Ilham Fatwa**

**3331190030**

*A battery cooling system is required to control the battery temperature to keep it within the optimum temperature range. A wavy channel tube cooling system with cooling fluids of water, a mixture of water and ethylene glycol, cellulose nanocrystal nanofluid suspended in a mixture of water and ethylene glycol, is analysed by numerical simulation and experiment to reduce the maximum temperature of the battery module. The effect of varying the mass flow rate to circulate the cooling fluid was considered, namely  $5 \times 10^{-4}$  kg/s,  $10 \times 10^{-4}$  kg/s, dan  $15 \times 10^{-4}$  kg/s. In this study, numerical simulations were carried out using Ansys Fluent software and experiments were conducted with a battery module cooling device that has been made. Based on the simulation results, it was found that the CNC-W+EG nanofluid can control the battery temperature to stay within the optimal temperature range, with the maximum temperature of the battery module from the lowest to the highest flow rate being 37.93 °C, 34.6 °C, and 33.42 °C, respectively. However, overall, water became an effective cooling fluid with maximum temperatures of 35,15 °C, 33,02 °C, and 32,32 °C, respectively. In addition, the simulation results also show that by increasing the mass flow rate, it can reduce the maximum temperature of the battery module and the temperature at the outlet. On the other hand, the experimental results show significant differences with the simulation results. Experimental setup still needs to be evaluated, such as the pump, geometry and wavy channel tube, initial experimental temperature, temperature measurement, and radiator configuration that need to be improved.*

**Keywords:** *Ansys Fluent, Battery Cooling, Li-ion Battery, Wavy Channel*

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 <i>State of The Art</i> .....	6
2.2 Parameter Baterai .....	10
2.3 Baterai Lithium-Ion (Li-ion) .....	12
2.4 Sistem Manajemen Termal Baterai.....	15
2.5 Nanofluida .....	18
2.6 Model Baterai <i>Multi-Scale Multi-Domain</i> (MSMD).....	19
2.7 Pendekatan <i>Equivalent Circuit Model</i> (ECM).....	20
2.8 <i>Hybrid Pulse Power Characterization</i> (HPPC) .....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
3.2 Perancangan dan Pengumpulan Data .....	25
3.2.1 Spesifikasi Sel Baterai Lithium-Ion 18650.....	27
3.2.2 <i>Properties</i> Sel Baterai Lithium-Ion .....	27
3.2.3 <i>Properties</i> Busbar .....	28
3.2.4 <i>Properties Wavy Channel Tube</i> .....	28
3.2.5 <i>Properties</i> Air (W) .....	29



3.2.6 <i>Properties</i> Air (W) 60% + Etilen Glikol (EG) 40% .....	29
3.2.7 <i>Properties</i> Nanofluida.....	29
3.3 Pengujian <i>Hybrid Pulse Power Characterization</i> (HPPC) Sel Baterai.....	30
3.4 Geometri Model Simulasi.....	31
3.5 Pemodelan <i>Meshing</i> .....	32
3.5 Penentuan Kondisi Batas ( <i>Boundary Condititon</i> ) .....	33
3.6 Penentuan <i>Setup</i> Simulasi.....	33
3.7 Penentuan <i>Solver</i> Simulasi .....	35
3.8 Hasil Simulasi.....	35
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Validasi Data Awal.....	36
4.2 Air (W) Sebagai Fluida Pendingin .....	37
4.3 Air (W) 60% + Etilen Glikol (EG) 40% Sebagai Fluida Pendingin.....	41
4.4 Nanofluida <i>Cellulose Nanocrystal</i> (CNC) – Air (W) + Etilen Glikol (EG)	44
4.5 Pembahasan .....	48
4.6 Faktor Kesalahan Eksperimen.....	53
4.7 Pengaruh Efektivitas Pendingin Terhadap Kinerja Baterai .....	56
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
Lampiran 1. Gambar Modul Baterai Li-Ion Dengan <i>Wavy Channel Tube</i>	
Lampiran 2. Data Spesifikasi Pembelian Baterai Lithium-Ion	
Lampiran 3. Perhitungan Persentase <i>Error</i>	
Lampiran 4. Perhitungan Bilangan Reynolds	
Lampiran 5. <i>Cellulose Nanocrystal</i> (CNC) <i>Data Sheet</i>	

