

TUGAS AKHIR - ME234802

**EKSPERIMEN METODE *IMMERSION COOLING*
UNTUK BATERAI LI-ION MENGGUNAKAN CAIRAN
TMC-7300**

OLIVER KARESNA BETAUBUN

NRP. 5019201137

DOSEN PEMBIMBING :

SUTOPO PURWONO FITRI, S.T., M.ENG., PH.D.

DANANG JAWARA DITYA, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2024

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



TUGAS AKHIR - ME234802

**EKSPERIMEN METODE *IMMERSION COOLING*
UNTUK BATERAI LI-ION MENGGUNAKAN CAIRAN
TMC-7300**

**OLIVER KARENA BETAUBUN
NRP. 5019201137**

**DOSEN PEMBIMBING
SUTOPO PURWONO FITRI, S.T., M.ENG., PH.D.
DANANG JAWARA DITYA, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2024**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



FINAL PROJECT - ME234802

EXPERIMENTAL IMMERSION COOLING METHOD FOR LI-ION BATTERIES USING TMC-7300 LIQUID

OLIVER KARENA BETAUBUN
NRP. 5019201137

SUPERVISOR:
SUTOPO PURWONO FITRI, S.T., M.ENG., PH.D.
DANANG JAWARA DITYA, S.T., M.T.

MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2024

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**EKSPERIMEN METODE *IMMERSION COOLING* UNTUK BATERAI LI-ION
MENGUNAKAN CAIRAN TMC-7300**

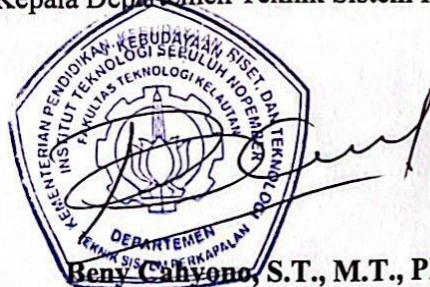
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Oliver Karesna Betaubun
NRP. 5019201137

Disetujui oleh,
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19790319200801 1008

SURABAYA

JULI 2024

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**EKSPERIMEN METODE *IMMERSION COOLING* UNTUK BATERAI LI-ION
MENGUNAKAN CAIRAN TMC-7300**


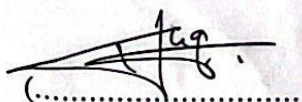

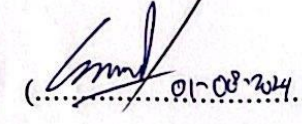
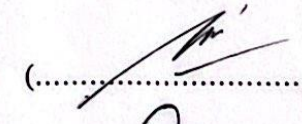
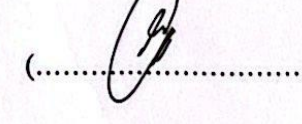
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem Perkapalan
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Oliver Karesna Betaubun
NRP. 5019201137

Disetujui oleh,
Tim Penguji Tugas Akhir

- | | | |
|--|---------------|---|
| 1. Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D. | Pembimbing | 
(.....) |
| 2. Danang Jawara Ditya, S.T., M.T. | Ko-Pembimbing | 
(.....) |
| 3. Prof. Dr. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil. | Penguji | 
(.....) |
| 4. Dr. Eng. Ede Mehta Wardhana, S.T., M.T. | Penguji | 
(..... 01-08-2024)) |
| 5. Prof. Semin, S.T., M.T., Ph.D. | Penguji | 
(.....) |
| 6. Handi Rahmanuri, S.T., M.T. | Penguji | 
(.....) |

SURABAYA
JULI 2024

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

PERNYATAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama Mahasiswa / NRP : Oliver Karesna Betaubun / 5019201137
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.
Danang Jawara Ditya, S.T., M.T

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "EKSPERIMEN METODE *IMMERSION COOLING* UNTUK BATERAI LI-ION MENGGUNAKAN CAIRAN TMC-7300" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2024

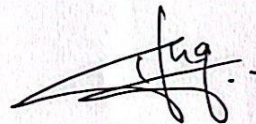
Mengetahui,

Dosen Pembimbing 1



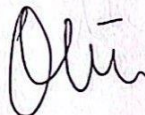
Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP.197510062002121003

Dosen Pembimbing 2



Danang Jawara Ditya, S.T., M.T

Mahasiswa



Oliver Karesna Betaubun
NRP. 5019201137

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

ABSTRAK

EKSPERIMEN METODE IMMERSION COOLING UNTUK BATERAI LI-ION MENGUNAKAN CAIRAN TMC-7300

Nama Mahasiswa / NRP : Oliver Karesna Betaubun / 5019201137
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.
Danang Jawara Ditya, S.T., M.T.

Abstrak

Isu global terkini berfokus pada pengembangan sumber energi alternatif untuk mengatasi penurunan ketersediaan bahan bakar fosil dan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Sektor industri, termasuk industri maritim, sedang aktif mencari metode alternatif guna meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi gas buang, serta meningkatkan kinerja permesinan dan peralatan di kapal. Salah satu solusi yang diupayakan adalah penerapan energi listrik, di mana baterai, khususnya Lithium-Ion (Li-Ion), menjadi unsur kunci dalam penyimpanan energi. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas cairan hydrofluoroether TMC 7300 dalam menyerap panas dan menjaga suhu stabil di dalam *battery pack* dengan berbagai tingkat perendaman dan sudut kemiringan. Eksperimen dilakukan dengan variasi perendaman 30%, 50%, dan 90%, serta dua kondisi kemiringan, yaitu *rolling* dan *pitching*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman pada tingkat 30% menghasilkan distribusi suhu yang tidak merata dengan rata-rata suhu baterai 308,81K (beban 1C), 309,04K (beban 2C), dan 309,64K (beban 3C). Pada tingkat perendaman 50%, distribusi suhu lebih merata dengan rata-rata suhu baterai 305,21K (beban 1C), 305,74K (beban 2C), dan 307K (beban 3C). Tingkat perendaman 90% menunjukkan distribusi suhu paling merata dengan rata-rata suhu baterai 300,65K (beban 1C), 300,62K (beban 2C), dan 300,57K (beban 3C). Pengaruh sudut kemiringan menunjukkan bahwa kondisi *pitching* menghasilkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi *rolling*. Sudut kemiringan yang berbeda dapat mengubah pola aliran cairan pendingin dan mempengaruhi distribusi di sekitar sel baterai, sehingga pada kemiringan 35° baterai memiliki suhu yang lebih panas dibandingkan dengan kemiringan 15°. Pada sudut kemiringan 15° dan 35°, perbedaan suhu baterai antara kondisi *rolling* dan *pitching* pada beban 1C adalah 1,28K, beban 2C adalah 0,77K, dan beban 3C adalah 0,92K. Sedangkan pada sudut kemiringan 35°, perbedaan suhu pada beban 1C adalah 1,46K, beban 2C adalah 1,39K, dan beban 3C adalah 1,56K. Penelitian ini membuktikan bahwa tingkat perendaman yang lebih tinggi dan distribusi cairan yang lebih merata dapat menurunkan suhu baterai dengan efektif

Kata kunci : Baterai, Beban, Perendaman, *Rolling*, *Pitching*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

ABSTRACT

EXPERIMENTAL IMMERSION COOLING METHOD FOR LI-ION BATTERIES USING TMC-7300 LIQUID

Student Name / NRP : Oliver Karesna Betaubun / 5019201137
Department : Marine Engineering FTK - ITS
Advisor : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.
Danang Jawara Ditya, S.T., M.T.

Abstract

Current global issues focus on the development of alternative energy sources to address the declining availability of fossil fuels and their negative impact on the environment. The industrial sector, including the maritime industry, is actively seeking alternative methods to increase efficiency and reduce exhaust emissions, as well as improve the performance of machinery and equipment on ships. One solution being pursued is the application of electrical energy, where batteries, particularly Lithium-Ion (Li-Ion), are a key element in energy storage. This study evaluates the effectiveness of TMC 7300 hydrofluoroether liquid in absorbing heat and maintaining a stable temperature inside the *battery pack* with various levels of immersion and tilt angles. Experiments were conducted with 30%, 50%, and 90% immersion variations, as well as two tilt conditions, namely *Rolling* and *Pitching*. The results showed that immersion at the 30% level resulted in uneven temperature distribution with average battery temperatures of 308.81K (1C load), 309.04K (2C load), and 309.64K (3C load). At the 50% immersion level, the temperature distribution is more even with an average battery temperature of 305.21K (load 1C), 305.74K (load 2C), and 307K (load 3C). The 90% immersion level shows the most even temperature distribution with average battery temperatures of 300.65K (load 1C), 300.62K (load 2C), and 300.57K (load 3C). The effect of tilt angle shows that the pitching condition produces higher temperatures than the rolling condition. Different tilt angles can change the coolant flow pattern and affect the distribution around the battery cells, so that at a tilt of 35° the battery has a hotter temperature compared to a tilt of 15°. At tilt angles of 15° and 35°, the battery temperature difference between *Rolling* and *Pitching* conditions at load 1C is 1.28K, load 2C is 0.77K, and load 3C is 0.92K. While at an inclination angle of 35°, the temperature difference at load 1C is 1.46K, load 2C is 1.39K, and load 3C is 1.56K. This study proves that a higher immersion rate and a more even distribution of liquid can reduce battery temperature effectively.

Keywords: Battery, Load, Immersion, Rolling, Pitching

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “EKSPERIMEN METODE *IMMERSION COOLING* UNTUK BATERAI LI-ION MENGGUNAKAN CAIRAN TMC-7300”. Dalam proses penulisan Tugas Akhir ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini, diantaranya adalah :

1. Kedua Orang Tua Penulis, Bapak Karel Betaubun dan Dhian Wisnuwati yang selalu mendukung, memberikan doa serta semangat kepada penulis dalam setiap kegiatan. Penulis mengucapkan terima kasih atas semua kasih sayang yang diberikan selama ini, dalam proses membesarkan dan membimbing penulis. Segala kesuksesan dan hal baik yang akan dicapai penulis di masa depan adalah berkat mereka berdua.
2. Kakak dan Adik Penulis, Olivia Karenina Betaubun dan Ovalia Kareva Betaubun yang selalu memberikan doa dan dukungan, baik secara moral maupun materi, selama penulis menjalani masa perkuliahan.
3. Bapak Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Danang Jawara Ditya, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing Penulis dan memberikan arahan, solusi dan masukan selama penelitian.
4. Ibu Dr. Emmy Pratiwi, S.T selaku dosen wali, atas segala arahan dan bimbingannya selama Penulis menempuh bangku perkuliahan.
5. Bapak Taufik, Nurwahid Syarifudin, Tofcan, Adin, dan Dini yang senantiasa membantu dalam pembuatan rangkaian alat percobaan di Laboratorium MMS.
6. Divisi Maritim Insurance PT.SPIL yang selalu memberikan arahan dan dorongan untuk segera menyelesaikan penelitian ini.
7. Karim, Ramdan, Citta, Tasya, Iqbal, Gusade, Krisna, Satria, Wira, Puja, Kardi, Hilal, Ines, Amirta, Dito, Fabian, Cakil, sebagai teman dekat Penulis yang selalu bersedia mendengar keluh kesah Penulis.
8. Aldora Nanda Adhiwangsa selaku teman se-perjuangan dari awal masa perkuliahan dalam bidang sepakbola dan futsal.
9. Negoshe Putri Hendra sebagai orang spesial yang selalu memberikan semangat moral dalam kondisi apapun dan tidak mengeluh karena kesibukan Penulis.
10. Teman – teman Kancaprana '20 yang telah menemani Penulis selama masa perkuliahan.
11. Penulis ingin menyampaikan penghargaan dan apresiasi yang tinggi kepada diri sendiri atas usaha dan dedikasi yang telah dicurahkan dalam menyelesaikan penelitian ini yang dilakukan sembari berkerja.

Penulis menyadari bahwa penelitian dalam skripsi ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk meningkatkan kualitas karya ini dan memberikan manfaat yang lebih besar.

Surabaya, Juli 2024

Penulis

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAN ORISINALITAS	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR SINGKATAN	xxi
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Studi Terkait.....	3
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 Baterai	6
2.2.2 Lithium-Ion	6
2.2.3 <i>Battery Thermal Management System</i>	7
2.2.4 Metode Pendinginan	7
2.2.5 Hydrofluoroether.....	9
2.2.6 <i>C-Rate</i> Baterai.....	9
2.2.7 Dinamika Kapal	9
BAB III	11
METODOLOGI PENELITIAN.....	11
3.1 Diagram Alir Penelitian	11
3.2 Urutan Pelaksanaan Penelitian	12
3.2.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah	12
3.2.2 Studi Literasi.....	12
3.2.3 Studi Empiris	12
3.2.4 Perancangan Desain Pendinginan Baterai Li-Ion	12

3.2.5	Pemilihan Pendinginan Baterai Li-Ion.....	14
3.2.6	Pengujian Kinerja Pendinginan Baterai	15
3.2.7	Validasi Hasil Pengujian.....	15
3.2.8	Analisa dan Pembahasan.....	15
3.2.9	Kesimpulan	15
3.3	Bahan dan Alat yang Digunakan dalam Penelitian.....	15
BAB IV		19
ANALISA DAN PERHITUNGAN		19
4.1	Perhitungan	19
4.1.1	Perhitungan Volume	19
4.1.2	Perhitungan Beban <i>Discharge</i>	20
4.2	Pembuatan Rangkaian Percobaan	21
4.3	Hasil Data Percobaan	24
4.3.1	Parameter Percobaan.....	24
4.3.2	Hasil Percobaan	25
4.4	Percobaan Tanpa <i>Coolant</i>	29
4.4.1	Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> Beban 1C.....	29
4.4.2	Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> 2C	30
4.4.3	Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> Beban 3C	32
4.4.4	Perbandingan Percobaan Tanpa <i>Coolant</i>	33
4.5	Beban 1C dengan Variasi Perendaman Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i>	34
4.5.1	Beban 1C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 15°	34
4.5.3	Beban 1C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 15°	37
4.5.4	Beban 1C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 35°	38
4.5.5	Beban 1C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 15°	40
4.5.6	Beban 1C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 35°	41
4.6	Beban 2C dengan Variasi Perendaman Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i>	42
4.6.1	Beban 2C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 15°	42
4.6.2	Beban 2C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 35°	43
4.6.3	Beban 2C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 15°	44

4.6.4	Beban 2C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 35°	46
4.6.5	Beban 2C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 15°	47
4.6.6	Beban 2C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 35°	48
4.7	Beban 3C dengan Variasi Perendaman Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i>	49
4.7.1	Beban 3C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 15°	49
4.7.2	Beban 3C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 35°	51
4.7.3	Beban 3C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 15°	52
4.7.4	Beban 3C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 35°	54
4.7.5	Beban 3C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 15°	55
4.7.6	Beban 3C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan Sudut 35°	56
4.8	Perbandingan Kinerja Baterai dan <i>Coolant</i> dengan Variasi Perendaman.....	57
4.8.1	Perbandingan Kinerja Baterai Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> pada Sudut 15° dan 35° Variasi Beban 1C	57
4.8.2	Perbandingan Kinerja Baterai Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> pada Sudut 15° dan 35° Variasi Beban 2C	61
4.8.3	Perbandingan Kinerja Baterai Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> pada Sudut 15° dan 35° Variasi Beban 3C	65
4.9	Perbandingan Kinerja Baterai Kondisi <i>Rolling</i> Sudut 35° dengan Beban Terhadap Variasi Perendaman	69
4.9.1	Perbandingan Kinerja Baterai Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> Sudut 35°	69
4.9.2	Perbandingan Kinerja Baterai Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> Sudut 35°	70
4.9.3	Perbandingan Kinerja Baterai Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> Sudut 35°	70
BAB V		71
KESIMPULAN dan SARAN		71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA		73
LAMPIRAN.....		75
BIODATA PENULIS		77

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Kinerja Simulasi <i>Immersion Cooling</i>	4
Gambar 2. 2 Performa <i>Immersion Cooling</i>	5
Gambar 2. 3 Struktur Baterai Lithium-Ion	6
Gambar 2. 4 Model <i>Immersion Cooling</i>	8
Gambar 2. 5 Macam – Macam Gerak Kapal	10
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	11
Gambar 3. 2 Skema Pengujian.....	13
Gambar 3. 3 Skema Variasi Perendaman <i>Coolant</i> dan Kemiringan Sudut	14
Gambar 3. 4 Rangkaian Eksperimen	14
Gambar 4. 1 Pemasangan <i>Thermocouple</i> pada Baterai	22
Gambar 4. 2 Rangkaian Baterai di Dalam Wadah Akrilik	22
Gambar 4. 3 Rangkaian <i>Discharge 1C</i>	22
Gambar 4. 4 Rangkaian <i>Discharge 2C</i>	23
Gambar 4. 5 Rangkaian <i>Discharge 3C</i>	23
Gambar 4. 6 Proses Pembuatan Rangkaian Kabel.....	23
Gambar 4. 7 Proses Pembacaan Data Melalui Labjack	24
Gambar 4. 8 Rangkaian Percobaan Perendaman 30%	24
Gambar 4. 9 Rangkaian Percobaan Perendaman 50%	24
Gambar 4. 10 Rangkaian Percobaan Perendaman 90%	25
Gambar 4. 11 Grafik Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> Beban 1C	29
Gambar 4. 12 Grafik Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> Terhadap Waktu Beban 1C.....	30
Gambar 4. 13 Grafik Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> Beban 2C.....	30
Gambar 4. 14 Grafik Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> Terhadap Waktu Beban 2C.....	31
Gambar 4. 15 Grafik Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> Beban 3C.....	32
Gambar 4. 16 Grafik Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> Terhadap Waktu Beban 3C.....	32
Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Suhu Baterai Tanpa <i>Coolant</i>	33
Gambar 4. 18 Grafik Percobaan Tanpa <i>Coolant</i> Terhadap Waktu	33
Gambar 4. 20 Perbandingan Suhu Baterai Tanpa <i>Coolant</i> Dengan Penelitian Sebelumnya ...	34
Gambar 4. 21 Grafik Beban 1C Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	34
Gambar 4. 22 Grafik Beban 1C Perendaman 30% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	35
Gambar 4. 23 Grafik Beban 1C Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	36
Gambar 4. 24 Grafik Beban 1C Perendaman 30% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	36
Gambar 4. 25 Grafik Beban 1C Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	37
Gambar 4. 26 Grafik Beban 1C Perendaman 50% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	37
Gambar 4. 27 Grafik Beban 1C Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	38
Gambar 4. 28 Grafik Beban 1C Perendaman 50% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	39
Gambar 4. 29 Grafik Beban 1C Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	40
Gambar 4. 30 Grafik Beban 1C Perendaman 90% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	40
Gambar 4. 31 Grafik Beban 1C Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	41
Gambar 4. 32 Grafik Beban 1C Perendaman 90% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	41
Gambar 4. 33 Grafik Beban 2C Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	42
Gambar 4. 34 Grafik Beban 2C Perendaman 30% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	42
Gambar 4. 35 Grafik Beban 2C Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	43
Gambar 4. 36 Grafik Beban 2C Perendaman 30% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	43

Gambar 4. 37 Grafik Beban 2C Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	44
Gambar 4. 38 Grafik Beban 2C Perendaman 50% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	45
Gambar 4. 39 Grafik Beban 2C Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	46
Gambar 4. 40 Grafik Beban 2C Perendaman 50% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	46
Gambar 4. 41 Grafik Beban 2C Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	47
Gambar 4. 42 Grafik Beban 2C Perendaman 90% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	48
Gambar 4. 43 Grafik Beban 2C Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	48
Gambar 4. 44 Grafik Beban 2C Perendaman 90% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	49
Gambar 4. 45 Grafik Beban 3C Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	49
Gambar 4. 46 Grafik Beban 3C Perendaman 30% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	50
Gambar 4. 47 Grafik Beban 3C Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	51
Gambar 4. 48 Grafik Beban 3C Perendaman 30% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	51
Gambar 4. 49 Grafik Beban 3C Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	52
Gambar 4. 50 Grafik Beban 3C Perendaman 50% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	53
Gambar 4. 51 Grafik Beban 3C Perendaman 50% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	54
Gambar 4. 52 Grafik Beban 3C Perendaman 50% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	54
Gambar 4. 53 Grafik Beban 3C Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	55
Gambar 4. 54 Grafik Beban 3C Perendaman 90% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	55
Gambar 4. 55 Grafik Beban 3C Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	56
Gambar 4. 56 Grafik Beban 3C Perendaman 90% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	56
Gambar 4. 57 Grafik Perbandingan Beban 1C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	57
Gambar 4. 58 Grafik Perbandingan Beban 1C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	58
Gambar 4. 59 Grafik Perbandingan Beban 1C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	59
Gambar 4. 60 Grafik Perbandingan Beban 1C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	60
Gambar 4. 61 Grafik Perbandingan Beban 2C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	61
Gambar 4. 62 Grafik Perbandingan Beban 2C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	62
Gambar 4. 63 Grafik Perbandingan Beban 2C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	63
Gambar 4. 64 Grafik Perbandingan Beban 2C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	64
Gambar 4. 65 Grafik Perbandingan Beban 3C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°	65
Gambar 4. 66 Grafik Perbandingan Beban 3C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	66
Gambar 4. 67 Grafik Perbandingan Beban 3C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°	67
Gambar 4. 68 Grafik Perbandingan Beban 3C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	68
Gambar 4. 69 Perbandingan Suhu Baterai Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> 35°	69
Gambar 4. 70 Perbandingan Suhu Baterai Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> 35°	70
Gambar 4. 71 Perbandingan Suhu Baterai Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> 35°	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Waktu Operasi <i>C-Rate</i> Baterai	9
Tabel 3. 1 Kalibrasi <i>Thermocouple</i>	15
Tabel 3. 2 Bahan dan Alat dalam Penelitian.....	16
Tabel 4. 1 Data Alat yang Digunakan.....	19
Tabel 4. 2 Parameter Percobaan.....	25
Tabel 4. 3 Suhu Baterai Tanpa <i>Coolant</i>	25
Tabel 4. 4 Suhu Baterai Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	26
Tabel 4. 5 Suhu Baterai Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	26
Tabel 4. 6 Suhu Baterai Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	26
Tabel 4. 7 Suhu Baterai Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	27
Tabel 4. 8 Suhu Baterai Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan 15°	27
Tabel 4. 9 Suhu Baterai Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Kemiringan 35°	27
Tabel 4. 10 Suhu <i>Coolant</i> Beban 1C	28
Tabel 4. 11 Suhu <i>Coolant</i> Beban 2C	28
Tabel 4. 12 Suhu <i>Coolant</i> Beban 3C	29
Tabel 4. 13 Data Percobaan 1C.....	30
Tabel 4. 14 Data Percobaan 2C.....	31
Tabel 4. 15 Data Percobaan 3C.....	32
Tabel 4. 16 Parameter Percobaan Dari Jurnal (Chenghum, 2023)	33
Tabel 4. 17 Data Beban 1C Perendaman 30% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 15°	35
Tabel 4. 18 Data Beban 1C Perendaman 30% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 35°	37
Tabel 4. 19 Data Beban 1C Perendaman 50% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 15°	38
Tabel 4. 20 Data Beban 1C Perendaman 50% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 35°	39
Tabel 4. 21 Data Beban 1C Perendaman 90% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 15°	40
Tabel 4. 22 Data Beban 1C Perendaman 90% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 35°	41
Tabel 4. 23 Data Beban 2C Perendaman 30% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 15°	43
Tabel 4. 24 Data Beban 2C Perendaman 30% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 35°	44
Tabel 4. 25 Data Beban 2C Perendaman 50% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 15°	45
Tabel 4. 26 Data Beban 2C Perendaman 50% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 35°	47
Tabel 4. 27 Data Beban 2C Perendaman 90% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 15°	48
Tabel 4. 28 Data Beban 2C Perendaman 90% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 35°	49
Tabel 4. 29 Data Beban 3C Perendaman 30% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 15°	50
Tabel 4. 30 Data Beban 3C Perendaman 30% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 35°	52
Tabel 4. 31 Data Beban 3C Perendaman 50% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 15°	53
Tabel 4. 32 Data Beban 3C Perendaman 50% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 35°	55
Tabel 4. 33 Data Beban 3C Perendaman 90% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 15°	56
Tabel 4. 34 Data Beban 3C Perendaman 90% <i>Rolling</i> dan <i>Pitching</i> Sudut 35°	57

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR SINGKATAN

BTMS = *Battery Thermal Management System*

Li-Ion = Lithium-Ion

LCO = Lithium Cobalt Oxide

LFP = Lithium Iron Phosphate

LMO = Lithium Manganese Oxide

LTO = Lithium Titanate

NCA = Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide

Ni-Cd = Nickel-Cadmium

Ni-HM= Nickel-Metal Hydride

NMC = Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide

PCM = *Phase Change Material*

T/C = *Thermocouple*

K = Kelvin

HFE = Hydrofluoroether

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isu global terkini tengah difokuskan pada pengembangan sumber energi alternatif sebagai respons terhadap penurunan ketersediaan bahan bakar fosil dan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Oleh karena itu, berbagai sektor industri, termasuk industri maritim, sedang aktif melibatkan peneliti untuk mencari metode alternatif guna meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi gas buang, dengan tujuan meningkatkan kinerja permesinan dan peralatan di kapal (Aditya *et al.*, 2023).

Salah satu solusi yang sedang diupayakan oleh para peneliti adalah penerapan energi listrik, di mana baterai menjadi unsur kunci dalam penyimpanan energi listrik. Saat ini, baterai Lithium-Ion (Li-Ion) menjadi jenis baterai yang paling umum digunakan. Meskipun penelitian sebelumnya telah banyak berfokus pada pengembangan material baterai untuk meningkatkan spesifik energi, daya, dan masa pakai baterai, masalah kinerja termal juga menjadi perhatian utama. Suhu operasi baterai Li-Ion, yang sebaiknya berada dalam kisaran 15°C hingga 35°C, memiliki dampak signifikan terhadap performa, masa pakai, dan keamanan baterai. Hal ini terkait dengan timbulnya panas akibat proses elektrokimia dan pemanasan joule selama operasi baterai.

Baterai lithium-ion (Li-Ion) merupakan jenis baterai yang umum digunakan di kapal laut. Namun, baterai Li-Ion menghasilkan panas yang tinggi, sehingga membutuhkan sistem manajemen thermal yang efektif untuk mencegah terjadinya overheating. Salah satu metode pendinginan baterai yang efektif adalah metode pendinginan perendaman (*immersion cooling*). Metode ini menggunakan cairan pendingin non-konduktif untuk menghilangkan panas dari baterai.

Penggunaan baterai di kapal saat ini berkaitan dengan berbagai aplikasi, termasuk kapal listrik berbasis baterai dan sistem penyimpanan energi kelautan. Kapal listrik berbasis baterai telah diluncurkan, seperti kapal bermotor listrik di Cilacap. Meskipun penggunaan baterai di kapal menawarkan manfaat, seperti efisiensi dan ramah lingkungan, namun juga menimbulkan beberapa tantangan, termasuk masalah panas berlebih dan gerakan rotasional kapal (Nash, 2023). Gerakan ini dapat mengganggu kinerja pendinginan baterai karena perubahan posisi cairan pendingin di dalam modul baterai. Sebuah penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode pendinginan *immersion cooling* dengan perendaman 5% mampu mempertahankan suhu baterai di bawah 40°C. Namun, jika ada bagian dari baterai yang tidak tercelup cairan pendingin karena gerakan *rolling* dan *pitching*, kinerja pendinginan baterai dapat terganggu.

Dalam penelitian ini, penulis akan melakukan eksperimen kinerja pendinginan baterai Li-Ion menggunakan metode *immersion cooling* dengan mempertimbangkan variasi sudut celup dan perendaman. Eksperimen ini akan dilakukan dengan pengaturan khusus dan pengukuran yang teliti.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan di atas, maka diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi suhu dari *battery pack* setelah *immersion cooling* dengan tingkat perendaman 30%, 50%, 90% menggunakan cairan hydrofluoroether TMC 7300?
2. Bagaimanakah pengaruh sudut kemiringan karena *rolling* dan *pitching* terhadap kinerja pendinginan baterai Li-Ion menggunakan metode *immersion cooling*?

1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah yang telah ditentukan, tujuan utama dari penelitian ini adalah studi eksperimental untuk sistem pendinginan baterai litium ion. Secara detail tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghitung dan menganalisa distribusi suhu *battery pack* setelah *immersion cooling* dengan tingkat perendaman 30%, 50%, 90% menggunakan cairan hydrofluoroether TMC 7300.
2. Menghitung dan menganalisa kinerja pendinginan baterai Li-Ion menggunakan metode *immersion cooling* karena sudut kemiringan kondisi *rolling* dan *pitching*.

1.4 Batasan Masalah

Berikut ini adalah batasan-batasan yang perlu diperhatikan guna membatasi penelitian ini agar tidak keluar dari apa yang telah direncanakan, sebagai berikut:

1. Jenis baterai adalah Litium-Ion Lifepo4.
2. *Battery pack* terdiri dari 8 *cell* Lithium-Ion yang disusun secara seri.
3. *C-Rate* untuk baterai adalah 1C, 2C, 3C.
4. Kondisi perendaman baterai adalah; 30%, 50%, dan 90% baterai tercelup.
5. Eksperimen ini dilakukan pada kondisi *rolling* dan *pitching* pada sudut kemiringan pada 15° dan 35°.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan berbagai kebermanfaatan bagi banyak pihak, dengan manfaat yang diberikan sebagai berikut.

1. Untuk industri, penelitian ini dapat memberikan referensi sebagai bahan studi untuk melihat performa serta kinerja pendinginan baterai Li-Ion menggunakan metode *immersion cooling* apabila diterapkan pada moda transportasi kapal laut.
2. Untuk ilmu pengetahuan, memberikan informasi tentang kinerja pendinginan *immersion cooling* pada sel baterai Li-Ion.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini, penulis telah menggambarkan secara ringkas sejumlah materi terkait dan konsep teori dasar yang mendukung eksperimen dalam tugas akhir ini. Materi yang disajikan merupakan hasil rangkuman dari berbagai sumber referensi, termasuk jurnal dan buku pendukung, yang telah direview. Setelah mengidentifikasi penelitian terkait dengan topik ini, penulis memberikan gambaran singkat tentang teori yang melibatkan baterai Li-Ion sebagai fokus utama eksperimen. Selain itu, penjelasan diberikan mengenai *Battery Thermal Management System* (BTMS), dinamika kapal, dan *immersion cooling* sebagai metode eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini.

2.1 Studi Terkait

Penelitian terdahulu digunakan sebagai acuan ataupun referensi untuk penelitian selanjutnya dalam menyelesaikan permasalahan yang serupa. Harapannya dengan ada penelitian terdahulu dapat memberikan gambaran untuk penelitian selanjutnya. Beberapa penelitian berkaitan dengan kinerja pendinginan baterai Li-Ion dengan metode *immersion cooling*. Pada penjelasan dibawah ini ditunjukkan beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian penulis dan dapat dijadikan sebagai referensi pendukung pada tugas akhir ini.

1. *Thermal Performance of a Liquid-Immersed Battery Thermal Management System for Lithium-Ion Pouch Batteries* (Wang et al., 2022)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja pendinginan *immersion cooling* dan pengaruhnya terhadap perbedaan suhu modul baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BTMS yang menggunakan pendingin imersi dapat menurunkan suhu maksimum dan perbedaan suhu modul baterai secara signifikan. Meningkatkan kedalaman perendaman dan laju aliran dapat secara efektif memastikan pengoperasian baterai dalam kisaran suhu optimal 25°C - 40°C. Secara keseluruhan, pendinginan perendaman adalah cara efektif untuk meningkatkan kinerja termal baterai kantong litium-ion. Hal ini dapat memberikan sejumlah manfaat, seperti masa pakai baterai lebih lama, keamanan lebih baik, dan waktu pengisian daya lebih cepat.

2. *Immersion cooling for Lithium-Ion Batteries – A Review* (Chen et al., 2016)

Pendinginan perendaman menenggelamkan baterai dalam cairan dielektrik, yang dapat meningkatkan perpindahan panas hingga 10.000 kali lipat dibandingkan dengan pendinginan udara. Pasalnya, cairan tersebut dapat langsung bersentuhan dengan seluruh permukaan baterai sehingga menghilangkan panas secara lebih merata dan efisien. Penulis secara khusus menyebutkan cairan hydrofluoroether dari 3M Novec sebagai pendingin yang menjanjikan, dengan titik didih 34°C. Namun, mereka juga mencatat bahwa diperlukan lebih banyak penelitian mengenai teknologi ini, khususnya dalam hal masa pakai baterai jangka panjang, stabilitas cairan, kompatibilitas material, keamanan, dan keberlanjutan. Secara keseluruhan, pendinginan imersi berpotensi menjadi terobosan dalam teknologi baterai litium-ion, namun diperlukan lebih banyak penelitian untuk mengatasi beberapa tantangan yang belum terselesaikan.

3. Analisa CFD Efek Gerak *Rolling* dan *Pitching* Kapal Terhadap Pendinginan Baterai *Li-Ion* Metode *Immersion Cooling* (Aditya et al., 2023)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mensimulasikan efisiensi pendinginan baterai Lithium Ion dengan menerapkan metode pencelupan. Fluktuasi tinggi cairan dan variasi sudut rotasi terhadap sumbu-x (*rolling*) dan sumbu-z (*pitching*) juga dipertimbangkan dalam simulasi ini. Simulasi menunjukkan bahwa semua variasi tingkat pencelupan (90%, 50%, dan 30%) dan sudut kemiringan (15° dan 35°) berhasil menjaga suhu operasional baterai tetap di bawah 55°C. Gerakan rotasional pada sumbu-x (*rolling*) dan sumbu-z (*pitching*) dapat memengaruhi efisiensi pendinginan baterai. Metode pendinginan immersi terbukti efektif dalam menjaga suhu baterai *Li-Ion* dalam berbagai kondisi tingkat pencelupan dan sudut kemiringan. Gerak *rolling* dan *pitching* kapal dapat mempengaruhi efisiensi pendinginan, sehingga perlu dipertimbangkan dalam desain sistem pendinginan baterai untuk aplikasi maritim.

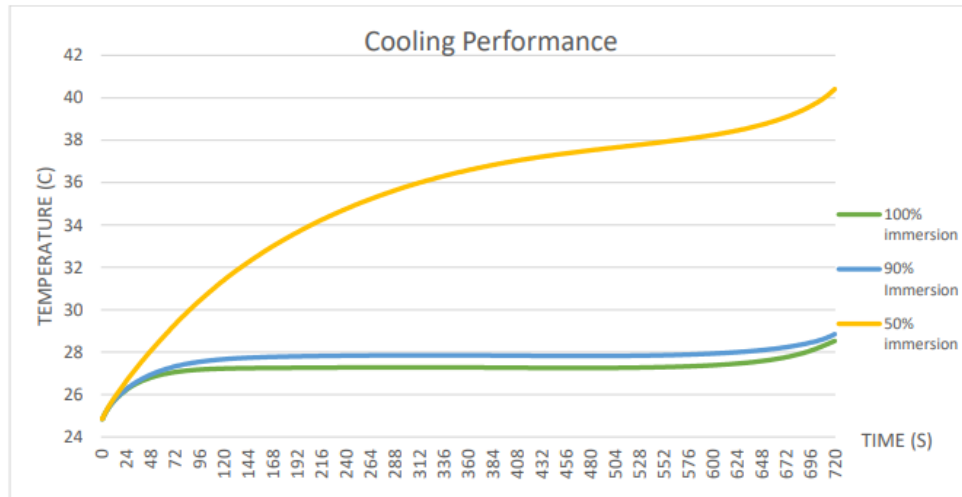


Gambar 2. 1 Grafik Kinerja Simulasi *Immersion Cooling* (Sumber : Aditya et al., 2023)

4. *CFD Analysis of Immersion cooling for G-NMC Lithium-Ion Battery* (Dega, 2022)

Analisis yang dilakukan Dega pada tahun 2022 bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi termal metode pendinginan ini. Hasil simulasi menunjukkan bahwa berbagai

kedalaman perendaman mampu menjaga suhu baterai di bawah 55°C, yang menunjukkan potensi pendinginan perendaman untuk manajemen termal. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pendinginan perendaman adalah pendekatan yang menjanjikan untuk memastikan suhu baterai optimal, yang dapat berkontribusi pada peningkatan kinerja, keamanan, dan masa pakai baterai.



Gambar 2. 2 Performa *Immersion Cooling*
(Sumber : Dega, 2022)

5. Analisis Performa Pendinginan Celup (*Immersion Cooling*) Terhadap Data Center dengan Variasi Cairan Pendingin (Yusuf, 2018)

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Komputer yang sebelumnya menggunakan pendinginan konvensional diubah menjadi sistem pendinginan celup. *Motherboard* dan *power supply* direndam dalam bejana berisi cairan dielektrik. Cairan dielektrik yang digunakan adalah mineral oil dan Virgin Coconut Oil (VCO). Pompa submersible digunakan untuk mensirkulasi cairan dielektrik dari bejana melewati radiator, lalu kembali ke bejana. Pengukuran suhu inlet dan outlet dilakukan dengan alat thermocouple, sementara suhu CPU diukur menggunakan perangkat lunak SpeedFan. Untuk memastikan komputer bekerja maksimal, digunakan perangkat lunak LinX. Data dikumpulkan selama 24 jam, dengan alat ukur mencatat suhu inlet, outlet, dan CPU setiap menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pendinginan immersion cooling lebih efektif dibandingkan dengan pendinginan konvensional. Suhu CPU dengan pendinginan konvensional mencapai 60°C, sementara dengan immersion cooling hanya 48°C. Dalam penelitian lanjutan, performa immersion cooling dengan cairan mineral oil terbukti lebih baik dibandingkan dengan VCO. Hal ini dibuktikan dengan suhu maksimal CPU sebesar 48°C saat menggunakan mineral oil, lebih rendah dibandingkan dengan VCO yang mencapai 51°C. Suhu maksimal saluran inlet dan outlet dengan mineral oil masing-masing sebesar 35,5°C dan 33,8°C, sedangkan dengan VCO sebesar 37,4°C dan 35°C.

2.2 Dasar Teori

Pada bagian dasar teori ini akan membahas tentang dasar dari baterai khususnya baterai dengan jenis Lithium-Ion, *Battery Thermal Management System (BTMS)* dengan dua metode utama, lalu dinamika kapal dengan regulasi yang diacu sebagai variabel sudut pada penelitian.

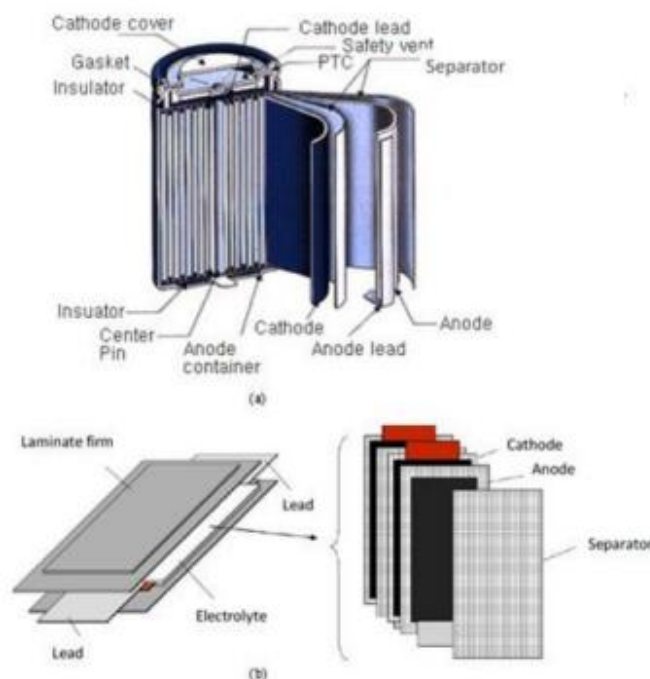
Penjelasan dari setiap dasar teori yang mendukung penelitian ini akan dijelaskan, sebagai berikut.

2.2.1 Baterai

Baterai merupakan sumber utama energi untuk sejumlah perangkat elektronik, terutama kendaraan listrik. Prinsip dasar baterai adalah menghasilkan energi listrik melalui transformasi energi kimia, terbagi menjadi dua jenis utama. Baterai primer (sekali pakai) hanya dapat digunakan sekali dan tidak dapat diisi ulang setelah digunakan, di mana bahan katoda tidak dapat mengalami proses pelepasan atau *discharge* (Tresya *et al.*, 2022). Sebaliknya, baterai sekunder (dapat diisi ulang) dapat digunakan secara berkelanjutan dan diisi ulang beberapa kali. Proses elektrokimia pada baterai sekunder bersifat reversibel, di mana bahan aktif dalam baterai dapat dikembalikan ke keadaan awal melalui pengisian ulang pada setiap sel baterai. Contoh baterai primer melibatkan jenis seperti zinc-carbon, alkaline, lithium, dan silver oxide, sementara baterai sekunder mencakup Ni-Cd (Nickel-Cadmium), Ni-HM (Nickel-Metal Hydride), dan Li-Ion (Lithium-Ion). Baterai Li-Ion merupakan jenis baterai yang sering digunakan karena baterai jenis ini memiliki daya tahan siklus yang tinggi, lebih ringan, serta memiliki kapasitas daya yang lebih banyak dibandingkan dengan baterai lainnya.

2.2.2 Lithium-Ion

Saat ini, baterai lithium-ion merupakan baterai yang penting, terutama untuk kebutuhan energi listrik perangkat elektronik. Selain itu, kebutuhan baterai lithium-ion juga sangat mendesak, terutama pada kendaraan bertenaga energi listrik (*electric vehicle*). Baterai lithium-ion ini berperforma tinggi, ringan, dan dapat digunakan berkali-kali sehingga banyak digunakan oleh berbagai produsen sebagai sumber tenaga perangkat elektronik. Suhu efektif operasional baterai adalah 25°C - 40°C. Komponen utama baterai lithium-ion adalah elektroda negatif (anoda), elektroda positif (katoda), elektrolit, dan pemisah.



Gambar 2. 3 Struktur Baterai Lithium-Ion
(Sumber : Perdana, 2021)

Keunggulan baterai lithium-ion adalah kepadatan energi yang relatif tinggi, *self-discharge* rendah, pengisian cepat, tanpa efek memori, massa rendah, dan daya tahan tinggi dengan siklus pengisian yang tepat. Baterai lithium-ion juga memiliki kelemahan yaitu resistansinya rendah. Oleh karena itu, prosedur keselamatan dan observasi yang tepat diperlukan agar dapat mengukur salah satu sel baterai secara akurat dan untuk memastikan baterai tidak terlalu panas saat digunakan. Kenaikan suhu yang berlebihan di dalam baterai dapat memperpendek masa pakai baterai. Berdasarkan senyawa kimia yang digunakan dalam baterai Li-ion, maka baterai tersebut dibagi ke dalam 6 jenis, yaitu:

1. Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Cobalt Oxide (LiCoO_2) atau disingkat dengan LCO.
2. Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Manganese Oxide (LiMn_2O_4) atau disingkat dengan LMO.
3. Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO_2) atau disingkat dengan NMC.
4. Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4) atau disingkat dengan LFP.
5. Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO_2) atau disingkat dengan NCA.
6. Baterai Li-ion yang menggunakan senyawa kimia Lithium Titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) atau disingkat dengan LTO.

2.2.3 Battery Thermal Management System

Battery Thermal Management System (BTMS) bekerja dengan memantau dan mengatur suhu baterai untuk memastikan operasi yang aman dan efisien. BTMS membantu menjaga suhu baterai dalam rentang optimal, terlepas dari kondisi lingkungan eksternal. Hal ini dilakukan melalui berbagai metode, termasuk penggunaan pendingin aktif atau pasif, distribusi panas yang merata, dan pengaturan aliran udara. Selain itu, BTMS juga dapat melibatkan penggunaan sensor suhu dan sistem manajemen daya untuk memantau dan mengontrol kondisi termal baterai (Febriyanto et al., 2023). Dengan demikian, BTMS merupakan komponen kunci dalam memastikan kinerja dan keamanan baterai, terutama dalam aplikasi kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi.

2.2.4 Metode Pendinginan

Metode pendinginan menggunakan udara dan cairan merupakan teknik untuk menjaga suhu optimal dalam berbagai aplikasi. Pendinginan udara memanfaatkan aliran udara untuk menghilangkan panas, sementara pendinginan cairan menggunakan cairan seperti air atau refrigeran untuk menyerap dan membuang panas secara lebih efisien, meningkatkan kinerja dan umur perangkat.

2.2.4.1 Udara

Ada dua jenis metode pendinginan udara yaitu konveksi udara alami dan konveksi udara paksa. Pendinginan udara banyak digunakan karena banyak kelebihanannya seperti viskositas rendah, bobot udara rendah, kemudahan konfigurasi, biaya rendah, dan kemudahan perbaikan. Karena sifat udara yang memiliki kapasitas spesifik lebih rendah dibandingkan jenis media pendingin lainnya, metode ini terutama digunakan untuk baterai yang menghasilkan tingkat panas rendah. Pendinginan udara telah berkembang pesat, terutama yang berkaitan dengan

aliran udara, penempatan sel baterai, dan perubahan jalur aliran. Namun kemampuan membuang panas dari BTMS jenis ini masih kurang baik jika dibandingkan dengan jenis yang lain, akar penyebabnya adalah bahwa udara memiliki kapasitas panas yang lebih rendah serta konduktivitas termal yang lebih rendah dibandingkan dengan media lain seperti cairan dan PCM.

2.2.4.2 Cairan

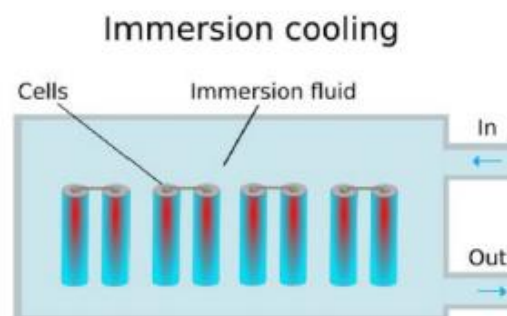
Metode pendinginan dengan cairan ini diklasifikasikan ke dalam dua jenis yaitu pendinginan cair tidak langsung (*indirect liquid cooling*) dan pendinginan perendaman (*immersion cooling*). Metode ini menggunakan fluida cair sebagai media pendinginnya, mampu memberikan performa pendinginan yang lebih baik dibandingkan jenis *air cooling*, namun memiliki konstruksi yang rumit, adanya resiko kebocoran, dan mahalnya biaya perawatan. Dibandingkan dengan metode pendinginan udara, metode ini memiliki kapasitas panas yang lebih tinggi serta konduktivitas termal yang lebih baik.