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perekonomian global mengalami perkembangan yang cepat dalam hal penggunaan listrik portabel, berdampak pada berbagai sektor teknologi, terutama elektronik, energi ramah lingkungan, dan transportasi. Dari segi transportasi, pasar kendaraan listrik telah mengalami peningkatan permintaan yang signifikan. Selain itu, kendaraan listrik menawarkan banyak keunggulan dalam hal efisiensi dan ramah lingkungan. Menurut Wibowo (2019), jika dibandingkan dengan kendaraan mesin pembakaran dalam, kendaraan listrik memiliki efisiensi yang tinggi, bekerja tanpa gas buang, tidak bising, tidak bergantung pada bahan bakar fosil, dan memiliki torsi yang tinggi. Kendaraan listrik menggunakan motor listrik dengan mengubah lebih banyak energi untuk menggerakkan kendaraan sehingga lebih efisien dari mesin pembakaran dalam. Namun, terdapat banyak tantangan yang dihadapi dalam mengembangkan kendaraan listrik, salah satunya adalah pada baterai sebagai sumber daya listrik.

Kemampuan daya baterai memiliki peran utama dalam pengembangan kendaraan listrik. Ada banyak jenis baterai, seperti lead acid, zinc/halogen, metal/air, sodium-beta, nickel metal hydride (Ni-MH), dan lithium-ion (Li-ion) dapat digunakan untuk menyuplai daya listrik ke kendaraan listrik. Baterai Li-ion menjadi kandidat yang menjanjikan sebagai sumber listrik karena keunggulannya, seperti biaya yang relatif rendah, tingkat *self-discharge* (pengeluaran arus listrik dalam keadaan tanpa beban) yang rendah, masa pakai yang lama, serta daya dan densitas energi yang tinggi (Wu et al., 2019). Namun, manajemen termal diperlukan untuk menangani akumulasi panas yang dihasilkan oleh baterai Li-ion.

Panas pada baterai muncul karena adanya proses *electrochemical* (reaksi elektrokimia di dalam baterai) dan *joule heating* (panas akibat arus listrik melewati konduktor) yang terjadi saat baterai beroperasi (Kurniawan, 2020). Dalam penelitian Malik et al (2017) menyebutkan bahwa baterai Li-ion

sangat bergantung pada suhu agar dapat berfungsi dengan baik dan tahan lama, dengan rentang suhu yang disarankan antara 25 °C hingga 40 °C. Jika baterai tersebut disusun menjadi rangkaian baterai yang terdiri dari sel-sel baterai, perbedaan suhu antara setiap sel baterai tidak melebihi 5 °C, yang dianggap sebagai suhu optimal saat baterai beroperasi (Widyantara et al., 2022).

Mengoperasikan baterai Li-ion pada suhu diluar rentang suhu optimal dapat mengakibatkan penurunan kinerja dan masa pakai baterai. Operasi pada suhu yang rendah dengan laju arus tinggi dapat menyebabkan pelapisan lithium pada anoda, kehilangan kapasitas, kenaikan impedansi, penurunan konduktivitas ionik, dan korsleting internal karena dendrit lithium logam (Petzl et al., 2015). Sementara itu, operasi suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan pengurangan bahan aktif, meningkatkan resistansi internal, bahkan pada suhu yang terlalu tinggi dapat memicu kebakaran dan ledakan (Ma et al., 2018). Oleh karena itu, diperlukan sistem manajemen termal baterai untuk menjaga suhu baterai agar tetap berada dalam kisaran suhu optimal.

Upaya sistem manajemen termal baterai telah banyak dilakukan, mulai dari dengan pendingin udara, cairan, *phase change material*, nanofluida, atau gabungan dari beberapa teknik pendinginan secara bersamaan (Widyantara et al., 2022). Karena keunggulan dari baterai Li-ion, berbagai upaya dan inovasi dilakukan untuk dapat mengoptimalkan efisiensi baterai untuk kendaraan listrik. Dalam penelitian ini menggunakan pendingin cairan, yaitu air, campuran air + etilen glikol, dan nanofluida *cellulose nanocrystal* – air + etilen glikol untuk mendinginkan modul baterai Li-ion tipe 18650 silinder.

Gagasan/ide nanofluida dikemukakan oleh Choi & Eastman (1995), mereka mengusulkan rekayasa cairan perpindahan panas dengan menambahkan nanopartikel logam dalam cairan. Hasilnya “nanofluida” diharapkan menunjukkan laju perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluida perpindahan panas yang umum digunakan. Abdelkareem et al. (2022) menyatakan bahwa nanofluida mempunyai potensi konduktivitas termal yang tinggi, bahkan untuk konsentrasi kecil dari nanopartikel tersuspensi. Selain menggunakan nanofluida, desain yang dimodifikasi dapat meningkatkan kinerja perpindahan panas (Hasan et al., 2023).