2.2.4.2.1 Indirect Liquid Cooling

Sistem pendinginan pasif jenis ini menggunakan saluran air tertutup yang berisi refrigeran. Refrigeran menyerap panas dengan menguap di sisi panas dan melepaskannya ke udara sekitar dengan mengembun kembali ke bentuk cair di sisi dingin. Sirkulasi refrigeran ini berlangsung secara kontinu.

2.2.4.2.2 Immersion Cooling

Immersion cooling adalah sebuah teknik pendinginan yang telah lama digunakan dalam mendinginkan komponen elektronik, pendinginan ini memungkinkan komponen elektronik direndam dalam cairan pendingin. Terdapat 2 jenis fluida yang dapat digunakan dalam metode pendinginan *immersion cooling*, yaitu fluida non-konduktor dan fluida konduktor. Pada fluida konduktor, fluida yang sering dipakai adalah air. Air adalah bahan konduktor, oleh karena itu tidak dapat digunakan secara langsung untuk pendinginan perangkat elektronik. Namun, pelat dingin dan blok air adalah di antara bahan tradisional yang menggunakan cairan konduktor seperti air. Fluida non-konduktor yang sering dipakai dalam pendinginan ini adalah mineral oil. Mineral oil digunakan sebagai fluida pendingin karena sifat non- konduktor listrik dan pendinginan yang baik (Kolcunová *et al.*, 2017). Jenis pendinginan ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya memiliki potensi untuk memberikan keseragaman pendinginan baterai karena semua permukaan baterai berada pada cairan pendingin, selanjutnya beberapa cairan dielektri juga tahan api sehingga meningkatkan *safety* dari baterai.



Gambar 2. 4 Model *Immersion Cooling*
(Sumber : Roe et al., 2022)

2.2.5 Hydrofluoroether

Hydrofluoroether (HFE) merupakan senyawa organik yang tersusun atas hidrogen, fluor, dan oksigen. Strukturnya menyerupai eter biasa, dengan gugus hidroksil yang digantikan oleh fluor. HFE banyak digunakan sebagai pelarut *inert* dengan titik didih rendah. Kegunaannya meliputi pelarut pembersih dan bahan pendingin. Kelebihan utama HFE adalah stabilitas kimianya yang tinggi dan kemampuannya bekerja dalam beragam kondisi temperatur dan tekanan. HFE juga dianggap lebih ramah lingkungan dibandingkan pelarut organik lainnya.

2.2.6 C-Rate Baterai

Arus pelepasan dan pengisian pada baterai biasanya dinyatakan dalam satuan laju C. Laju C ini merepresentasikan arus yang diperlukan untuk melepaskan daya baterai dalam jangka waktu tertentu. Misalnya, arus yang dibutuhkan untuk mengosongkan baterai dalam waktu 1 jam dinyatakan sebagai 1C. Jika waktu pelepasan diperpanjang menjadi 2 jam, arus tersebut dinyatakan sebagai C/2 atau 0,5C. Sementara itu, untuk pelepasan dalam jangka waktu 10 jam, arus tersebut dinyatakan sebagai C/10 atau 0,1C.

Pengosongan baterai pada laju C yang berbeda akan menghasilkan pengukuran kapasitas yang berbeda pula. Ketika arus pengosongan lebih tinggi dari laju C yang digunakan untuk menentukan kapasitas nominal baterai, kapasitas efektif yang dikeluarkan dari baterai akan lebih rendah sebelum baterai mencapai kondisi kosong total. Hal ini disebabkan oleh faktor internal baterai, seperti resistansi internal, yang meningkat dengan laju pelepasan yang lebih tinggi, sehingga mengurangi efisiensi transfer energi. Sebaliknya, pengosongan baterai pada laju C yang lebih rendah dari kapasitas nominal dapat menghasilkan kapasitas yang lebih tinggi. Dengan kata lain, baterai akan bertahan lebih lama sebelum benar-benar kosong.

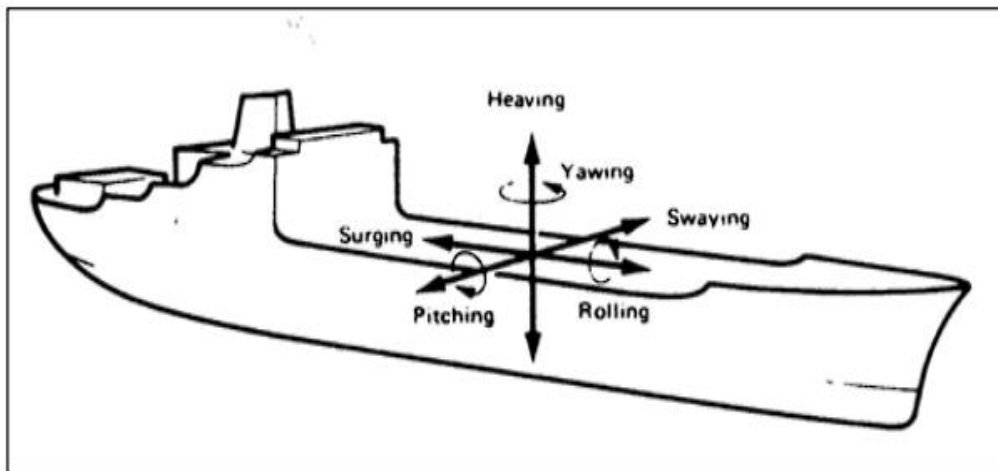
Tabel 2. 1 Waktu Operasi C-Rate Baterai

Keterangan C-Rate	Waktu
1C	60 Menit
2C	30 Menit
3C	20 Menit
4C	15 Menit
5C	12 Menit

2.2.7 Dinamika Kapal

Dinamika kapal (kelaikan laut) mengacu pada kemampuan kapal bereaksi terhadap pergerakannya dalam gelombang. Oleh karena itu, fitur ini jelas merupakan aspek penting dari sudut pandang desain kapal. Dalam perencanaan kapal, kualitas kinerja kapal adalah bagian yang menentukan bagaimana kapal akan terguling atau tenggelam dalam semua kondisi gelombang, dan dapat ditentukan secara andal bahkan dalam kondisi ekstrim. Pada dasarnya suatu kapal yang berada di permukaan laut senantiasa terkena pengaruh gaya luar yang menyebabkan kapal tersebut bergerak (*ship motion*). Kapal yang mengarungi laut lepas melakukan pergerakan yang rumit, yang dapat menyimpang dari arah yang direncanakan. Meskipun demikian, karakteristik gerak kapal ketika berlayar di lautan terbuka dapat diamati untuk menggambarkan sifat alaminya dan mengembangkan teori dasar dan persamaan gerak

kapal. Saat melakukan perjalanan di laut lepas, sebuah kapal mengalami enam gerakan dasar yaitu *heave*, *roll*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*.



Gambar 2. 5 Macam – Macam Gerak Kapal
(Sumber : Bastian, 2015)

2.2.7.1 *Rolling*

Rolling kapal adalah gerakan kemiringan kapal dari satu sisi ke sisi lainnya, yang disebabkan oleh gelombang laut atau faktor lainnya. Gerakan *rolling* kapal dapat diukur dalam satuan derajat atau radian. Nilai maksimum untuk gerakan roll kapal tergantung pada berbagai faktor seperti sudut datang gelombang, kecepatan kapal, dan frekuensi gelombang. Nilai *roll* maksimum terjadi pada sudut datang gelombang 90° saat kecepatan kapal 0/ms dengan nilai RAO 15.5 deg/m pada frekuensi 0,95 rad/s (Ihsan, Chrismianto and Santosa, 2022). Berbagai jenis kapal memiliki batasan sudut maksimum untuk *rolling*, seperti kapal penumpang dengan rentang biasanya sekitar 10° - 15° (Hanung Setiawan et al., 2017).

2.2.7.2 *Pitching*

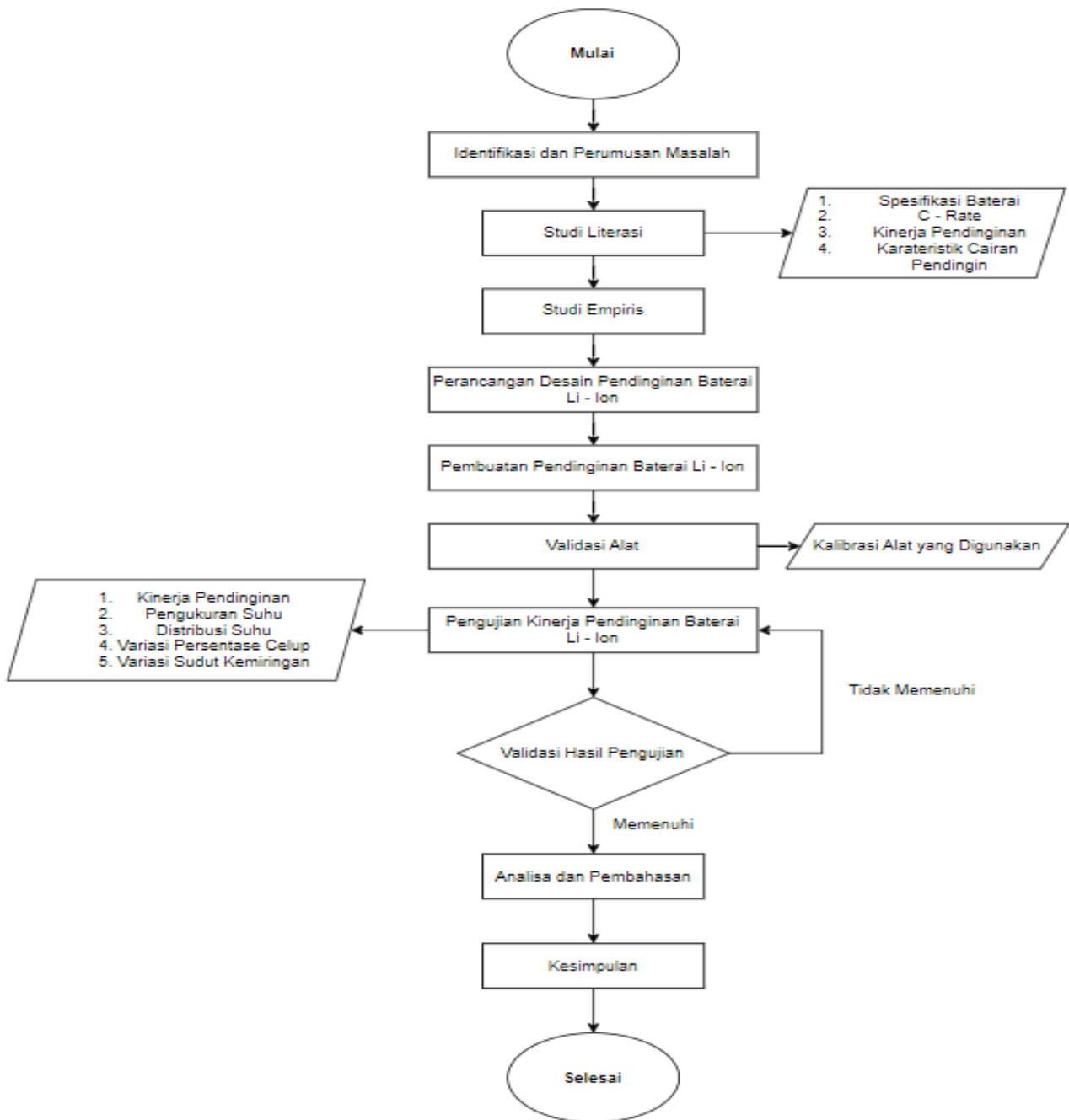
Sedangkan gerak *pitching* mengacu pada gerak rotasi kapal mengelilingi sumbu melintang y, yang disebabkan oleh gerak goyang haluan dan buritan saat kapal naik dan turun. Pergerakan ini sangat bergantung pada kondisi gelombang, kecepatan kapal, dan arah kecepatan kapal relatif terhadap gelombang.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan eksperimen guna mengamati dan menganalisa dampak gerakan *rolling* dan *pitching* kapal terhadap sistem pendinginan *immersion cooling* pada baterai Li-Ion.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dari penelitian ini dilakukan mulai perumusan masalah yang dilanjutkan dengan studi literasi dan empiris sebelum masuk ke tahap perancangan desain, perakitan alat, dan dilanjutkan dengan pengambilan data.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian
Sumber : Dokumentasi Pribadi

3.2 Urutan Pelaksanaan Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan dari diagram alir yang menguraikan urutan pelaksanaan penelitian yang dilakukan penulis.

3.2.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahap ini merupakan tahap awal dalam penelitian. Pada tahap ini, peneliti harus mengidentifikasi masalah yang ingin diteliti. Masalah tersebut dapat diidentifikasi melalui berbagai cara, seperti studi literatur dan pengamatan. Berdasarkan gambar, masalah yang diidentifikasi oleh peneliti adalah terkait dengan kinerja pendinginan baterai lithium-ion untuk mencegah terjadinya overheating yang dapat menyebabkan kerusakan baterai.

3.2.2 Studi Literasi

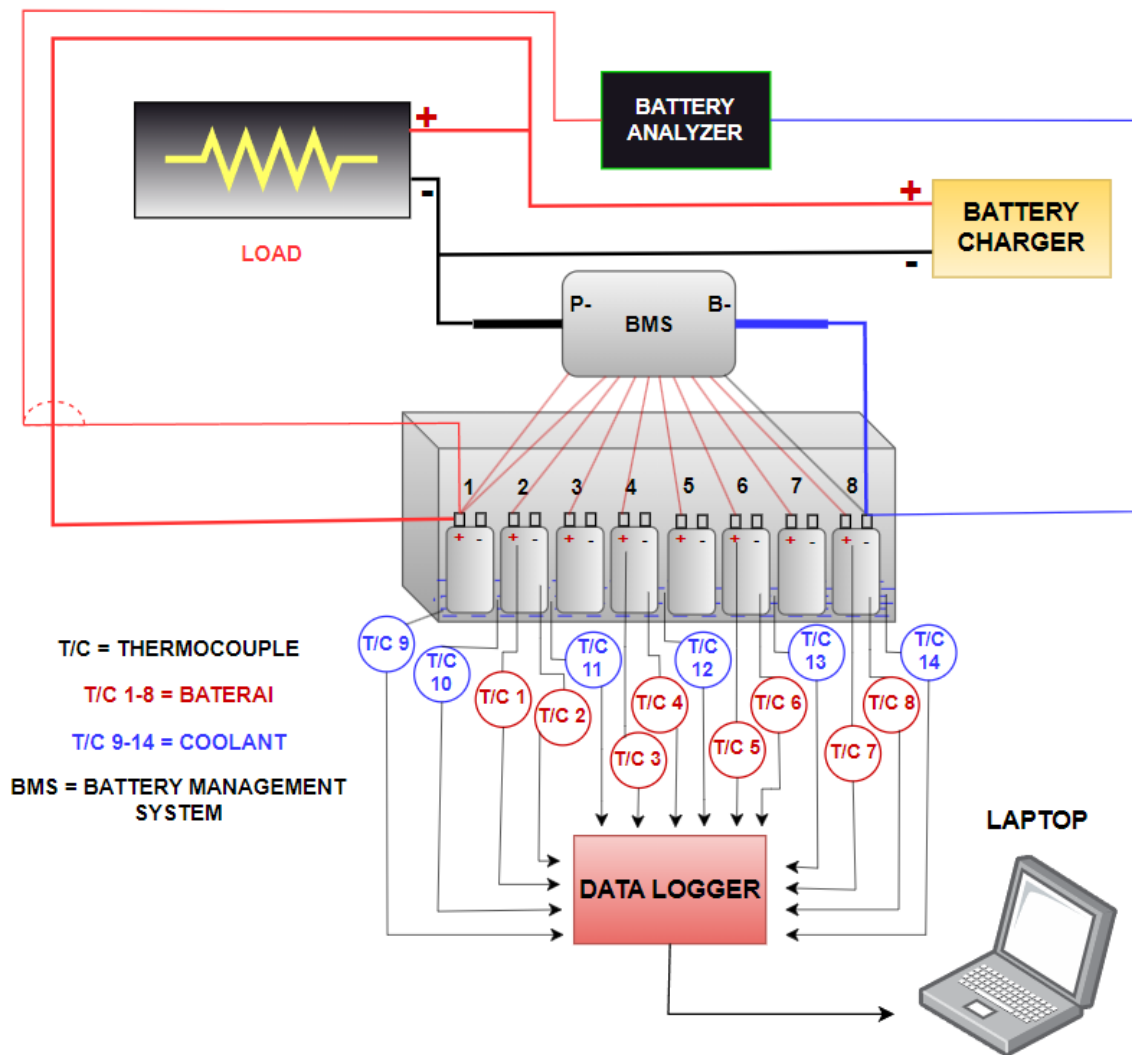
Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan pengetahuan yang relevan dengan masalah yang diteliti. Informasi tersebut dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal, artikel, atau website. Pada tahap ini, peneliti mempelajari tentang spesifikasi baterai lithium-ion, kinerja pendinginan, dan karakteristik cairan pendingin. Informasi tersebut digunakan untuk memahami masalah yang diteliti dan merumuskan hipotesis penelitian.

3.2.3 Studi Empiris

Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan data empiris yang diperlukan untuk menguji hipotesis penelitian. Data empiris dapat diperoleh melalui berbagai cara, seperti eksperimen, survei, atau wawancara. Pada tahap ini, peneliti merancang desain pendinginan baterai lithium-ion. Desain tersebut kemudian diuji untuk mengetahui kinerjanya dalam menurunkan suhu baterai.

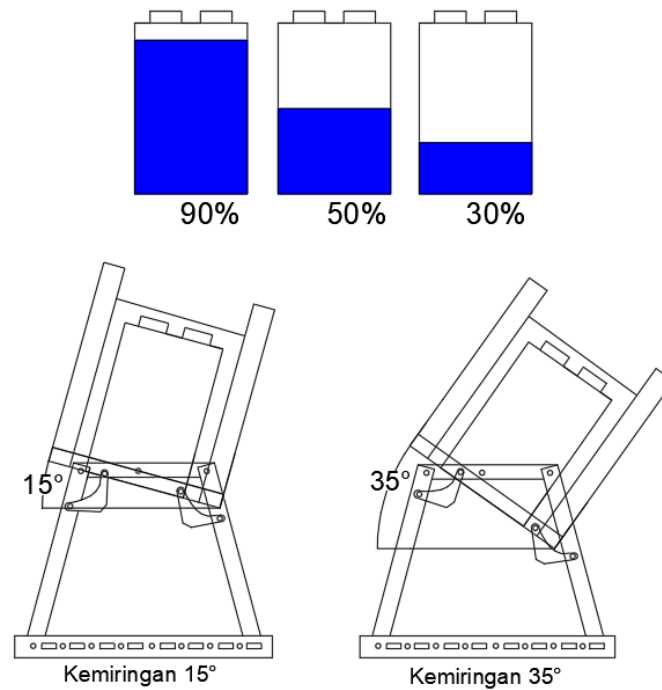
3.2.4 Perancangan Desain Pendinginan Baterai Li-Ion

Berdasarkan hasil studi literatur dan pemahaman terhadap masalah, peneliti akan merancang desain sistem pendinginan baterai Li-Ion. Desain ini harus mempertimbangkan berbagai faktor, seperti jenis baterai, karakteristik cairan pendingin, dan kinerja pendinginan yang diinginkan.

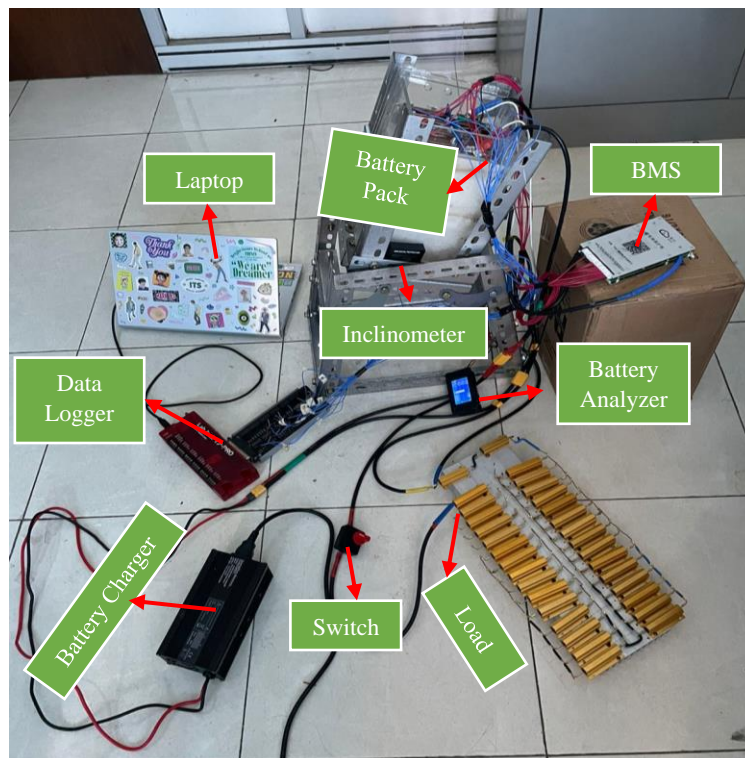


Gambar 3. 2 Skema Pengujian
 Sumber: Dokumentasi Pribadi

Gambar diatas menjelaskan tentang skema pengujian dari penelitian ini. P- BMS disambungkan secara paralel dengan negatif *battery charger*, setelah itu dihubungkan dengan negatif dari *load*. Positif dari *battery charger* akan dihubungkan dengan positif *load* yang akan langsung dihubungkan dengan positif baterai nomor 1. Sedangkan kabel B- BMS akan langsung dihubungkan dengan negatif baterai nomor 8. Untuk memonitor kinerja baterai, digunakan *battery analyzer*. Terdapat 14 T/C yang ditempatkan di berbagai titik, termasuk pada dinding baterai (*Twall*) dan pendingin (*coolant*). Semua T/C dihubungkan dengan data logger agar data (suhu) dapat terbaca di laptop.



Gambar 3. 3 Skema Variasi Perendaman *Coolant* dan Kemiringan Sudut
 Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 3. 4 Rangkaian Eksperimen
 Sumber: Dokumentasi Pribadi

3.2.5 Pemilihan Pendinginan Baterai Li-Ion

Setelah desain selesai, langkah selanjutnya adalah membuat sistem pendinginan baterai Li-Ion. Pada tahap ini, peneliti akan memilih bahan dan komponen yang sesuai dengan desain, kemudian merakit dan menguji sistem pendinginan.

3.2.6 Pengujian Kinerja Pendinginan Baterai

Pada tahap ini, peneliti melakukan pengujian kinerja pendinginan baterai yang telah dirancang. Data yang diperoleh dari pengujian kemudian digunakan untuk menganalisis kinerja pendinginan baterai. Analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah desain pendinginan yang dirancang memenuhi persyaratan kinerja. Pada pengujian kinerja pendinginan baterai terdapat error yang mempengaruhi pengambilan data.

Tabel 3. 1 Kalibrasi Thermocouple

No.	Suhu TM (°C)	Suhu TC (°C)	Error
1	0	0	0
2	0	-1	1
3	0	2	-2
4	0	3	-3
5	0	3	-3
6	0	3	-3
7	0	3	-3
8	0	3	-3
9	0	3	-3
10	0	4	-4
11	0	3	-3
12	0	3	-3
13	0	3	-3
14	0	3	-3

3.2.7 Validasi Hasil Pengujian

Tahap ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil pengujian yang diperoleh valid. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis. Jika hasil pengujian tidak memenuhi persyaratan kinerja, maka peneliti perlu melakukan desain ulang pendinginan baterai.

3.2.8 Analisa dan Pembahasan

Data hasil pengujian dianalisis dan diinterpretasikan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Peneliti akan membahas hasil penelitian, menjelaskan temuan dan implikasinya, serta membandingkannya dengan penelitian sebelumnya.





3.2.9 Kesimpulan





Tahap ini dilakukan untuk menarik kesimpulan dari hasil penelitian. Kesimpulan merupakan jawaban atas pertanyaan penelitian yang diajukan. Pada tahap ini, peneliti menyimpulkan apakah penelitian yang sudah dilakukan dapat diterima atau ditolak.


3.3 Bahan dan Alat yang Digunakan dalam Penelitian

Bahan dan alat yang digunakan tertera dalam tabel dibawah ini.

Tabel 3. 2 Bahan dan Alat dalam Penelitian

No	Alat / Bahan	Gambar	Spesifikasi
1	Baterai		<p>Battery size: 132mmx230mmx7.5mm (excluding tabs) Weight: 400G Battery capacity: 20AH Internal resistance: 1 milliohm Nominal voltage: 3.2V Charging limit voltage : 3.65V Continuous discharge: 2C Max discharge: 3C</p>
2	Cairan Pendingin TMC 7300		<p>Boiling point: 98°C Density: 1,67 g/ml Dielectric constant: 6,14 Vapor pressure: 45mmHg Viscosity @25°C: 0,71</p>
3	Charger Baterai		<p>Input Voltage:220-240V 50/60HZ Output Voltage:12V 24V 36V 48V 60V 72V Output Current:5A 10A 20A 30A Power:2000W</p>
4	Battery Analyzer		<p>Current : 0-300A ;1A shows 999mA Voltage : 0-200V ;10V display 9,99V Power : 0-60000W ;10W display 9,99W Energy consumption : 0-9999kWh ;1kWh display 999Wh</p>

No	Alat / Bahan	Gambar	Spesifikasi
5	Thermocouple		Type K PROBE TP-01 Measurement Range Accuracy - 40 °C to 250 °C Max. short-term operating Cable length 120 cm
6	BMS		Function: BT/RS485 Balance current: 0,6A Battery strings: 8S-17S Charge/discharge: 60A Battery type: Lifepo4/Li-ion Dimensi; 133*81*18mm
7	Resistor		100W 4 Ohm Wirewound 50W 1 Ohm Wirewound
9	Multimeter		AC Voltage: 600 mV/6V/60V/600V/1000V DC Voltage: 6V/60V/600V/750V VFD Voltage: 600mV/6V/60V/600V/750V AC Current: 60A/600A/1000A DC Current: 60A/600A/1000A Temperature: -20 ~ 1000C/-4 ~ 1832F Ukuran: 191 x 73 x 34 mm

No	Alat / Bahan	Gambar	Spesifikasi
10	Data Logger		<p>1μV noise-free analog input resolution</p> <p>Add optional expansion board for 84 analog inputs</p> <p>24-bit low-speed and 16-bit high-speed ADC</p> <p>23 Digital I/O 14 Analog Inputs</p> <p>Watchdog system</p> <p>Up to 10 counters</p> <p>Industrial range (-40° to +85°C)</p> <p>2 Analog Outputs (12bit 0-5V)</p> <p>Serial protocols: SPI, I2C</p>

BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN

4.1 Perhitungan

Berikut merupakan data-data yang digunakan untuk melakukan perhitungan

Tabel 4. 1 Data Alat yang Digunakan

Nama Alat	Keterangan
Baterai	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Battery size</i>: 132mm x 230mm x 7.5mm • <i>Weight</i>: 400G • <i>Battery capacity</i>: 20AH • <i>Nominal voltage</i>: 3.2V • <i>Rangkaian</i>: 8S • <i>Continuous discharge current</i>: 2C • <i>Maximum discharge current</i>: 3C
Wadah Akrilik	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Ukuran</i> : 11.5cm x 15.2cm x 30cm
TMC 7300	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Liquid density</i> : 1670kg/m³
<i>Data Resistor Ecommerce</i>	<ul style="list-style-type: none"> • P = 100W, 50W • R = 4Ohm, 1Ohm

Dari data diatas, didapatkan perhitungan volume dari chamber, kebutuhan cairan yang akan digunakan, dan kapasitas load bank.

4.1.1 Perhitungan Volume

Perhitungan volume dapat dilakuan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V = P \times L \times T \quad (4.1)$$

- Perhitungan Volume Baterai
 $V_{baterai} = 13.2\text{cm} \times 23\text{cm} \times 0.75\text{cm}$
 $V_{baterai} = 1821.6 \text{ cm}^3$
 $V_{baterai} = 0.0018216 \text{ m}^3$ (8S)
- Perhitungan Volume Chamber
 $V_{chamber} = 11.5\text{cm} \times 15.2\text{cm} \times 30\text{cm}$
 $V_{chamber} = 4020.4 \text{ cm}^3$
 $V_{chamber} = 0.0040204 \text{ m}^3$

Sehingga untuk kebutuhan cairan yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V = (V_{chamber} - V_{baterai}) \times 90\% \quad (4.2)$$

$$m_{cairan} = V \times \text{Density} \quad (4.3)$$

- Variasi Perendaman 90%

$$V = (0.0040204m^3 - 0.0018216m^3) \times 90\%$$

$$V = 0.0019789 m^3$$

$$m_{cairan} = 0.0019789m^3 \times 1670 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{cairan} = 3.3 \text{ kg}$$

- Variasi Perendaman 50%

$$V = (0.0040204m^3 - 0.0018216m^3) \times 50\%$$

$$V = 0.0010994 m^3$$

$$m_{cairan} = 0.0010994 m^3 \times 1670 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{cairan} = 1.84 \text{ kg}$$

- Variasi Perendaman 30%

Pada variasi ini dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V = (0.0040204m^3 - 0.0018216m^3) \times 30\%$$

$$V = 0.0006596 m^3$$

$$m_{cairan} = 0.0006596 m^3 \times 1670 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{cairan} = 1.10 \text{ kg}$$

4.1.2 Perhitungan Beban *Discharge*

Perhitungan untuk kapasitas beban *discharge* 3C yang digunakan bisa dilakukan dengan persamaan berikut.

- $I = \text{Ampere Hour} \times \text{Discharge Rate} \quad (4.4)$

$$I = 20Ah \times 3$$

$$I = 60A$$

- $V_{rangkai} = V_{baterai} \times \text{Rangkaian Seri Baterai} \quad (4.5)$

$$V_{rangkai} = 3.2V \times 8$$

$$V_{rangkai} = 25.6V$$

- $P = V_{rangkai} \times \text{Ampere Hour} \quad (4.6)$

$$P = 25.6V \times 20Ah$$

$$P = 512Wh$$

- $R = V_{rangkai} / I \quad (4.7)$

$$R = 25.6V / 60A$$

$$R = 0,43\Omega$$

- $R_{100W} (P) = R / \text{Jumlah Rangkaian} (P) \quad (4.8)$

$$R_{100W} (P) = 4 / 15$$

$$R_{100W} (P) = 0,26\Omega$$

- $W_{100W} (P) = P_{resistor} \times \text{Jumlah Rangkaian} \quad (4.9)$

$$W_{100W} (P) = 100W \times 15P$$

$$W_{100W} (P) = 1500 W$$

- $I_{100W} (P) = \sqrt{W_{100W} / R_{100W(P)}} \quad (4.10)$

$$I_{100W} (P) = \sqrt{\frac{1500 W}{0,26}}$$

$$I_{100W} (P) = 75 A$$

- $R_{100W} (P-S) = R_{100W} (P) \times \text{Jumlah Rangkaian (S)} \quad (4.11)$

$$R_{100W} (P-S) = 0,26 \text{ Ohm} \times 2$$

$$R_{100W} (P-S) = 0,53 \text{ Ohm}$$

- $I_{total_{100W}} = \sqrt{W_{100W} (P) / R_{100W} (P-S)} \quad (4.12)$

$$I_{total_{100W}} = \sqrt{\frac{1500 W}{0,53 \text{ Ohm}}}$$

$$I_{total_{100W}} = 53,03 A$$

- $R_{50W} (P) = R / \text{Jumlah Rangkaian (P)} \quad (4.13)$

$$R_{50W} (P) = 1 / 1$$

$$R_{50W} (P) = 1 \text{ Ohm}$$

- $W_{50W} (P) = P_{resistor} \times \text{Jumlah Rangkaian} \quad (4.14)$

$$W_{50W} (P) = 50 W \times 1 P$$

$$W_{50W} (P) = 50 W$$

- $I_{50W} (P) = \sqrt{W_{50W} / R_{50W(P)}} \quad (4.15)$

$$I_{50W} (P) = \sqrt{\frac{50 W}{1}}$$

$$I_{50W} (P) = 7,071 A$$

- $R_{50W} (P-S) = R_{50W} (P) \times \text{Jumlah Rangkaian (S)} \quad (4.16)$

$$R_{50W} (P-S) = 1 \text{ Ohm} \times 2$$

$$R_{50W} (P-S) = 2 \text{ Ohm}$$

- $I_{total_{50W}} = \sqrt{W_{50W} (P) / R_{50W} (P-S)} \quad (4.17)$

$$I_{total_{50W}} = \sqrt{\frac{50 W}{2 \text{ Ohm}}}$$

$$I_{total_{50W}} = 5 A$$

- $\text{Total R} = \frac{1}{\left(\frac{1}{0,53}\right) + \left(\frac{1}{2}\right)} = 0,42 \text{ Ohm}$

- $\text{Total P} = 25,6^2 V / 0,42 \text{ Ohm} = 1556,48 W$

- $\text{Total I} = 25,6 V / 0,42 \text{ Ohm} = 60,8 A$

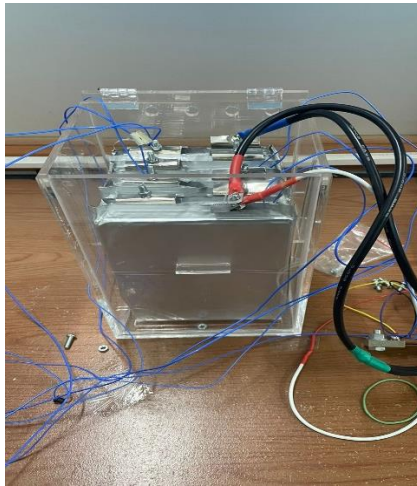
4.2 Pembuatan Rangkaian Percobaan

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan
2. Pasangkan *thermocouple* sebanyak 14 buah yang sudah dihubungkan dengan labjack pada baterai dengan posisi yang sudah ditentukan



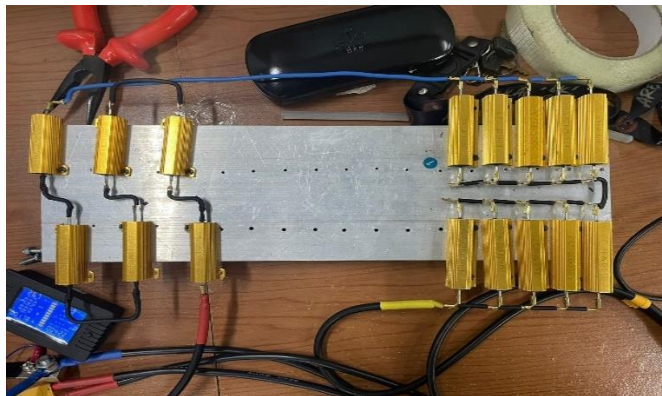
Gambar 4. 1 Pemasangan *Thermocouple* pada Baterai

3. Merangkai baterai sebanyak 8 buah dengan rangkaian seri
4. Memasukkan baterai yang sudah dirangkai ke dalam wadah akrilik yang sudah disiapkan

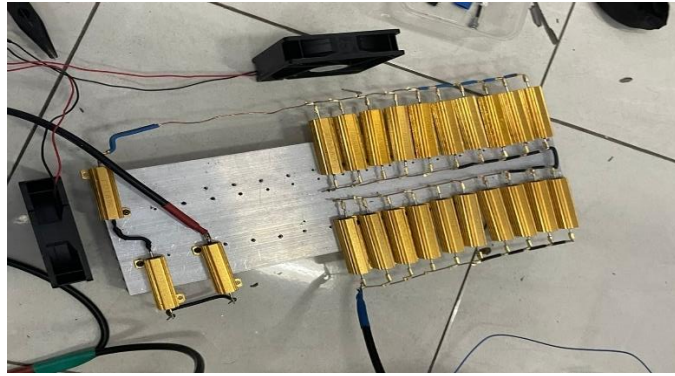


Gambar 4. 2 Rangkain Baterai di Dalam Wadah Akrilik

5. Merangkai *load bank* dengan variasi *discharge* 1C, 2C, dan 3C



Gambar 4. 3 Rangkaian *Discharge* 1C



Gambar 4. 4 Rangkaian *Discharge* 2C



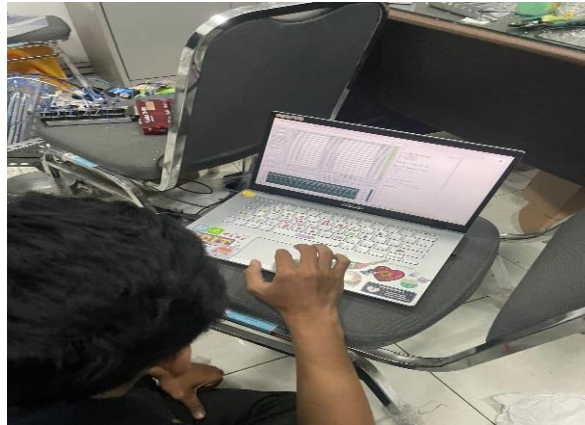
Gambar 4. 5 Rangkaian *Discharge* 3C

6. Membuat kabel yang menghubungkan dari rangkaian baterai, *battery charger*, *battery analyzer*, dan *load bank*



Gambar 4. 6 Proses Pembuatan Rangkaian Kabel

7. Data akan terbaca melalui labjack yang terhubung dengan laptop.



Gambar 4. 7 Proses Pembacaan Data Melalui Labjack

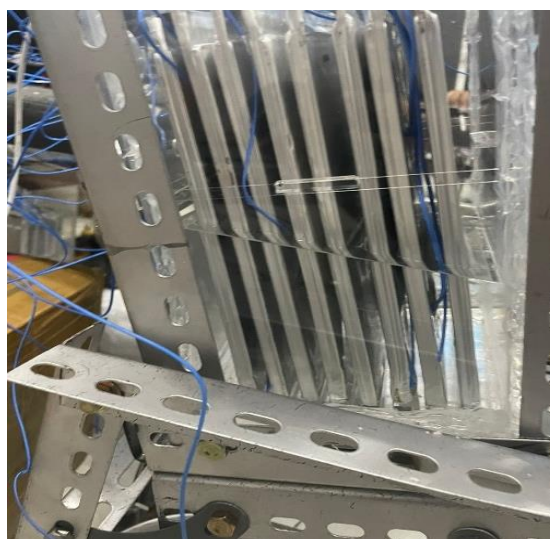
4.3 Hasil Data Percobaan

4.3.1 Parameter Percobaan

Parameter percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 8 Rangkaian Percobaan Perendaman 30%



Gambar 4. 9 Rangkaian Percobaan Perendaman 50%



Gambar 4. 10 Rangkaian Percobaan Perendaman 90%

Tabel 4. 2 Parameter Percobaan

Parameter		Keterangan
Tipe Baterai		LifePo4 (8S)
Tipe BMS		8S-17S 0,6A
<i>C Rate</i>		1C (60 Menit), 2C (30 Menit), 3C (20 Menit)
Cairan	Tipe	Hydrofluoroether TMC 7300E
	Densitas	1670 kg/m ³
Kondisi		<i>Rolling dan Pitching</i>
Sudut Kemiringan		15° dan 35°
Variasi Perendaman		30%, 50%, dan 90%

4.3.2 Hasil Percobaan

Hasil data yang sudah dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 3 Suhu Baterai Tanpa *Coolant*

Suhu Baterai Tanpa <i>Coolant</i> (K)			
No T/C	1C	2C	3C
1	317,64	318,2	317,22
2	317,21	317,68	317,26
3	317,58	317,48	317,99
4	318,09	318,38	318,13
5	317,72	318,08	317,72
6	317,56	317,99	317,58
7	317,54	317,48	317,22
8	317,16	317,84	317,33

Tabel 4. 4 Suhu Baterai Perendaman 30% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan 15°

Suhu Baterai (K) Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°				Suhu Baterai (K) Perendaman 30% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°			
No T/C	1C	2C	3C	No T/C	1C	2C	3C
1	311,94	312,59	312,14	1	312,02	312,94	312,25
2	309,82	310,47	309,82	2	310,01	309,74	310,14
3	310,41	311,06	310,41	3	310,73	310,84	311,73
4	307,45	308,73	307,82	4	308,44	308,77	308,77
5	308,08	308,10	308,45	5	308,92	308,98	309,39
6	307,52	307,17	308,08	6	308,39	308,39	308,44
7	306,34	307,61	307,34	7	306,65	307,27	308,65
8	306,16	306,99	306,96	8	306,47	307,15	307,27

Tabel 4. 5 Suhu Baterai Perendaman 30% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan 35°

Suhu Baterai (K) Perendaman 30% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°				Suhu Baterai (K) Perendaman 30% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°			
No T/C	1C	2C	3C	No T/C	1C	2C	3C
1	312,47	312,56	312,87	1	313,29	313,89	314,05
2	309,30	309,30	310,62	2	309,62	309,62	311,40
3	310,93	310,93	310,70	3	311,24	311,24	311,48
4	308,04	307,97	308,68	4	308,95	308,28	309,47
5	307,97	308,04	309,36	5	308,28	308,95	310,14
6	307,56	307,56	308,80	6	307,88	307,88	309,58
7	306,82	306,44	307,92	7	307,13	306,76	308,70
8	306,44	305,82	308,09	8	306,76	307,13	308,87

Tabel 4. 6 Suhu Baterai Perendaman 50% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan 15°

Suhu Baterai (K) Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°				Suhu Baterai (K) Perendaman 50% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°			
No T/C	1C	2C	3C	No T/C	1C	2C	3C
1	307,69	308,35	308,44	1	308,48	308,48	308,74
2	305,57	306,23	307,26	2	306,36	306,36	307,24
3	306,16	306,82	308,36	3	306,95	306,95	308,21
4	303,20	304,49	305,75	4	304,99	304,62	306,93
5	303,83	303,86	306,02	5	304,62	304,99	305,48
6	303,69	304,35	305,40	6	304,48	305,13	305,14
7	303,09	303,37	304,02	7	303,87	304,15	304,50
8	302,71	303,75	303,50	8	303,50	304,53	303,88

Tabel 4. 7 Suhu Baterai Perendaman 50% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan 35°

Suhu Baterai (K) Perendaman 50% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°				Suhu Baterai (K) Perendaman 50% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°			
No T/C	1C	2C	3C	No T/C	1C	2C	3C
1	308,24	308,89	309,05	1	308,89	309,02	309,61
2	306,12	306,77	307,74	2	306,77	306,90	308,00
3	306,71	307,37	308,02	3	307,37	307,50	309,27
4	303,75	305,03	306,69	4	305,03	305,16	307,95
5	304,38	304,41	307,55	5	304,41	305,54	308,51
6	304,24	305,89	306,64	6	305,89	306,68	306,21
7	303,64	304,91	306,32	7	304,91	304,70	305,57
8	303,26	303,29	305,29	8	303,29	305,08	305,55

Tabel 4. 8 Suhu Baterai Perendaman 90% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan 15°

Suhu Baterai (K) Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°				Suhu Baterai (K) Perendaman 90% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°			
No T/C	1C	2C	3C	No T/C	1C	2C	3C
1	300,33	300,38	300,57	1	300,51	300,49	300,61
2	300,31	300,36	300,54	2	300,49	300,47	300,59
3	300,35	300,40	300,58	3	300,53	300,50	300,63
4	300,31	300,36	300,54	4	300,49	300,47	300,59
5	300,31	300,36	300,54	5	300,49	300,47	300,59
6	300,31	300,36	300,54	6	300,49	300,47	300,59
7	300,31	300,36	300,54	7	300,49	300,47	300,59
8	300,31	300,36	300,54	8	300,49	300,47	300,59

Tabel 4. 9 Suhu Baterai Perendaman 90% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan 35°

Suhu Baterai (K) Perendaman 90% Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°				Suhu Baterai (K) Perendaman 90% Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°			
No T/C	1C	2C	3C	No T/C	1C	2C	3C
1	300,84	300,81	300,57	1	300,88	300,83	300,60
2	300,81	300,79	300,54	2	300,99	300,84	300,55
3	300,85	300,83	300,58	3	300,93	300,88	300,57
4	300,81	300,79	300,54	4	300,99	300,84	300,55
5	300,81	300,79	300,54	5	300,99	300,84	300,55
6	300,81	300,79	300,54	6	300,99	300,84	300,55
7	300,81	300,79	300,54	7	300,99	300,84	300,55
8	300,81	300,79	300,54	8	300,99	300,84	300,55

Tabel 4. 10 Suhu *Coolant* Beban 1C

Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 1C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°				Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 1C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°			
No T/C	30%	50%	90%	No T/C	30%	50%	90%
9	305,83	303,16	299,31	9	306,15	303,70	299,81
10	304,87	303,20	299,31	10	305,19	303,75	299,81
11	304,76	303,09	299,31	11	305,08	303,64	299,81
12	304,22	302,55	299,31	12	304,54	303,09	299,81
13	304,46	302,79	299,31	13	304,78	303,34	299,81
14	304,32	302,65	299,31	14	304,64	303,20	299,81
Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 1C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°				Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 1C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°			
No T/C	30%	50%	90%	No T/C	30%	50%	90%
9	306,14	303,79	299,49	9	306,46	303,49	299,99
10	305,19	303,83	299,49	10	305,50	303,53	299,99
11	305,08	303,72	299,49	11	305,39	303,42	299,99
12	304,53	303,18	299,49	12	304,85	302,88	299,99
13	304,78	303,42	299,49	13	305,09	302,42	299,99
14	304,64	303,28	299,49	14	304,96	302,98	299,99