Penggunaan metode numerik dengan simulasi komputasi sering dilakukan untuk menganalisis perpindahan panas terhadap kinerja baterai. Untuk memvalidasi hasil numerik, umumnya dilakukan studi eksperimental dalam kasus-kasus praktis. Hasan et al. (2023) melakukan penelitian dengan simulasi komputasi dengan Ansys Fluent mengenai pengaruh sistem pendingin menggunakan empat nanofluida ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ , dan  $\text{CuO}$ ) dan air murni, untuk mendinginkan 52 sel baterai Li-ion silinder. Didapat bahwa nilai  $Re$  yang lebih tinggi ( $Re > 30000$ ) menghasilkan proses pendinginan yang lebih baik dan menurunkan suhu sel baterai. Sarchami et al. (2022) melakukan penelitian simulasi komputasi pada modul baterai yang terdiri dari 71 baterai Li-ion tipe 18650 silinder, yang dilengkapi sistem pendingin air dan nanofluida (alumina). Didapat bahwa penambahan pendingin nanofluida alumina dan peningkatan kecepatan aliran masuk pendingin secara signifikan dapat menurunkan suhu di seluruh modul.

Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis menganalisis termal pada sistem pendingin modul baterai Li-ion 18650 silinder yang terdiri dari 13 sel baterai. Modul baterai dijepit oleh *wavy channel tube* sebagai tempat fluida mengalir untuk mendinginkan baterai. Pengaruh jenis fluida dipertimbangkan untuk melihat performa nanofluida. Oleh karena itu, ada tiga jenis fluida pendingin yang digunakan, yaitu air (W), campuran air (W) 60% + etilen glikol (EG) 40%, serta nanofluida dengan nanopartikel *cellulose nanocrystal* (CNC) 0,5% yang disuspensikan dengan basis cairan berupa campuran air (W) 60% + etilen glikol (EG) 40%. Variasi besarnya laju aliran massa juga dipertimbangkan untuk mengalirkan fluida pendingin ke dalam *wavy channel tube*, yaitu  $5 \times 10^{-4}$  kg/s,  $10 \times 10^{-4}$  kg/s, dan  $15 \times 10^{-4}$  kg/s.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana melakukan simulasi komputasi untuk menguji sistem pendingin baterai menggunakan *software* Ansys Fluent?

2. Bagaimana pengaruh pendingin nanofluida *cellulose nanocrystal* (CNC) - air (W) + etilen glikol (EG) terhadap penurunan suhu maksimum pada modul baterai Li-ion?
3. Bagaimana pengaruh variasi besarnya laju aliran massa terhadap penurunan suhu maksimum pada modul baterai Li-ion?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian tugas akhir yang ingin dicapai berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut.

1. Melakukan simulasi pada sistem pendingin modul baterai Li-ion tipe 18650 silinder.
2. Menganalisis pengaruh pendingin nanofluida *cellulose nanocrystal* (CNC) – air (W) + etilen glikol (EG) terhadap penurunan suhu maksimum pada modul baterai Li-ion.
3. Menganalisis pengaruh variasi besarnya laju aliran massa terhadap penurunan suhu maksimum pada modul baterai Li-ion.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Berikut beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian tugas akhir yang dilakukan.

1. Dapat memberikan informasi untuk merancang sistem manajemen termal baterai yang dapat digunakan pada kendaraan listrik.
2. Dapat memberikan perbandingan sistem manajemen termal baterai menggunakan *wavy channel tube* dengan jenis sistem manajemen termal baterai lainnya.
3. Penelitian tugas akhir ini dapat menjadi perbandingan atau rujukan untuk penelitian berikutnya.