Tabel 4. 11 Suhu *Coolant* Beban 2C

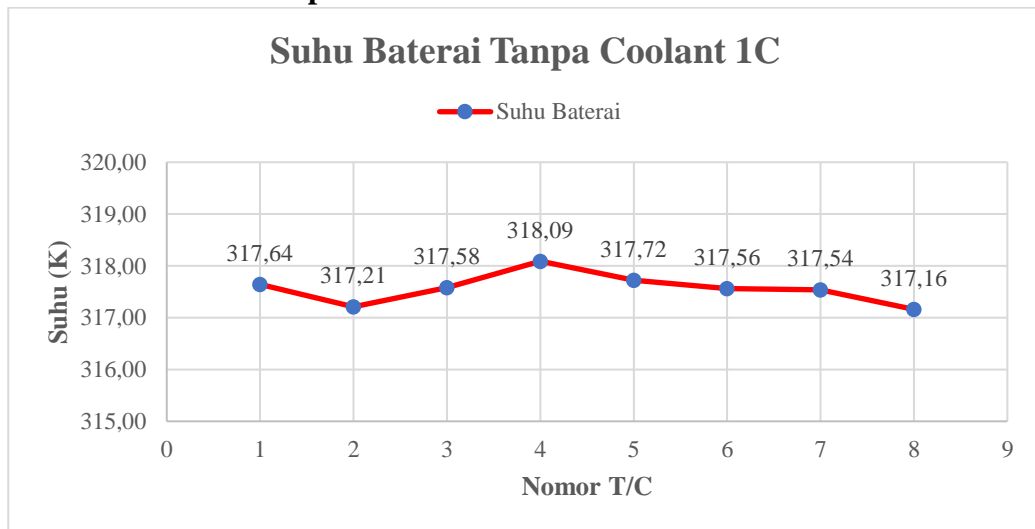
Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 2C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°				Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 2C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°			
No T/C	30%	50%	90%	No T/C	30%	50%	90%
9	306,48	304,33	299,31	9	306,15	303,88	299,64
10	305,52	304,38	299,31	10	305,19	303,92	299,64
11	305,42	304,27	299,31	11	305,08	303,81	299,64
12	304,87	303,72	299,31	12	304,54	303,27	299,64
13	305,12	302,97	299,31	13	304,78	302,79	299,64
14	304,98	302,83	299,31	14	304,64	302,37	299,64
Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 2C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°				Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 2C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°			
No T/C	30%	50%	90%	No T/C	30%	50%	90%
9	306,14	303,52	299,32	9	306,46	304,07	299,69
10	305,19	303,56	299,32	10	305,50	304,11	299,69
11	305,00	303,45	299,32	11	305,39	304,00	299,69
12	304,53	302,91	299,32	12	304,85	303,46	299,69
13	304,78	302,15	299,32	13	305,09	302,94	299,69
14	304,64	302,01	299,32	14	304,96	303,15	299,69

Tabel 4. 12 Suhu *Coolant* Beban 3C

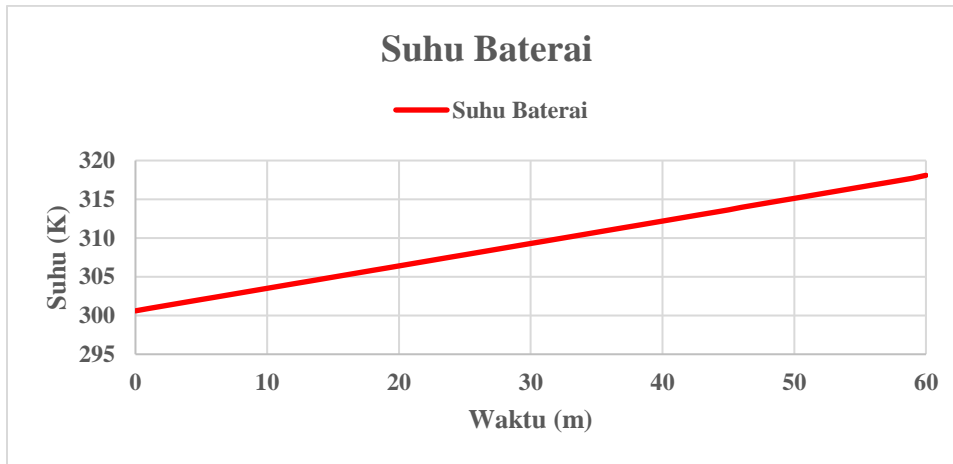
Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 3C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 15°				Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 3C Kondisi <i>Rolling</i> Kemiringan 35°			
No T/C	1C	2C	3C	No T/C	1C	2C	3C
9	306,83	304,25	298,22	9	306,87	303,54	299,18
10	305,87	304,08	298,32	10	306,28	303,37	299,08
11	304,76	303,24	298,42	11	304,75	302,53	298,98
12	305,22	303,37	298,52	12	304,46	302,17	298,89
13	305,46	302,25	298,62	13	304,78	302,54	298,98
14	305,32	302,08	298,71	14	304,65	302,37	299,08
Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 3C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 15°				Suhu <i>Coolant</i> (K) Beban 3C Kondisi <i>Pitching</i> Kemiringan 35°			
No T/C	1C	2C	3C	No T/C	1C	2C	3C
9	306,14	304,73	298,00	9	307,57	303,80	299,02
10	305,19	304,56	298,17	10	307,12	303,63	298,53
11	305,08	303,72	298,18	11	305,53	302,79	298,42
12	304,53	303,35	298,34	12	305,24	302,42	298,28
13	303,78	301,73	298,35	13	305,57	302,62	298,12
14	303,64	301,56	298,51	14	305,44	302,63	298,27

4.4 Percobaan Tanpa *Coolant*

4.4.1 Percobaan Tanpa *Coolant* Beban 1C



Gambar 4. 11 Grafik Percobaan Tanpa *Coolant* Beban 1C



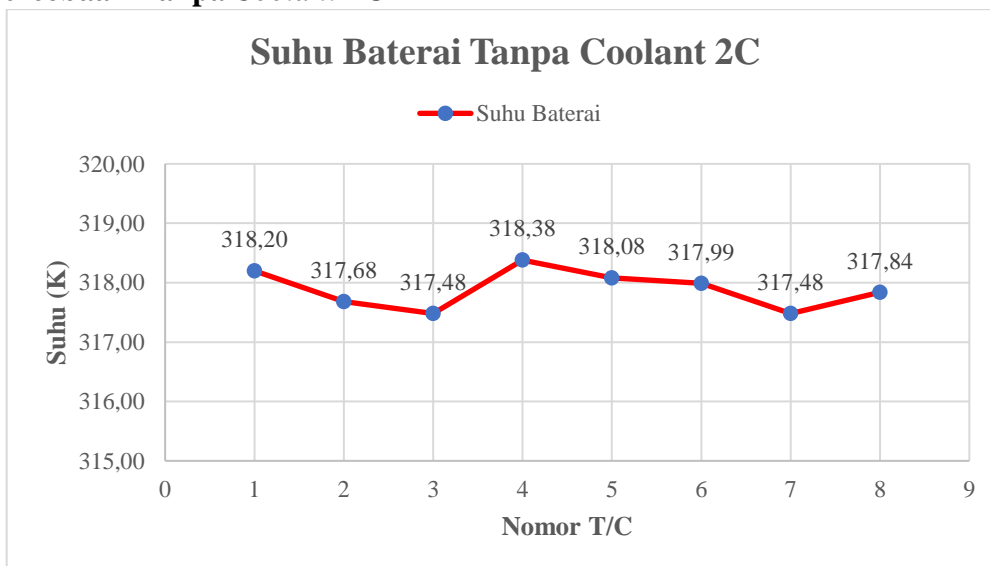
Gambar 4. 12 Grafik Percobaan Tanpa *Coolant* Terhadap Waktu Beban 1C

Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara nomor T/C dan suhu pada percobaan tanpa *coolant* dengan variasi beban 1C. Sumbu X menunjukkan nomor *thermocouple* yang dipasang pada pada *Twall* baterai, sedangkan sumbu Y menunjukkan suhu dalam Kelvin. Suhu baterai mengalami fluktuasi ringan sepanjang nomor T/C yang berbeda. Rata-rata suhu pada percobaan ini adalah 317,56K. Suhu tertinggi tercatat pada nomor T/C 4 dengan 318,09 K dan suhu terendah tercatat pada nomor T/C 1 dengan 317,21 K.

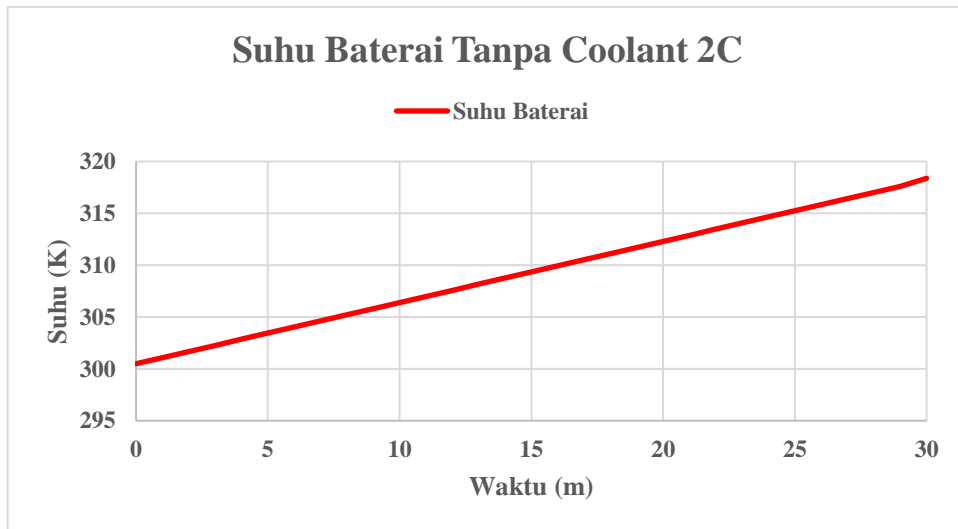
Tabel 4. 13 Data Percobaan 1C

Parameter	Keterangan
Waktu Running	60 Menit
Voltase	24,8 V
Arus	3,55 A
Hambatan	7 Ohm
Daya	88,1 W

4.4.2 Percobaan Tanpa *Coolant* 2C



Gambar 4. 13 Grafik Percobaan Tanpa *Coolant* Beban 2C



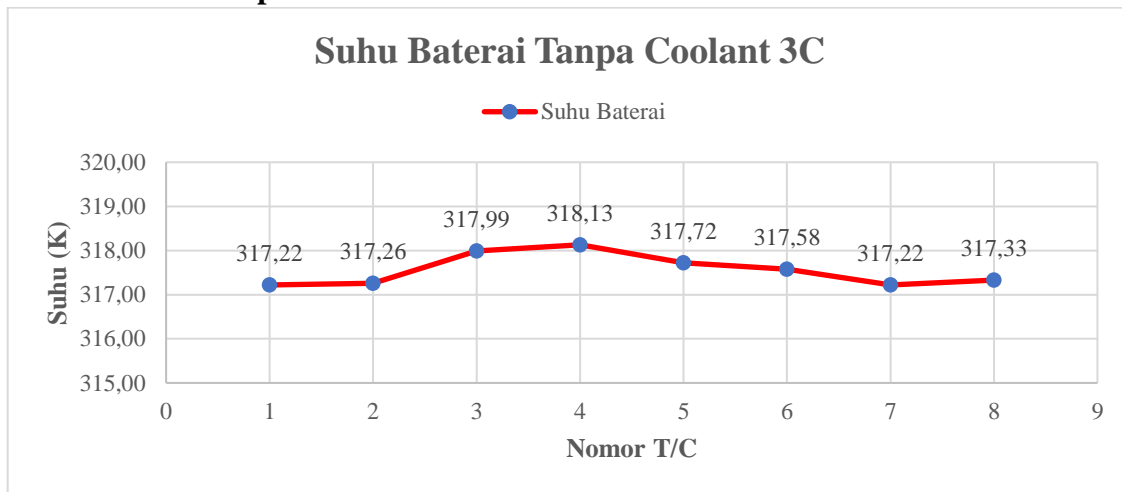
Gambar 4. 14 Grafik Percobaan Tanpa *Coolant* Terhadap Waktu Beban 2C

Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara nomor T/C dan suhu pada percobaan tanpa *coolant* dengan variasi beban 2C. Sumbu X menunjukkan nomor *thermocouple* yang dipasang pada pada *Twall* baterai, sedangkan sumbu Y menunjukkan suhu dalam Kelvin. Suhu baterai mengalami fluktuasi ringan sepanjang nomor T/C yang berbeda. Suhu baterai mengalami fluktuasi sepanjang nomor T/C yang berbeda. Suhu tertinggi tercatat pada Nomor T/C 4 dengan 318,38K dan suhu terendah tercatat pada Nomor T/C 3 dan Nomor T/C 7 dengan 317,48 K.

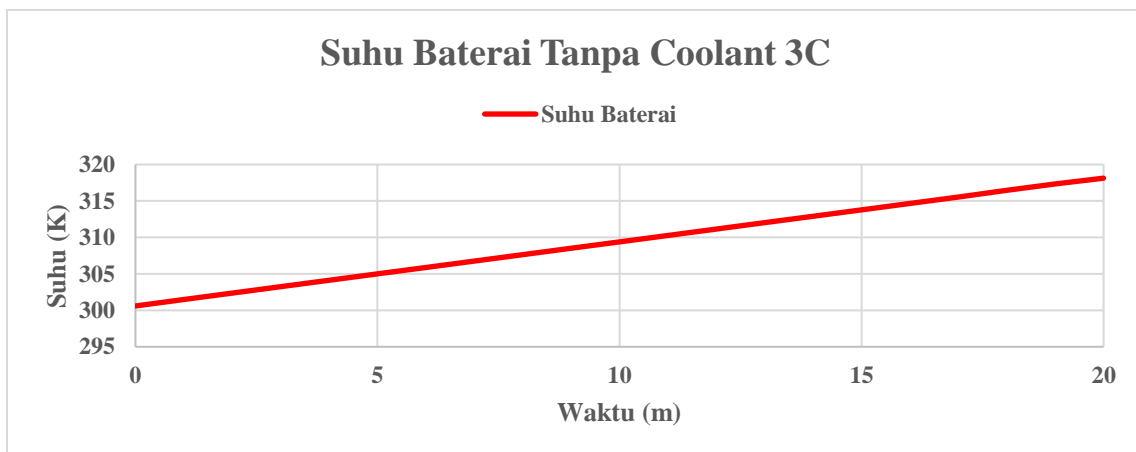
Tabel 4. 14 Data Percobaan 2C

Parameter	Keterangan
Waktu Running	30 Menit
Voltase	25,5 V
Arus	6,89 A
Hambatan	4 Ohm
Daya	178,5 W

4.4.3 Percobaan Tanpa Coolant Beban 3C



Gambar 4.15 Grafik Percobaan Tanpa Coolant Beban 3C



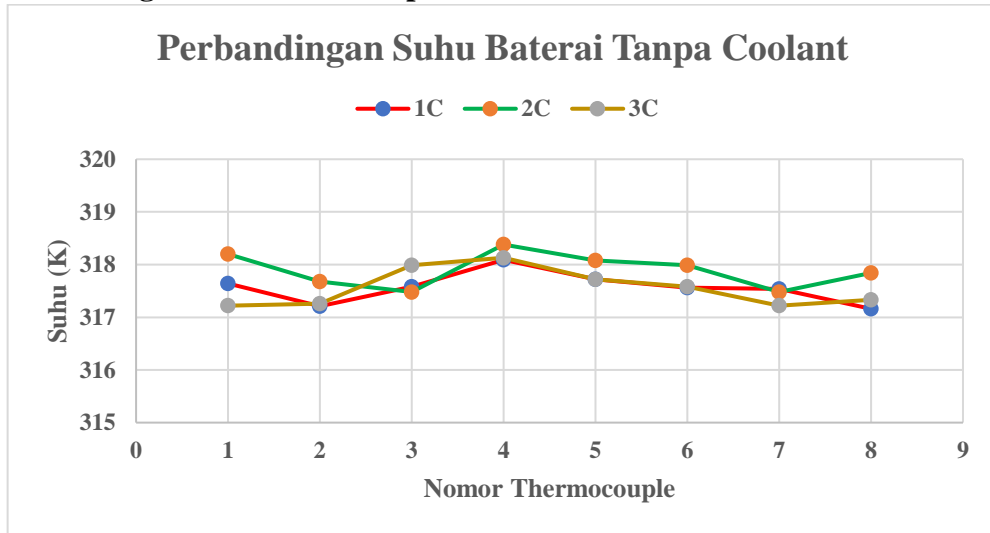
Gambar 4.16 Grafik Percobaan Tanpa Coolant Terhadap Waktu Beban 3C

Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara nomor T/C dan suhu pada percobaan tanpa *coolant* dengan variasi beban 3C. Sumbu X menunjukkan nomor *thermocouple* yang dipasang pada pada *Twall* baterai, sedangkan sumbu Y menunjukkan suhu dalam Kelvin. Suhu baterai mengalami fluktuasi ringan sepanjang nomor T/C yang berbeda. Suhu tertinggi tercatat pada Nomor T/C 4 dengan 318,13K dan suhu terendah tercatat pada Nomor T/C 1 dengan 317,22K.

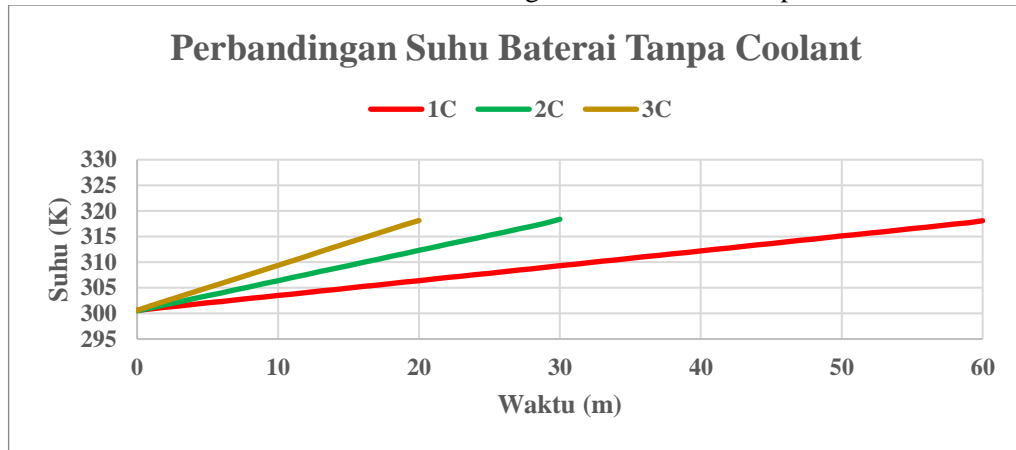
Tabel 4.15 Data Percobaan 3C

Parameter	Keterangan
Waktu Running	20 Menit
Voltase	26,3 V
Arus	8,4 A
Hambatan	3,3 Ohm
Daya	220,92 W

4.4.4 Perbandingan Percobaan Tanpa Coolant



Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Suhu Baterai Tanpa Coolant



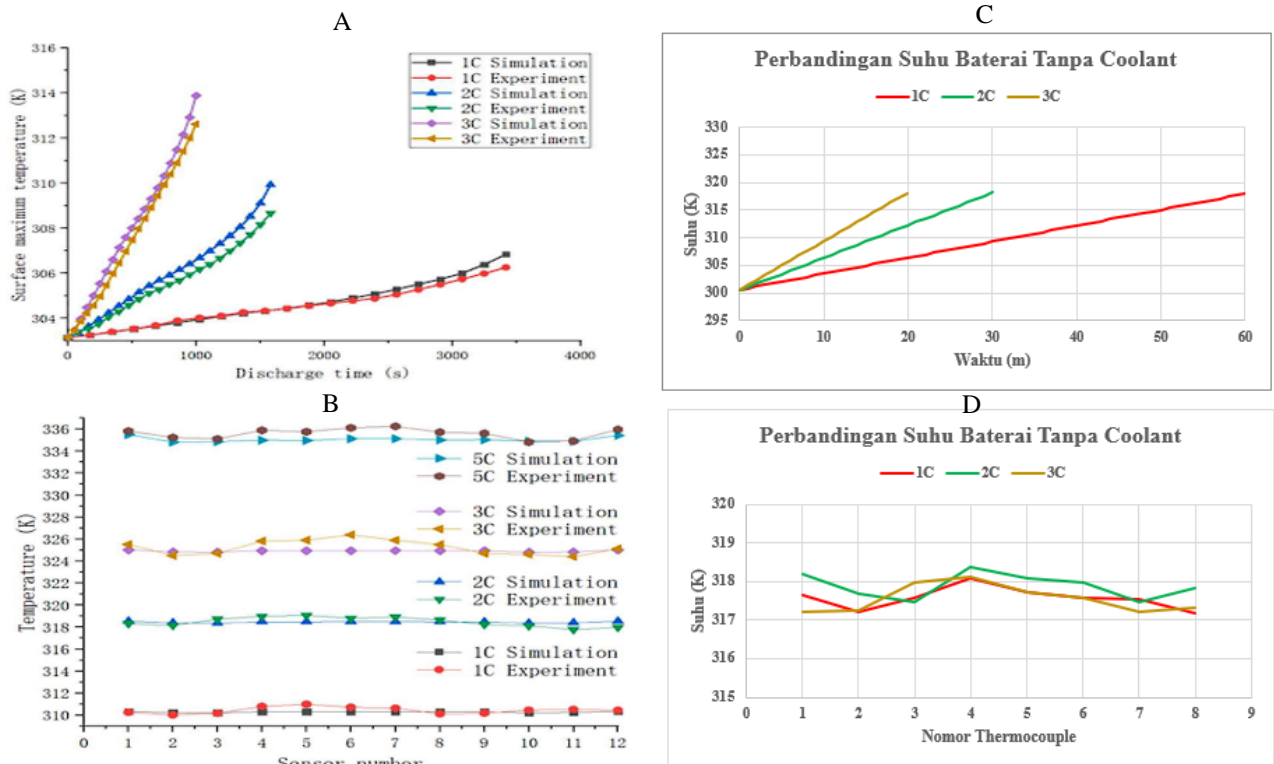
Gambar 4. 18 Grafik Percobaan Tanpa Coolant Terhadap Waktu

Berdasarkan nomor *thermocouple*, suhu baterai tanpa *coolant* menunjukkan distribusi yang cukup merata dengan sedikit fluktuasi di sekitar nomor *thermocouple* tertentu, terutama nomor 4. Pada grafik waktu, suhu baterai tanpa *coolant* meningkat seiring waktu. Tingkat pengisian yang lebih tinggi (2C dan 3C) menyebabkan peningkatan suhu yang lebih cepat dan lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat pengisian 1C.

Berikut merupakan perbandingan dengan jurnal dari *Prediction kodel of thermal behavior of lithium battery module under high charge-discharge rate* (Chengchum, 2023) untuk suhu baterai tanpa *coolant*.

Tabel 4. 16 Parameter Percobaan Dari Jurnal (Chengchum, 2023)

Parameter Name	Value	Unit
Cathode Material	LiFePO4	\
Anode Material	Graphite	\
Electrolyte	Carbonate Based	PE
Energy Density	130	w/kg
Nominal Capacity	50	Ah
Nominal Voltage	3,2	V
Maximum Cutt-Off Potential	3,65	V

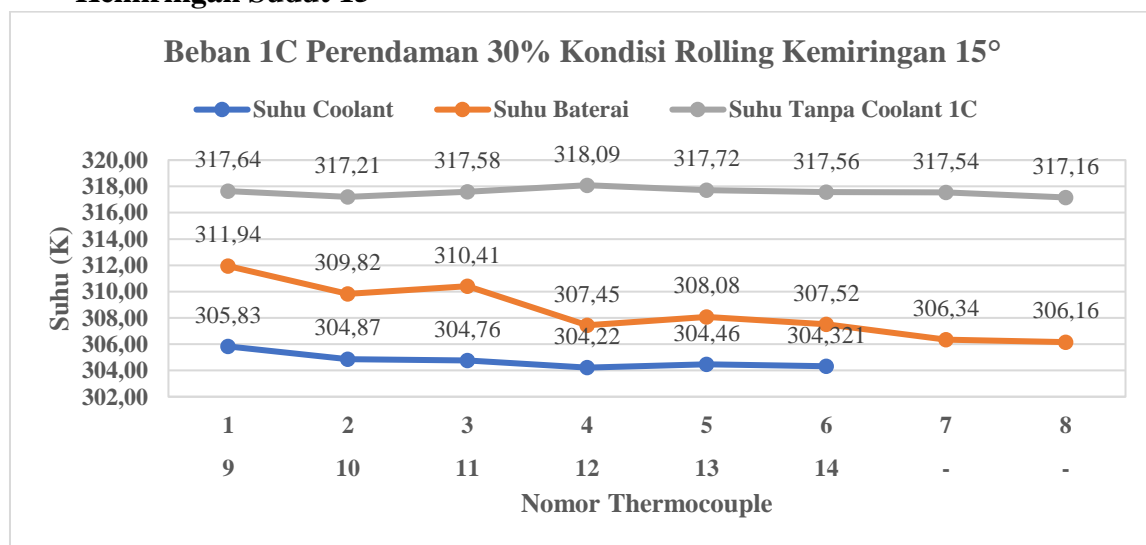


Gambar 4. 19 Perbandingan Suhu Baterai Tanpa *Coolant* Dengan Penelitian Sebelumnya

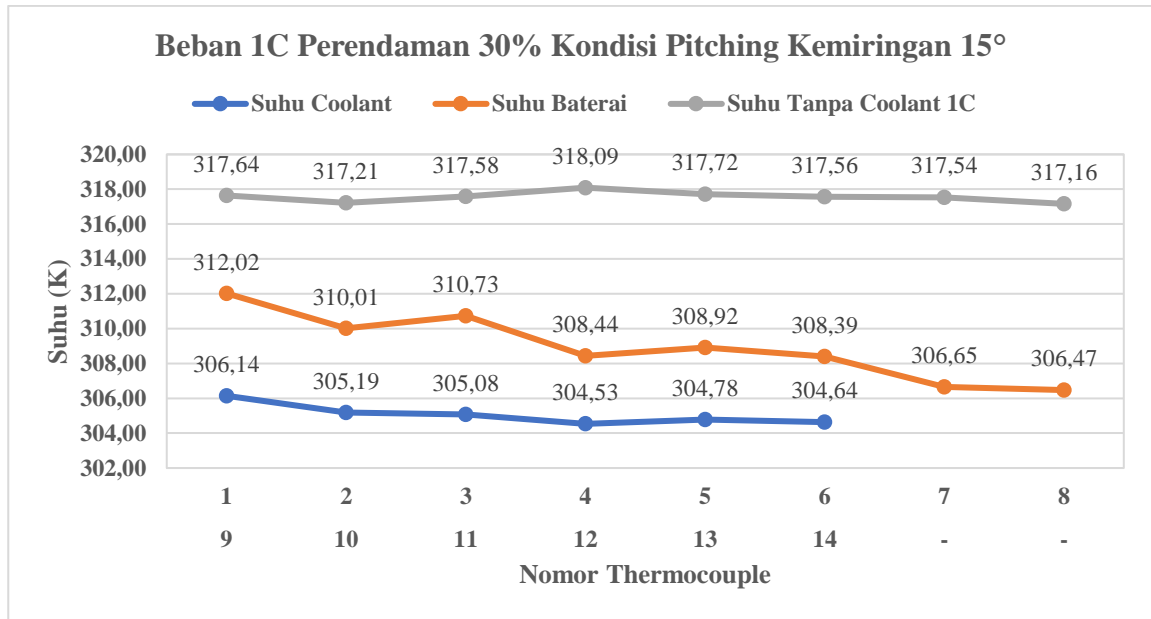
Gambar A dan B merupakan hasil data dari jurnal *Prediction kodel of thermal behavior of lithium battery module under high charge-discharge rate* (Chengchum, 2023), sedangkan gambar C dan D merupakan hasil percobaan pada penelitian ini. Pada grafik perbandingan suhu baterai tanpa *coolant* terhadap waktu, terlihat grafik memiliki tren yang sama dengan penelitian sebelumnya. Sedangkan pada grafik perbandingan suhu baterai tanpa *coolant* terhadap nomor *thermocouple*, terlihat bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini dikarenakan perbedaan penempatan nomor T/C dan kondisi lingkungan sekitar.

4.5 Beban 1C dengan Variasi Perendaman Kondisi *Rolling* dan *Pitching*

4.5.1 Beban 1C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 15°



Gambar 4. 20 Grafik Beban 1C Perendaman 30% Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°



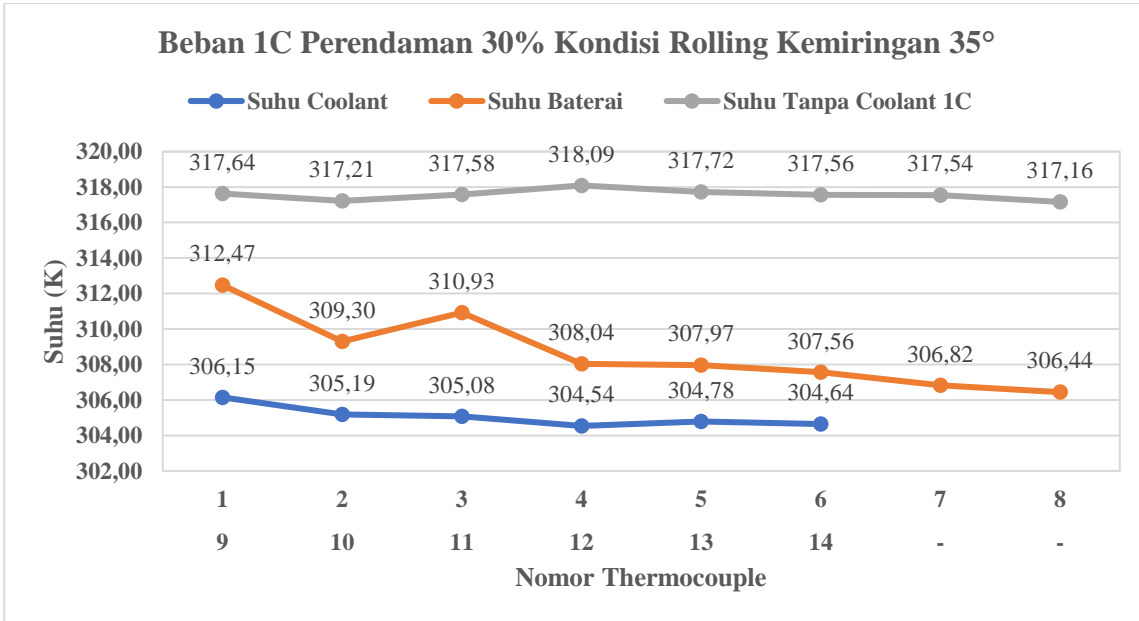
Gambar 4. 21 Grafik Beban 1C Perendaman 30% Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 1C variasi perendaman 30% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 310,41K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 307,45K. Sedangkan pada baterai ke 3 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 310,73K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 308,44K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 4 (T/C nomor 11) adalah 304,76K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 305,08K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* kemiringan 15° efektif pada beberapa baterai, tetapi kurang efektif pada baterai lainnya. Hal ini disebabkan oleh variasi kemiringan, sehingga level ketinggian *coolant* yang tidak merata.

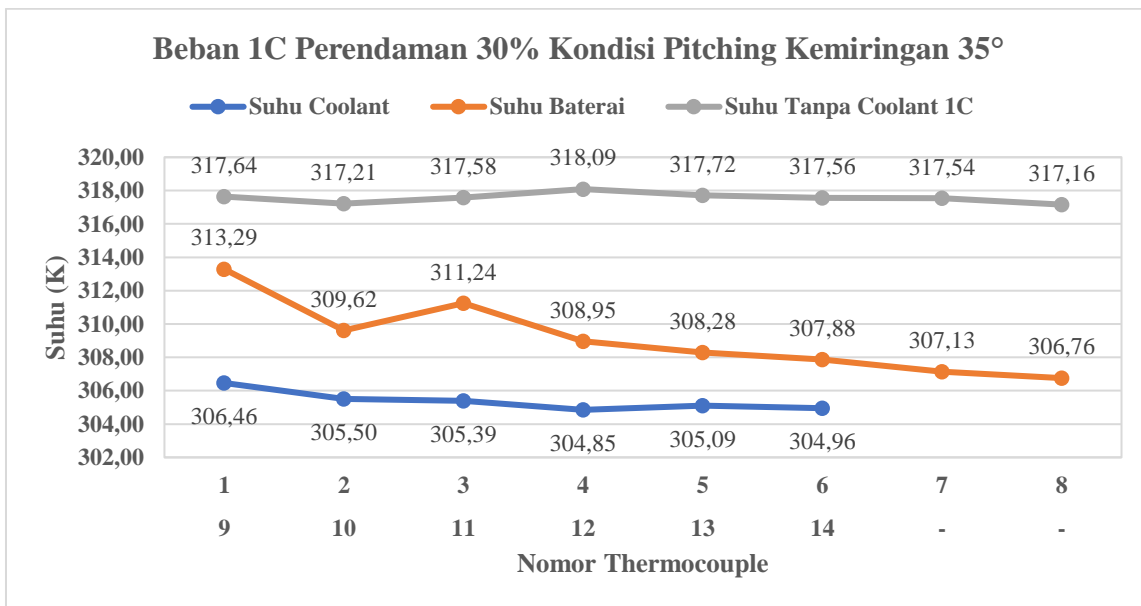
Tabel 4. 17 Data Beban 1C Perendaman 30% Rolling dan Pitching Sudut 15°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	308,46
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	308,95
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	304,74
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	305,06
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	296,42

4.5.2 Beban 1C Dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 35°



Gambar 4. 22 Grafik Beban 1C Perendaman 30% Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



Gambar 4. 23 Grafik Beban 1C Perendaman 30% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

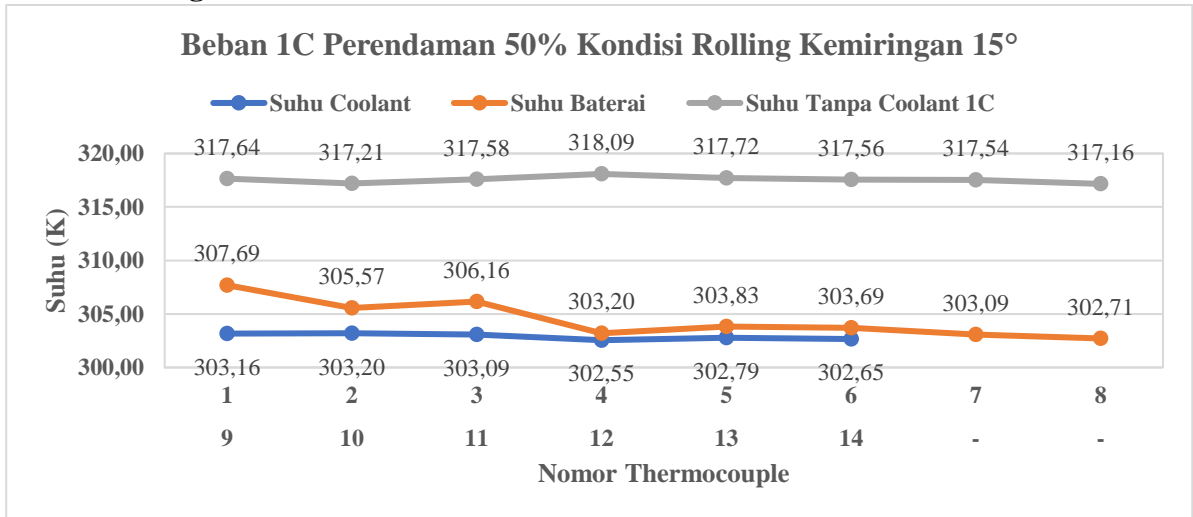
Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 1C variasi perendaman 30% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 35°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 310,93K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 308,04K. Sedangkan pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 311,24K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 308,95K. Untuk kondisi *Rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 305,08K, sedangkan

untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 305,39K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* kemiringan. 35° efektif pada beberapa baterai, tetapi kurang efektif pada baterai lainnya. Hal ini disebabkan oleh variasi kemiringan, sehingga level ketinggian *coolant* yang tidak merata.

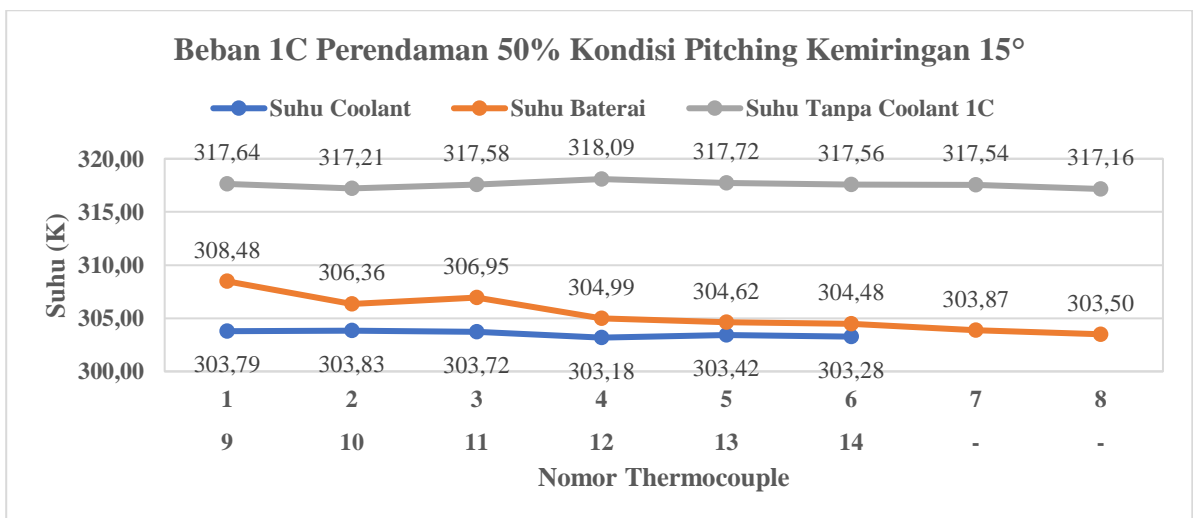
Tabel 4. 18 Data Beban 1C Perendaman 30% Rolling dan Pitching Sudut 35°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	308,69
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	309,14
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	305,06
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	305,38
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	297,38

4.5.3 Beban 1C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 15°



Gambar 4. 24 Grafik Beban 1C Perendaman 50% Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°



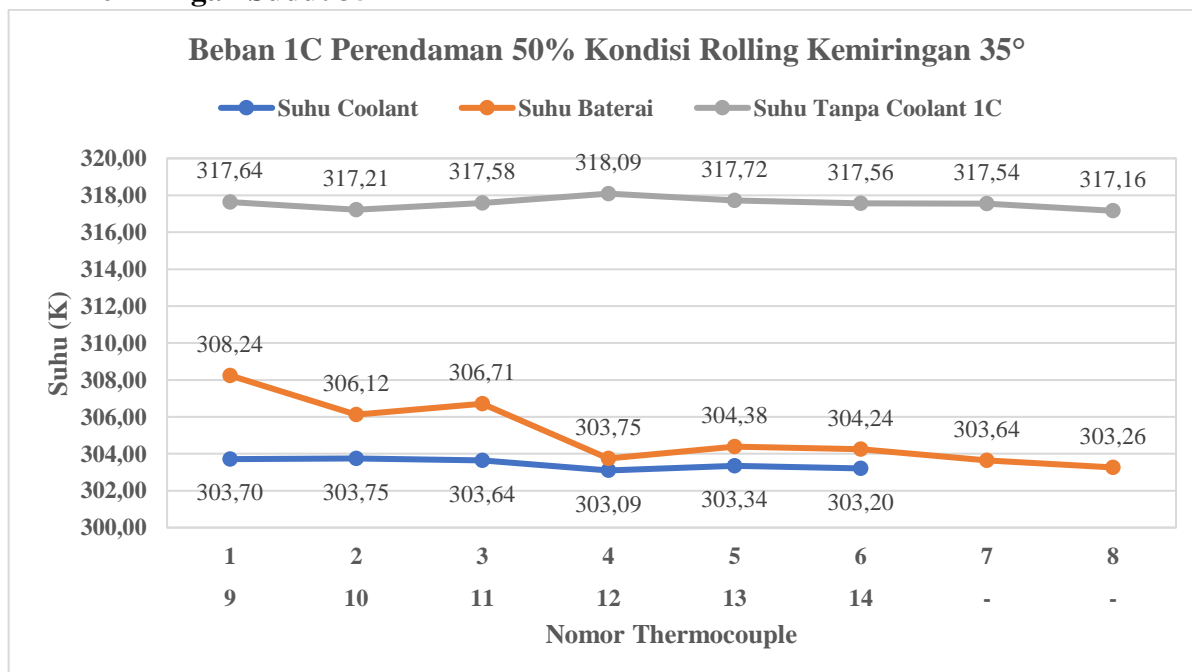
Gambar 4. 25 Grafik Beban 1C Perendaman 50% Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 1C variasi perendaman 50% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 306,16K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 303,20K. Pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 306,95K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 304,99K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 303,09K, sedangkan untuk kondisi *Pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 303,72K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan sudut 15° efektif pada semua baterai.

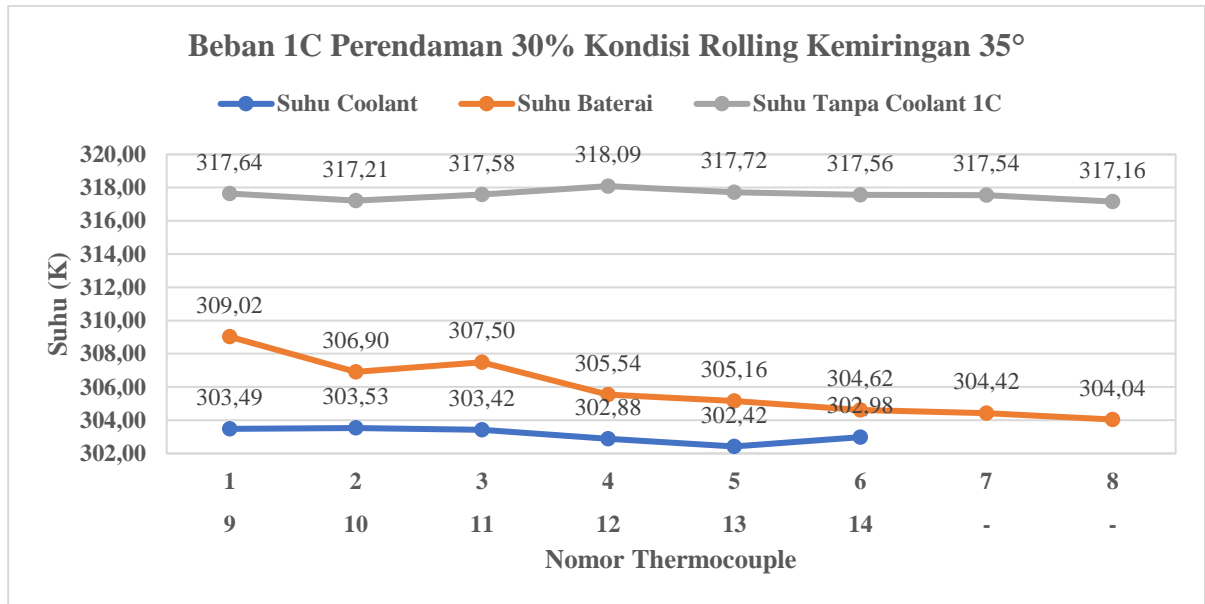
Tabel 4. 19 Data Beban 1C Perendaman 50% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 15°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	304,49
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	304,49
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	302,91
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	303,54
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	296,87

4.5.4 Beban 1C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 35°



Gambar 4. 26 Grafik Beban 1C Perendaman 50% Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



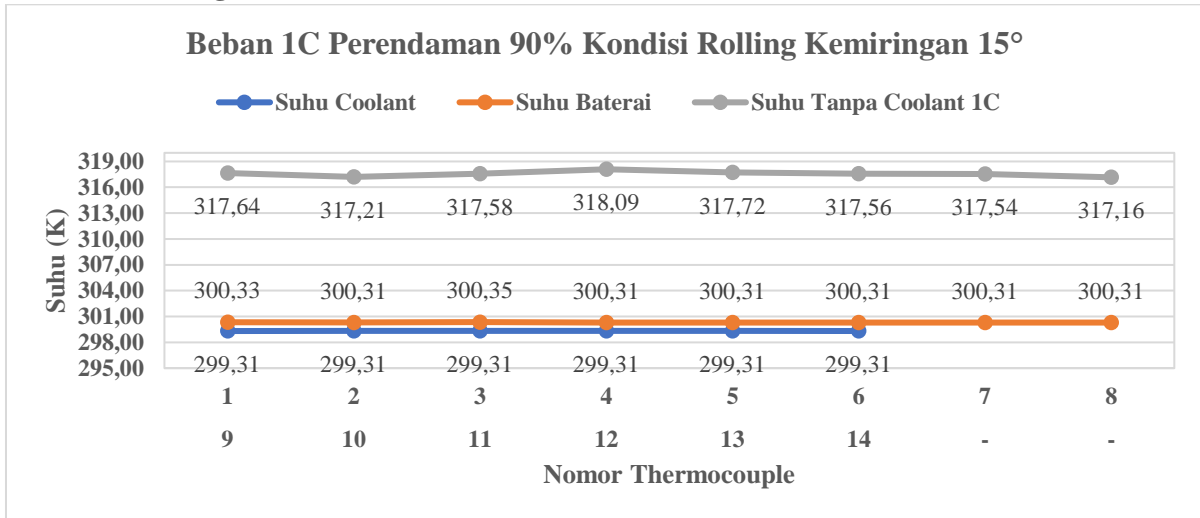
Gambar 4. 27 Grafik Beban 1C Perendaman 50% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 1C variasi perendaman 50% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 35°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 306,71K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 303,75K. Pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 307,50K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 305,54K. Untuk kondisi *Rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 303,64K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 303,42K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan sudut 35° efektif pada semua baterai.