### 1.5 Batasan Masalah

Terdapat beberapa hal yang menjadi batasan masalah agar penelitian tugas akhir ini dapat berjalan sesuai dengan objek yang ingin dicapai, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Geometri yang digunakan berupa *wavy channel tube* yang menjepit modul baterai Li-ion tipe 18650 silinder.
2. Pengujian sistem pendingin baterai dilakukan menggunakan *software* Ansys Fluent dengan jumlah *mesh* sebanyak 983069 sel.
3. Variasi laju aliran massa, yaitu  $5 \times 10^{-4}$  kg/s,  $10 \times 10^{-4}$  kg/s, dan  $15 \times 10^{-4}$  kg/s.
4. Simulasi dilakukan dalam kondisi *transient* dengan *time step* 2 s yang menghasilkan 900 s.
5. Tidak mempertimbangkan proses elektrokimia di dalam baterai.
6. Tidak mempertimbangkan proses pembuatan nanofluida.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelkareem, M. A., Maghrabie, H. M., Abo-Khalil, A. G., Adhari, O. H. K., Sayed, E. T., Radwan, A., & Olabi, A. G. (2022). Battery thermal management systems based on nanofluids for electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, *50*, 104385.
- Alsharif, K. I., Pesch, A. H., Borra, V., Cortes, P., MacDonald, E., Li, F. X., & Choo, K. (2023). Transient Thermal and Electrical Characteristics of a Cylindrical LiFeS<sub>2</sub> Cell with Equivalent Circuit Model. *arXiv preprint arXiv:2311.02095*.
- Belt, J. R. (2010). *Battery test manual for plug-in hybrid electric vehicles* (No. INL/EXT-07-12536). Idaho National Lab. (INL), Idaho Falls, ID (United States).
- Canonsburg, A. D. (2015). ANSYS Fluent Advanced Add-On Modules. *vol*, *15317*, 724-746.
- Chen, M., & Rincon-Mora, G. A. (2006). Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and IV performance. *IEEE transactions on energy conversion*, *21*(2), 504-511.
- Choi, S. U., & Eastman, J. A. (1995). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles* (No. ANL/MSD/CP-84938; CONF-951135-29). Argonne National Lab. (ANL), Argonne, IL (United States).
- Deng, D. (2015). Li-ion batteries: basics, progress, and challenges. *Energy Science & Engineering*, *3*(5), 385-418.
- Evarts, E. C. (2015). Lithium batteries: To the limits of lithium. *Nature*, *526*(7575), S93-S95.
- Farhana, K., Kadirgama, K., Ramasamy, D., Samykano, M., & Najafi, G. (2020). Experimental Studies on Thermo-Physical Properties of Nanocellulose–Aqueous Ethylene Glycol Nanofluids. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, *69*(1), 1-15.
- Goodenough, J. B. (2018). How we made the Li-ion rechargeable battery. *Nature Electronics*, *1*(3), 204-204.

- Gu, H. (1983). Mathematical analysis of a Zn/NiOOH cell. *Journal of the Electrochemical Society*, 130(7), 1459.
- Hasan, H. A., Togun, H., Abed, A. M., Qasem, N. A., Abderrahmane, A., Guedri, K., & Eldin, S. M. (2023). Numerical investigation on cooling cylindrical lithium-ion-battery by using different types of nanofluids in an innovative cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 103097.
- Kakac, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat exchangers: selection, rating, and thermal design*. CRC press.
- Killiny, R. (2019). Lithium ion battery. *lithiumbatterychina.com*.
- Kim, G. H., Smith, K., Lee, K. J., Santhanagopalan, S., & Pesaran, A. (2011). Multi-domain modeling of lithium-ion batteries encompassing multi-physics in varied length scales. *Journal of the electrochemical society*, 158(8), A955.
- Kim, U. S., Shin, C. B., & Kim, C. S. (2008). Effect of electrode configuration on the thermal behavior of a lithium-polymer battery. *Journal of Power Sources*, 180(2), 909-916.
- Koniak, M., & Czerepicki, A. (2017, June). Selection of the battery pack parameters for an electric vehicle based on performance requirements. In *IOP conference series: Materials science and engineering* (Vol. 211, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- Kurniawan, A. (2020). Analisis Laju Perpindahan Panas pada Baterai Ion Lithium 18650 terhadap Beban Keluarannya dengan Metode Numerik. *Journal of Mechanical Design and Testing*, 2(2), 87-102.
- Lesics Indonesian. (2019, Juli 3). Baterai Li-ion, Bagaimana cara kerjanya? [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=EH8ztg-8SuY>.
- Li, C., Zhang, H., Zhang, R., Lin, Y., & Fang, H. (2021). On the characteristics analysis and tab design of an 18650 type cylindrical LiFePO4 battery. *Applied Thermal Engineering*, 182, 116144.
- Li, Y., Zhou, Z., & Wu, W. T. (2019). Three-dimensional thermal modeling of Li-ion battery cell and 50 V Li-ion battery pack cooled by mini-channel cold plate. *Applied Thermal Engineering*, 147, 829-840.