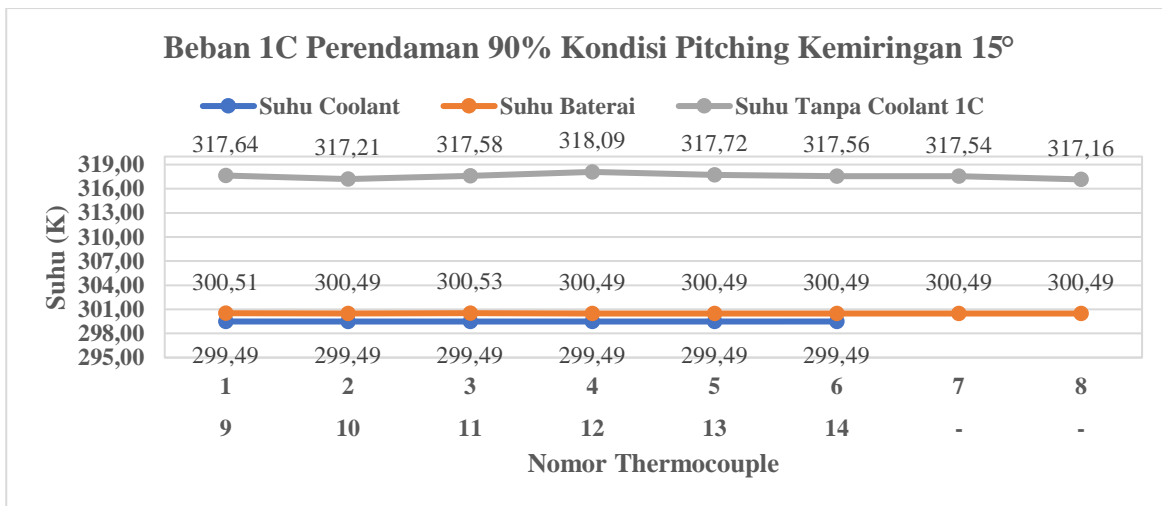
Tabel 4. 20 Data Beban 1C Perendaman 50% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 35°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	304,49
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	305,40
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	303,45
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	303,12
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	295,87

4.5.5 Beban 1C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 15°



Gambar 4. 28 Grafik Beban 1C Perendaman 90% Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°



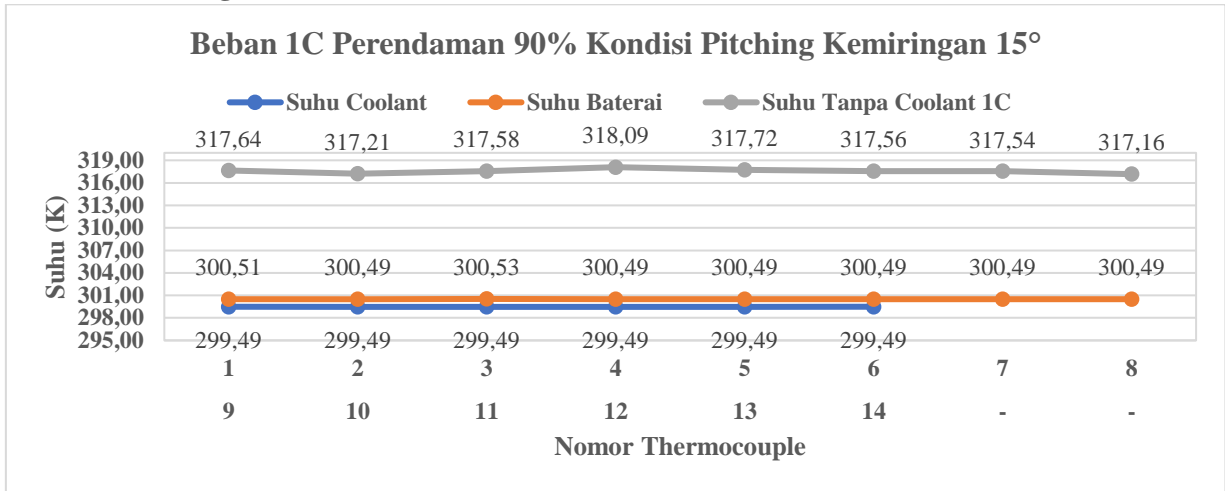
Gambar 4. 29 Grafik Beban 1C Perendaman 90% Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 1C variasi perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor thermocouple. Grafik ini menunjukkan bahwa perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* pada kemiringan 15° dapat menurunkan suhu baterai secara signifikan. Hal ini terlihat dari tren suhu baterai dan suhu thermocouple yang terlihat stabil di angka 300K dan 299,40K.

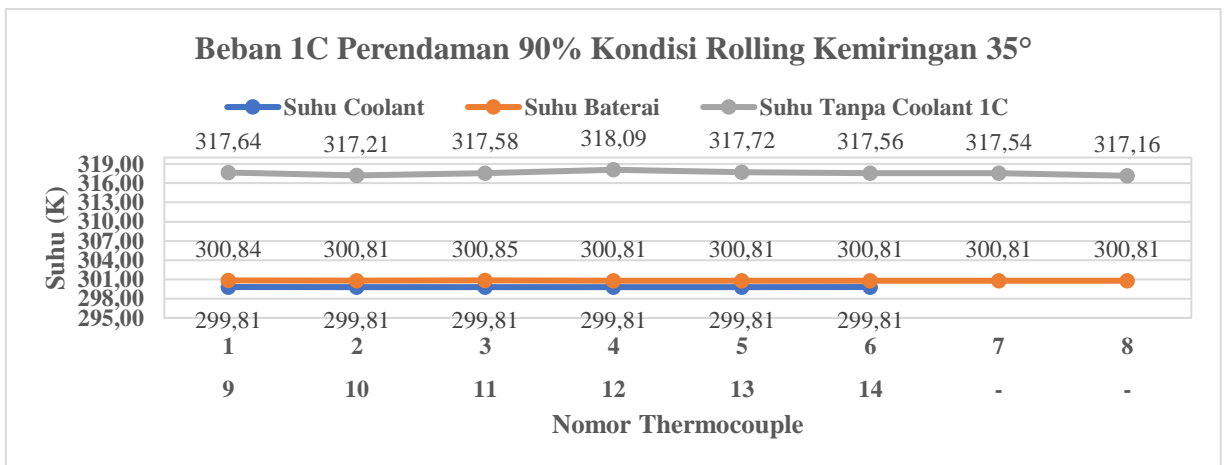
Tabel 4. 21 Data Beban 1C Perendaman 90% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 15°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	300,32
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	300,50
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	299,31
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	299,49
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	297,04

4.5.6 Beban 1C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 35°



Gambar 4. 30 Grafik Beban 1C Perendaman 90% Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



Gambar 4. 31 Grafik Beban 1C Perendaman 90% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

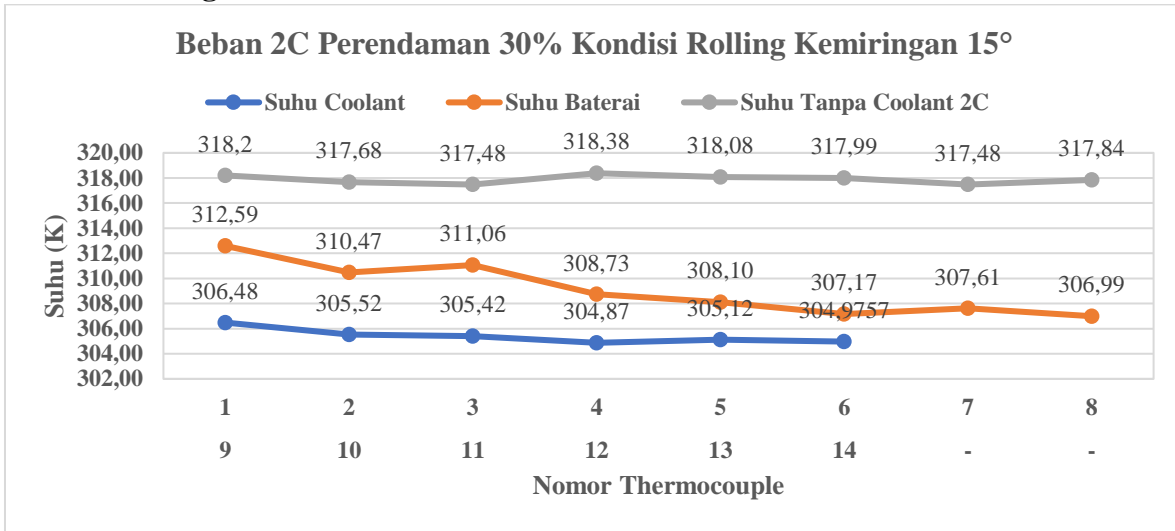
Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 1C variasi perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 35°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Grafik ini menunjukkan bahwa perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* pada kemiringan 15° dapat menurunkan suhu baterai secara signifikan. Hal ini terlihat dari tren suhu baterai dan suhu *thermocouple* yang terlihat stabil pada angka 300K dan 299,90K.

Tabel 4. 22 Data Beban 1C Perendaman 90% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 35°

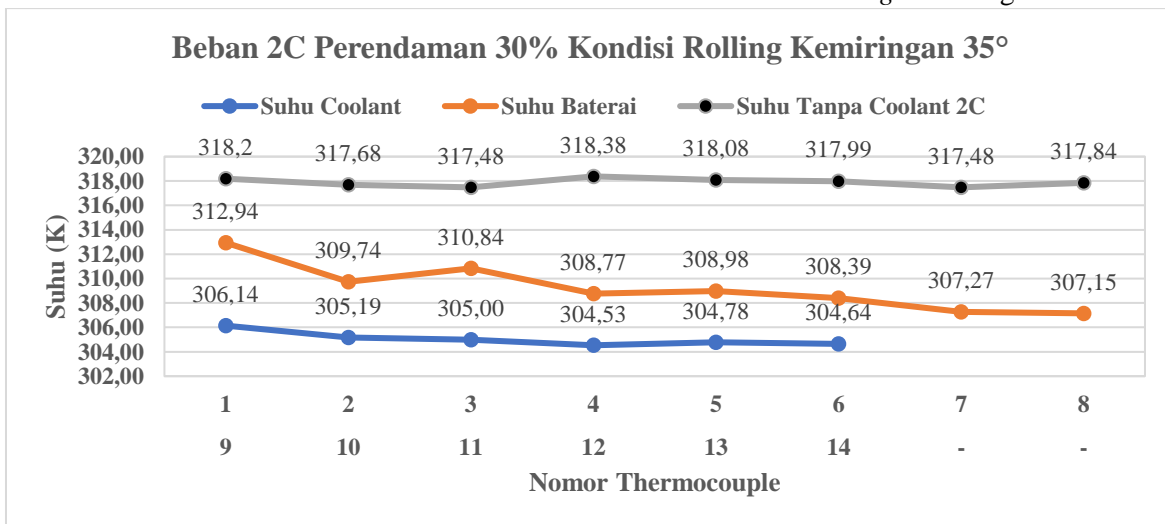
Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	300,82
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	300,97
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	299,81
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	299,99
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	294,64

4.6 Beban 2C dengan Variasi Perendaman Kondisi *Rolling* dan *Pitching*

4.6.1 Beban 2C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 15°



Gambar 4. 32 Grafik Beban 2C Perendaman 30% Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°



Gambar 4. 33 Grafik Beban 2C Perendaman 30% Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

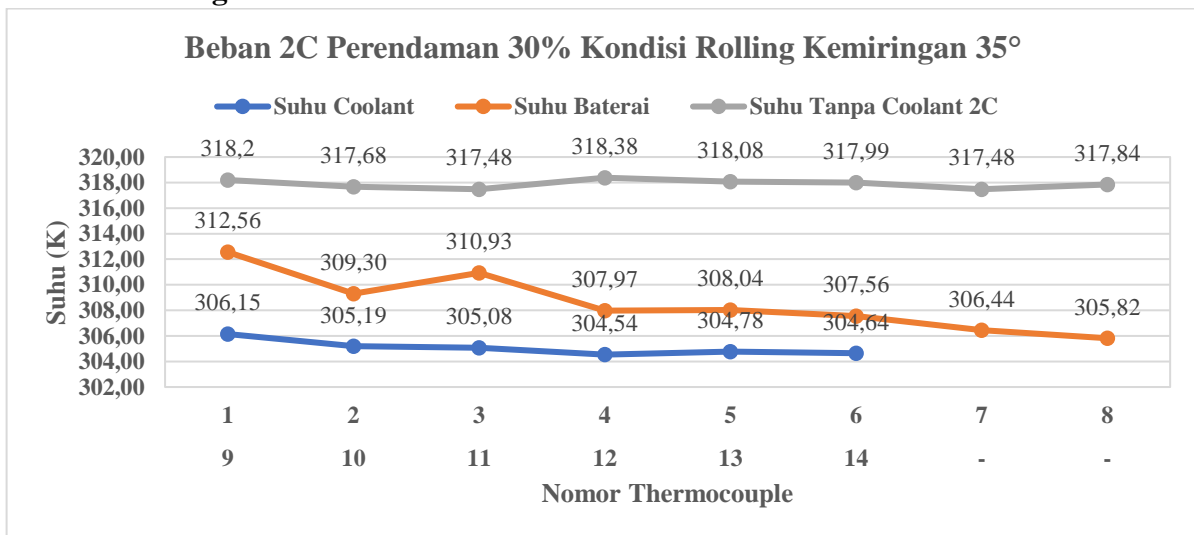
Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 2C variasi perendaman 30% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Untuk beban 2C waktu *discharge* baterai adalah 30 menit. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 311,06K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 308,73K. Sedangkan pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 310,84K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 308,77K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 305,42K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 305,08K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 15° efektif pada beberapa baterai, tetapi kurang efektif pada baterai lainnya.

Hal ini disebabkan oleh variasi kemiringan, sehingga level ketinggian *coolant* yang tidak merata.

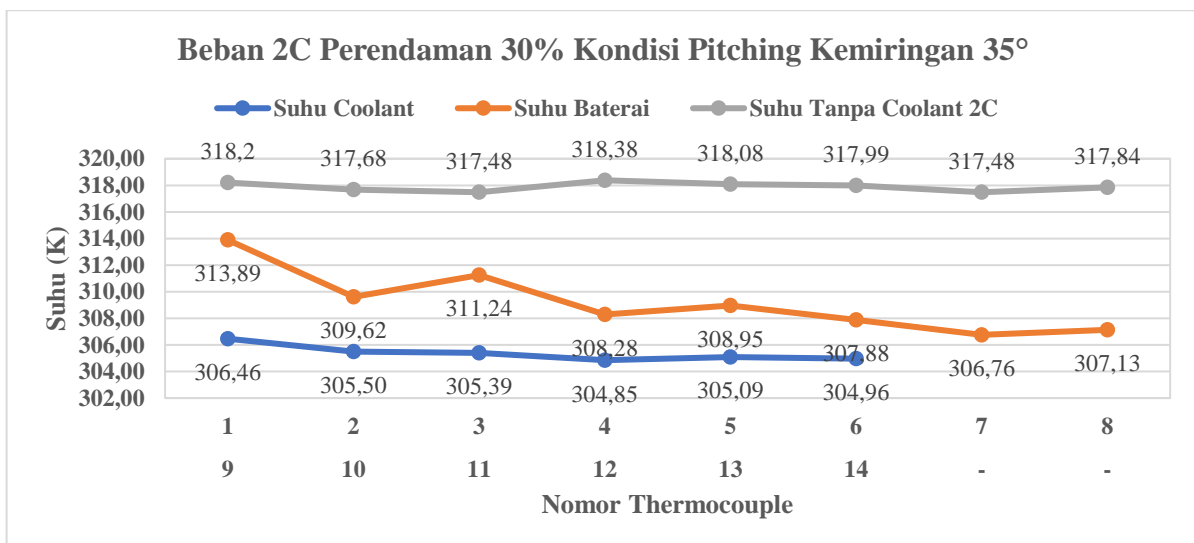
Tabel 4. 23 Data Beban 2C Perendaman 30% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 15°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	309,09
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	309,26
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	305,40
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	305,05
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,89
Suhu udara sekitar	296,42

4.6.2 Beban 2C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 35°



Gambar 4. 34 Grafik Beban 2C Perendaman 30% Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



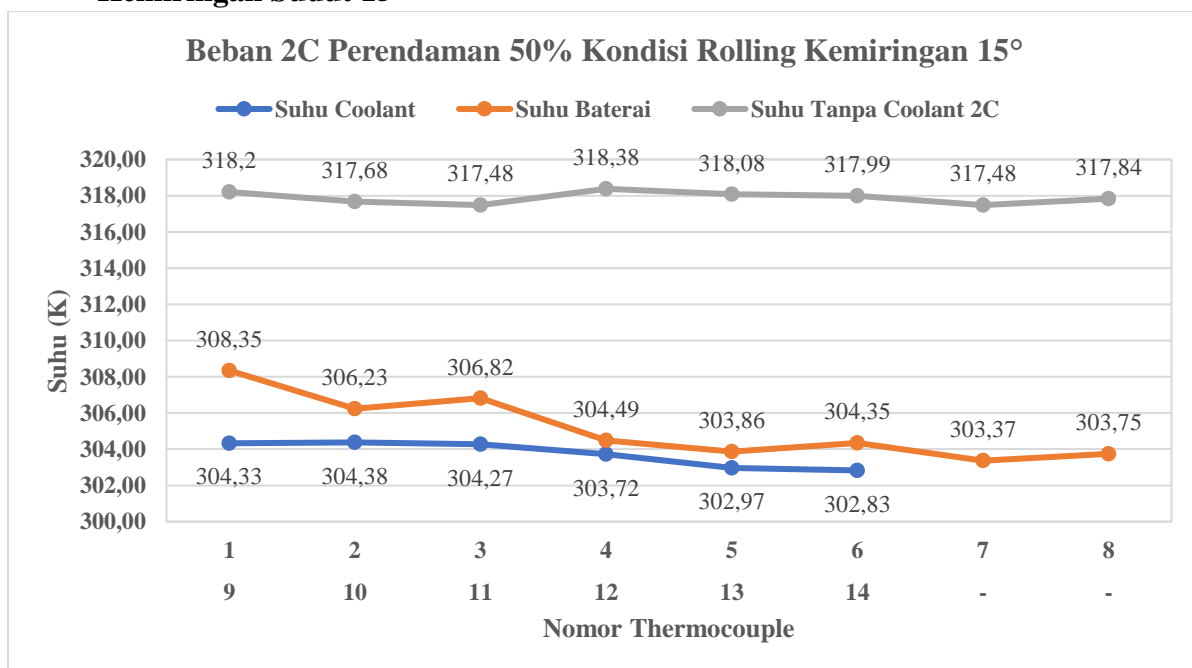
Gambar 4. 35 Grafik Beban 2C Perendaman 30% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 2C variasi perendaman 30% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 35°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Untuk beban 2C waktu *discharge* baterai adalah 30 menit. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 310,93K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 307,97K. Sedangkan pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 311,24K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 308,28K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 305,08K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 305,39K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 35° efektif pada beberapa baterai, tetapi kurang efektif pada baterai lainnya. Hal ini disebabkan oleh variasi kemiringan yang lebih tinggi, sehingga level ketinggian *coolant* yang tidak merata.

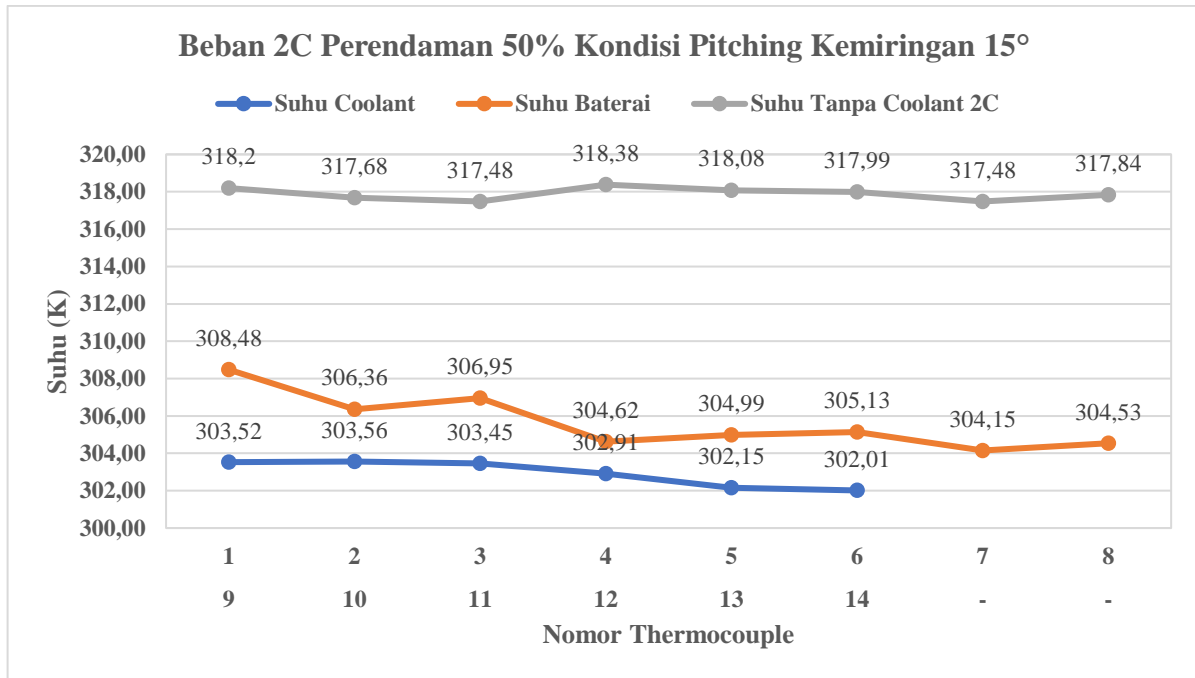
Tabel 4. 24 Data Beban 2C Perendaman 30% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 35°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	308,58
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	309,22
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	305,06
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	305,38
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,89
Suhu udara sekitar	297,38

4.6.3 Beban 2C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 15°



Gambar 4. 36 Grafik Beban 2C Perendaman 50% Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°



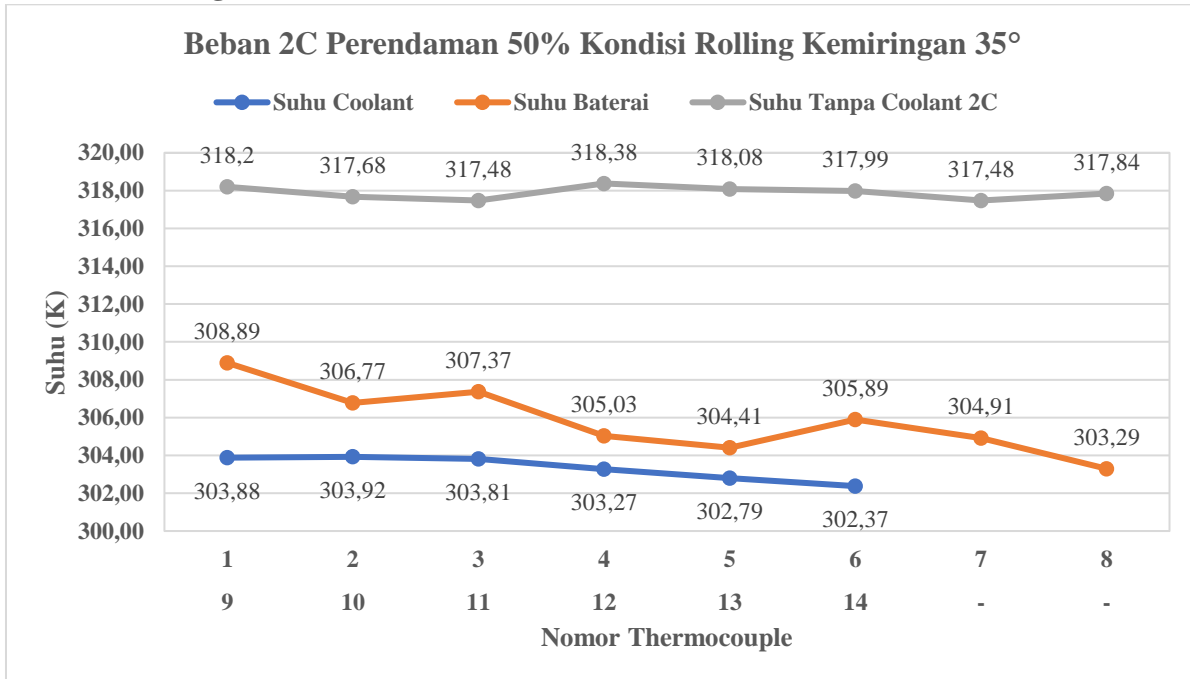
Gambar 4. 37 Grafik Beban 2C Perendaman 50% Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 2C variasi perendaman 50% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Untuk beban 2C waktu *discharge* baterai adalah 30 menit. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 306,82K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 304,49K. Pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 306,95K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 304,62K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 304,27K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 304,45K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 15° efektif pada beberapa baterai, tetapi kurang efektif pada baterai lainnya. Hal ini disebabkan oleh variasi kemiringan, sehingga level ketinggian *coolant* yang tidak merata.