- Liaw, B. Y., Nagasubramanian, G., Jungst, R. G., & Doughty, D. H. (2004). Modeling of lithium ion cells—A simple equivalent-circuit model approach. *Solid state ionics*, 175(1-4), 835-839.
- Lin, X., & Zhang, X. (2021). Research progress of phase change storage material on power battery thermal management. *Energy Technology*, 9(4), 2000940.
- M.Y. Pour. (2015). Electro-thermal modeling of lithium-ion batteries, Doctor of Philosophy Thesis, Simon Fraser University.
- Ma, S., Jiang, M., Tao, P., Song, C., Wu, J., Wang, J., & Shang, W. (2018). Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review. *Progress in Natural Science: Materials International*, 28(6), 653-666.
- Malik, M., Dincer, I., Rosen, M., & Fowler, M. (2017). Experimental investigation of a new passive thermal management system for a Li-ion battery pack using phase change composite material. *Electrochimica Acta*, 257, 345-355.
- Newman, J., & Tiedemann, W. (1993). Potential and Current Distribution in Electrochemical Cells: Interpretation of the Half-Cell Voltage Measurements as a Function of Reference-Electrode Location. *Journal of The Electrochemical Society*, 140(7), 1961.
- Padalkar, A. B., Chaudhari, M. B., & Funde, A. M. (2023). Computational investigation for reduction in auxiliary energy consumption with different cell spacing in battery pack. *Journal of Energy Storage*, 65, 107265.
- Petzl, M., Kasper, M., & Danzer, M. A. (2015). Lithium plating in a commercial lithium-ion battery—A low-temperature aging study. *Journal of power sources*, 275, 799-807.
- Roe, C., Feng, X., White, G., Li, R., Wang, H., Rui, X., ... & Wu, B. (2022). Immersion cooling for lithium-ion batteries—A review. *Journal of Power Sources*, 525, 231094.
- Samyalingam, L., Anamalai, K., Kadirgama, K., Samykano, M., Ramasamy, D., Noor, M. M., & Sidik, N. A. C. (2018). Thermal analysis of cellulose nanocrystal-ethylene glycol nanofluid coolant. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 173-181.

- Sarchami, A., Tousi, M., Kiani, M., Arshadi, A., Najafi, M., Darab, M., & Houshfar, E. (2022). A novel nanofluid cooling system for modular lithium-ion battery thermal management based on wavy/stair channels. *International Journal of Thermal Sciences*, 182, 107823.
- Schmidt, A., Oehler, D., Weber, A., Wetzel, T., & Ivers-Tiffée, E. (2021). A multi scale multi domain model for large format lithium-ion batteries. *Electrochimica Acta*, 393, 139046.
- Schumm, B. (2023). *Battery*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/battery-electronics>.
- Shichun, Y., Sida, Z., Xinan, Z., Yu, L., Xinhua, L., Yang, H., ... & Panpan, H. (2022). All-climate state-of-charge estimation and equilibrium management for lithium-ion batteries based on diffusion equivalent model. *Journal of Energy Storage*, 52, 104700.
- Tarascon, J. M., & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *nature*, 414(6861), 359-367.
- Thanagasundram, S., Arunachala, R., Makinejad, K., Teutsch, T., & Jossen, A. (2012, November). A cell level model for battery simulation. In *European Electric Vehicle Congress* (pp. 1-13).
- Wang, Y., Gao, Q., Wang, G., Lu, P., Zhao, M., & Bao, W. (2018). A review on research status and key technologies of battery thermal management and its enhanced safety. *International Journal of Energy Research*, 42(13), 4008-4033.
- Wibowo, A. (2019). *Perancangan Sistem Pendingin Baterai Lithium-Ion Pada Mobil Listrik FSAE Menggunakan Metode Vapor-Compression Cooling* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Widyantara, R. D., Zulaikah, S., Juangsa, F. B., Budiman, B. A., & Aziz, M. (2022). Review on battery packing design strategies for superior thermal management in electric vehicles. *Batteries*, 8(12), 287.
- Wu, W., Wang, S., Wu, W., Chen, K., Hong, S., & Lai, Y. (2019). A critical review of battery thermal performance and liquid based battery thermal management. *Energy conversion and management*, 182, 262-281.

- Xiong, R., He, H., Guo, H., & Ding, Y. (2011). Modeling for lithium-ion battery used in electric vehicles. *Procedia Engineering*, 15, 2869-2874.
- Yacoub Al Shdaifat, M., Zulkifli, R., Sopian, K., & Adel Salih, A. (2023). Basics, properties, and thermal issues of EV battery and battery thermal management systems: Comprehensive review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 237(2-3), 295-311.
- Zhang, H., Li, C., Zhang, R., Lin, Y., & Fang, H. (2020). Thermal analysis of a 6s4p Lithium-ion battery pack cooled by cold plates based on a multi-domain modeling framework. *Applied Thermal Engineering*, 173, 115216.