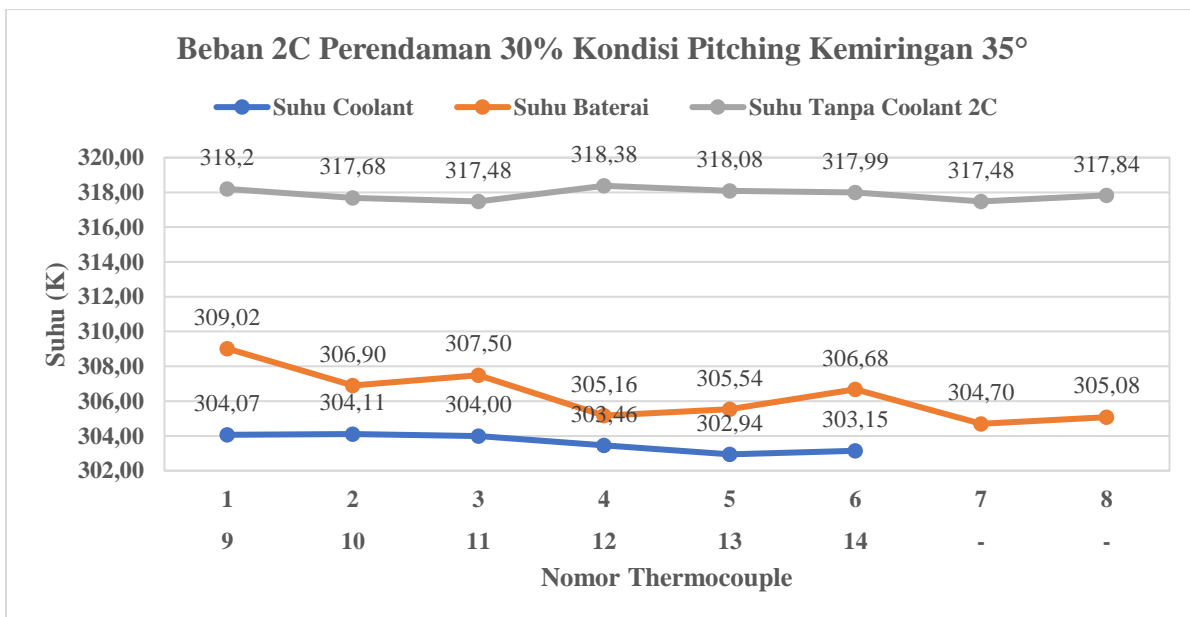
Tabel 4. 25 Data Beban 2C Perendaman 50% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 15°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	305,15
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	305,15
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	303,75
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	302,93
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,89
Suhu udara sekitar	296,87

4.6.4 Beban 2C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 35°



Gambar 4. 38 Grafik Beban 2C Perendaman 50% Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



Gambar 4. 39 Grafik Beban 2C Perendaman 50% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

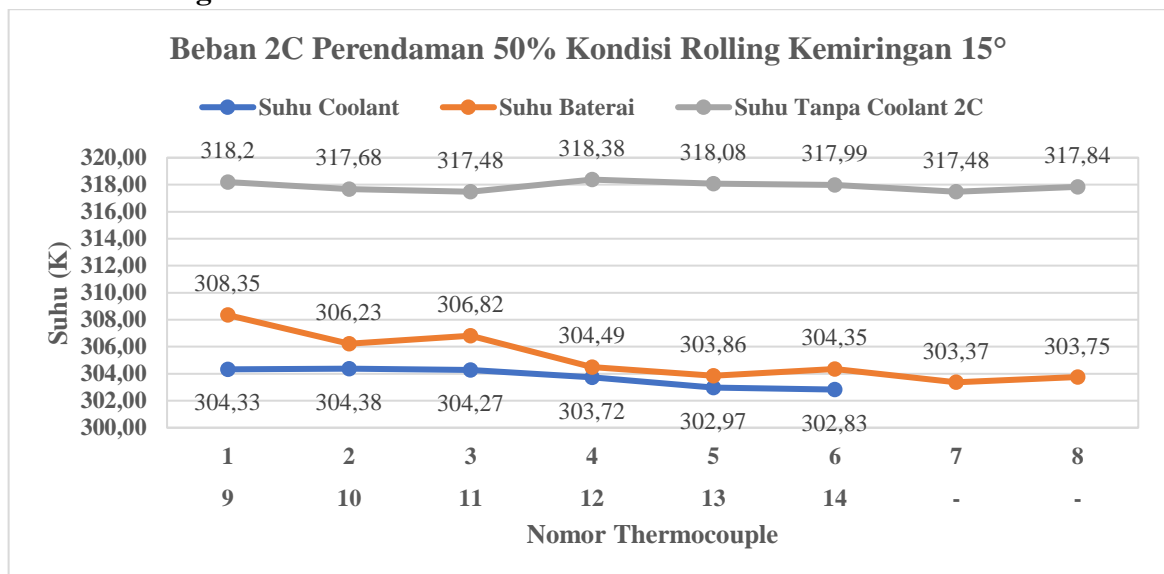
Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 2C variasi perendaman 30% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 35°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Untuk beban 2C waktu *discharge* baterai adalah 30 menit. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 307,37K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 305,03K. Pada baterai ke

4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 307,5K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 305,16K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 304,8K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 305K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 35° efektif pada beberapa baterai, tetapi kurang efektif pada baterai lainnya. Hal ini disebabkan oleh variasi kemiringan, sehingga level ketinggian *coolant* yang tidak merata.

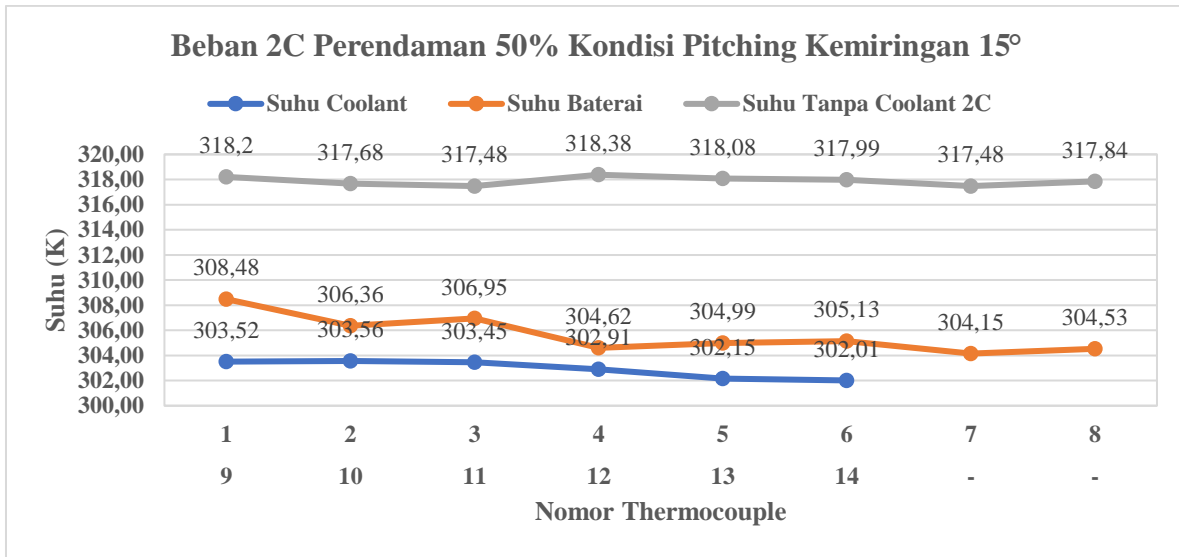
Tabel 4. 26 Data Beban 2C Perendaman 50% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 35°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	305,15
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	305,65
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	303,34
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	303,62
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,89
Suhu udara sekitar	295,87

4.6.5 Beban 2C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 15°



Gambar 4. 40 Grafik Beban 2C Perendaman 90% Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°



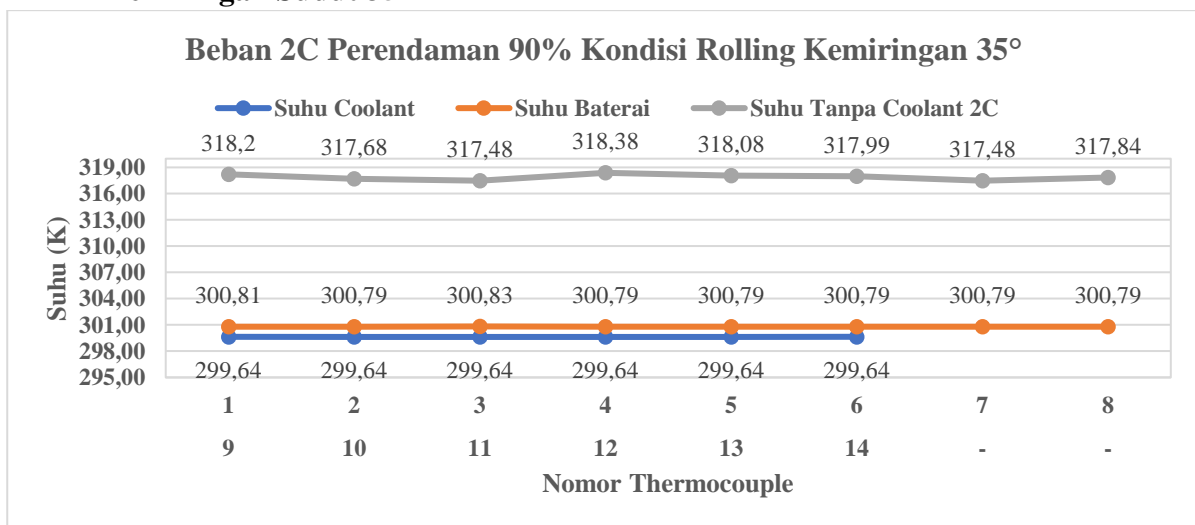
Gambar 4. 41 Grafik Beban 2C Perendaman 90% Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 2C variasi perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Grafik ini menunjukkan bahwa perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* pada kemiringan 15° dapat menurunkan suhu baterai secara signifikan. Hal ini terlihat dari tren suhu baterai dan suhu *thermocouple* yang terlihat stabil pada angka 300,24K dan 299,31K.

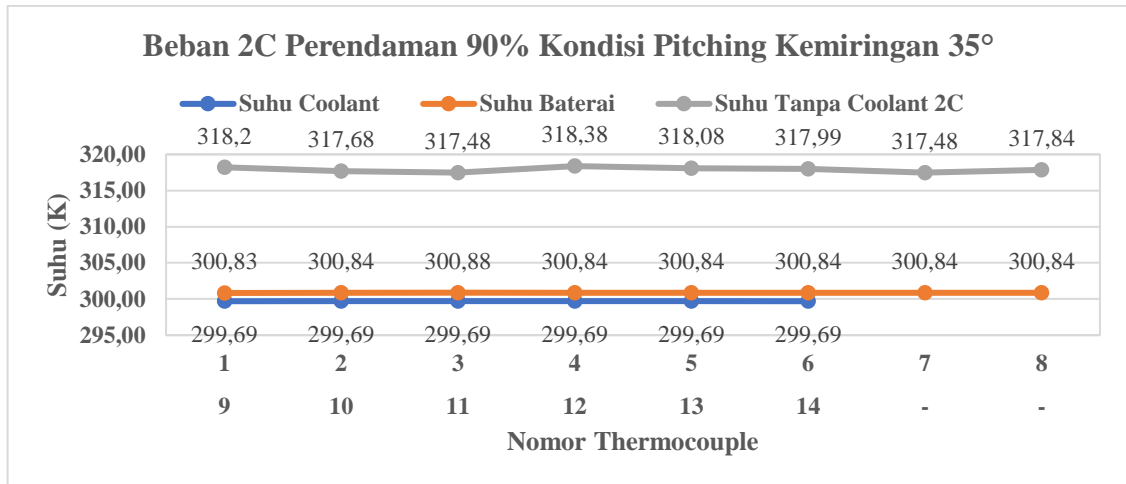
Tabel 4. 27 Data Beban 2C Perendaman 90% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 15°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	300,37
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	300,47
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	299,31
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	299,32
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,89
Suhu udara sekitar	297,04

4.6.6 Beban 2C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 35°



Gambar 4. 42 Grafik Beban 2C Perendaman 90% Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



Gambar 4. 43 Grafik Beban 2C Perendaman 90% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

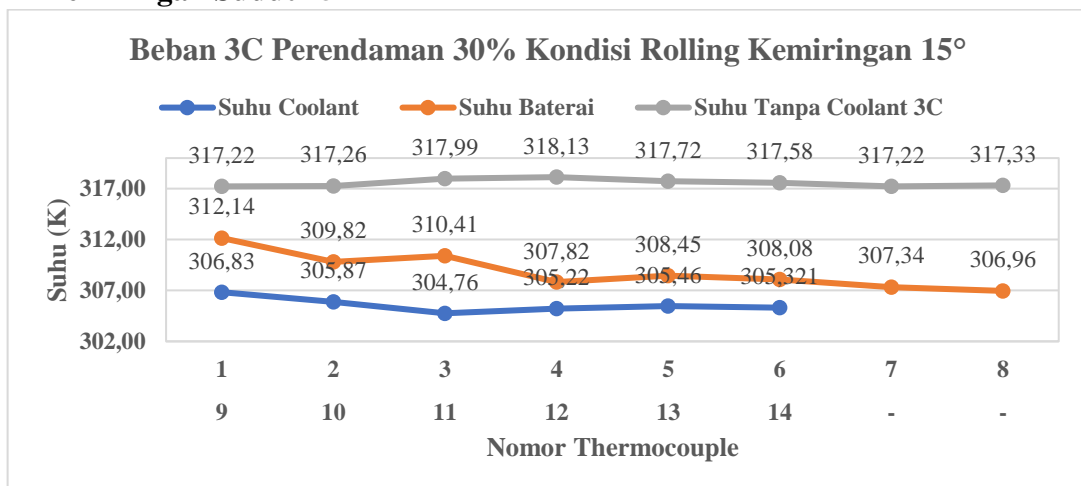
Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 2C variasi perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 35°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Grafik ini menunjukkan bahwa perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* pada kemiringan 35° dapat menurunkan suhu baterai secara signifikan. Hal ini terlihat dari tren suhu baterai dan suhu *coolant* yang terlihat stabil pada angka 300,84K dan 299,66K.

Tabel 4. 28 Data Beban 2C Perendaman 90% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 35°

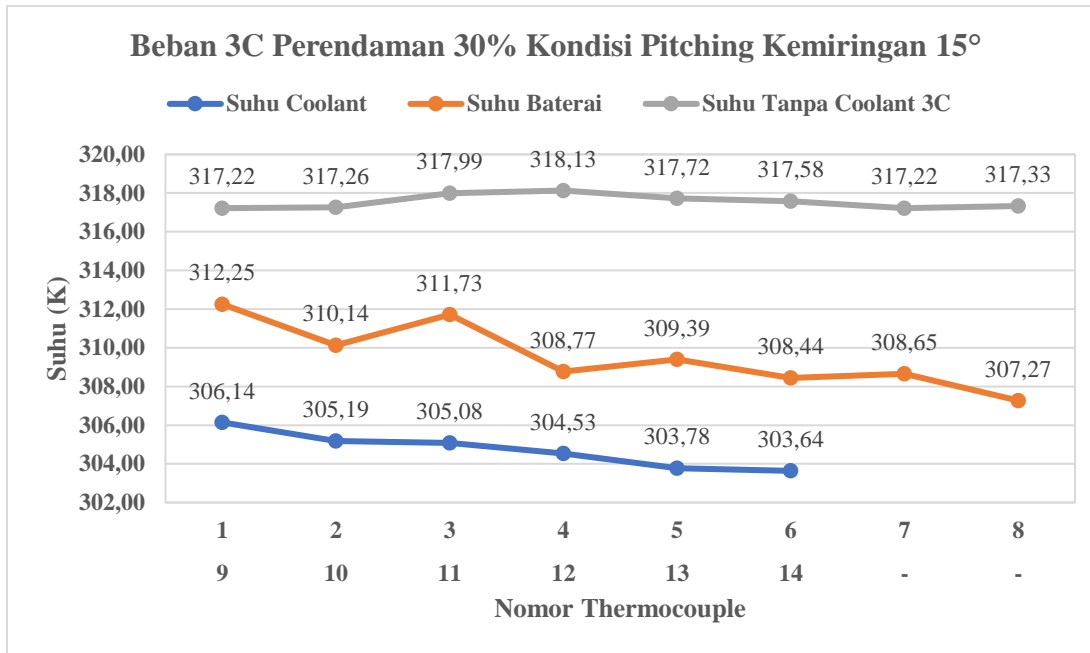
Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	300,80
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	300,84
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	299,64
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	299,69
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,89
Suhu udara sekitar	294,64

4.7 Beban 3C dengan Variasi Perendaman Kondisi *Rolling* dan *Pitching*

4.7.1 Beban 3C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 15°



Gambar 4. 44 Grafik Beban 3C Perendaman 30% Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°



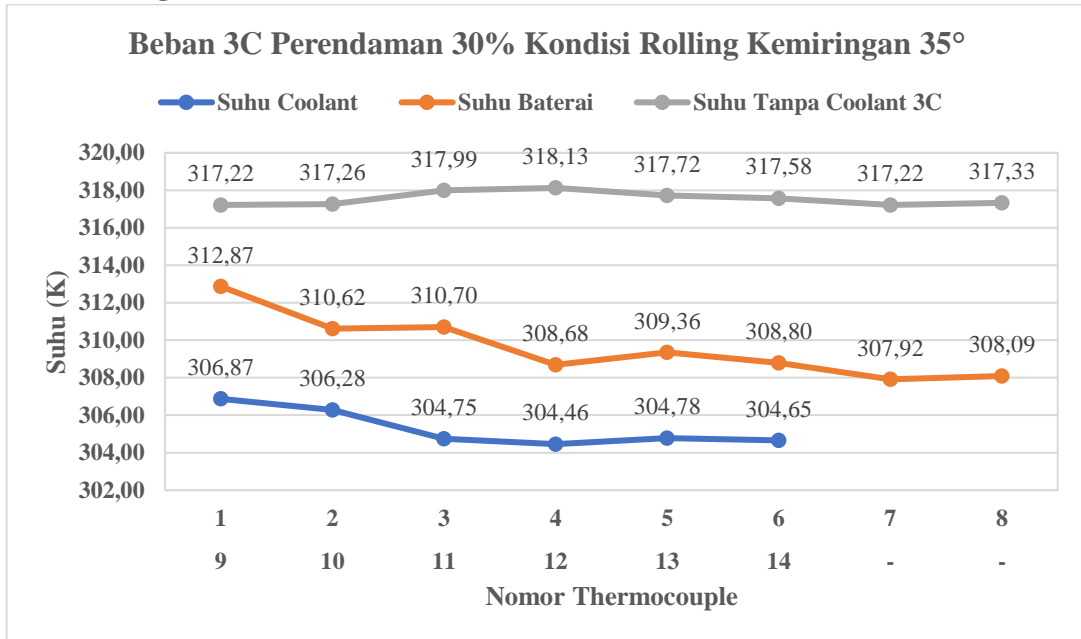
Gambar 4. 45 Grafik Beban 3C Perendaman 30% Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 3C variasi perendaman 30% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Untuk beban 3C waktu *discharge* baterai adalah 20 menit. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 310,41K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 307,52K. Sedangkan pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 310,73K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 307,77K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 304,76K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 305,08K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 15° efektif pada beberapa baterai, tetapi kurang efektif pada baterai lainnya. Hal ini disebabkan oleh variasi kemiringan, sehingga level ketinggian *coolant* yang tidak merata.

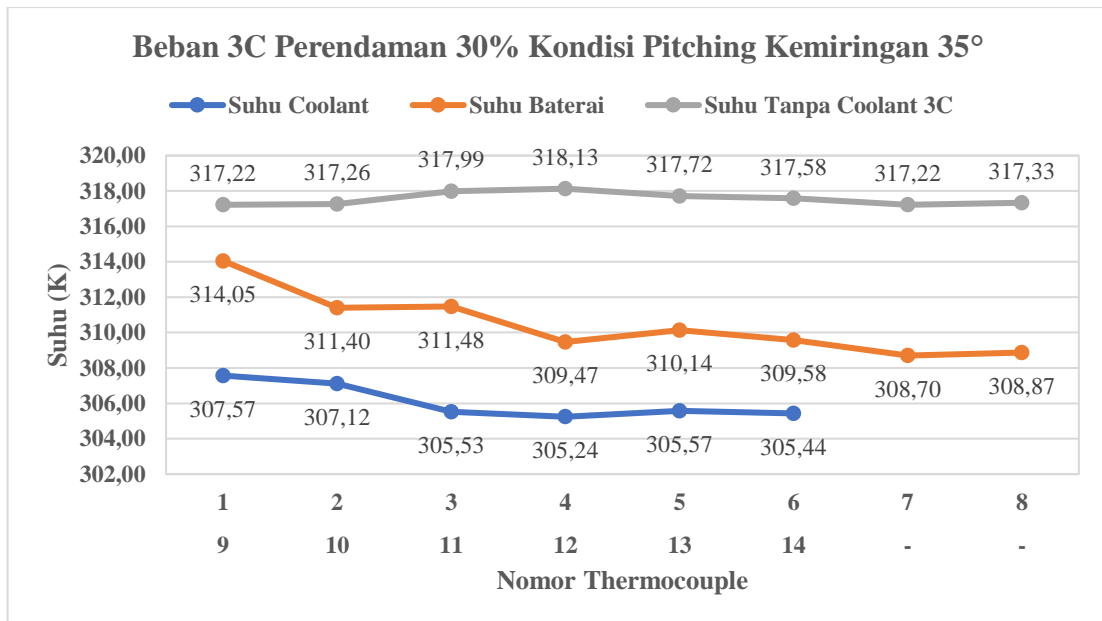
Tabel 4. 29 Data Beban 3C Perendaman 30% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 15°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	308,88
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	309,58
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	305,58
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	304,73
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	296,42

4.7.2 Beban 3C dengan Variasi Perendaman 30% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 35°



Gambar 4. 46 Grafik Beban 3C Perendaman 30% Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



Gambar 4. 47 Grafik Beban 3C Perendaman 30% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

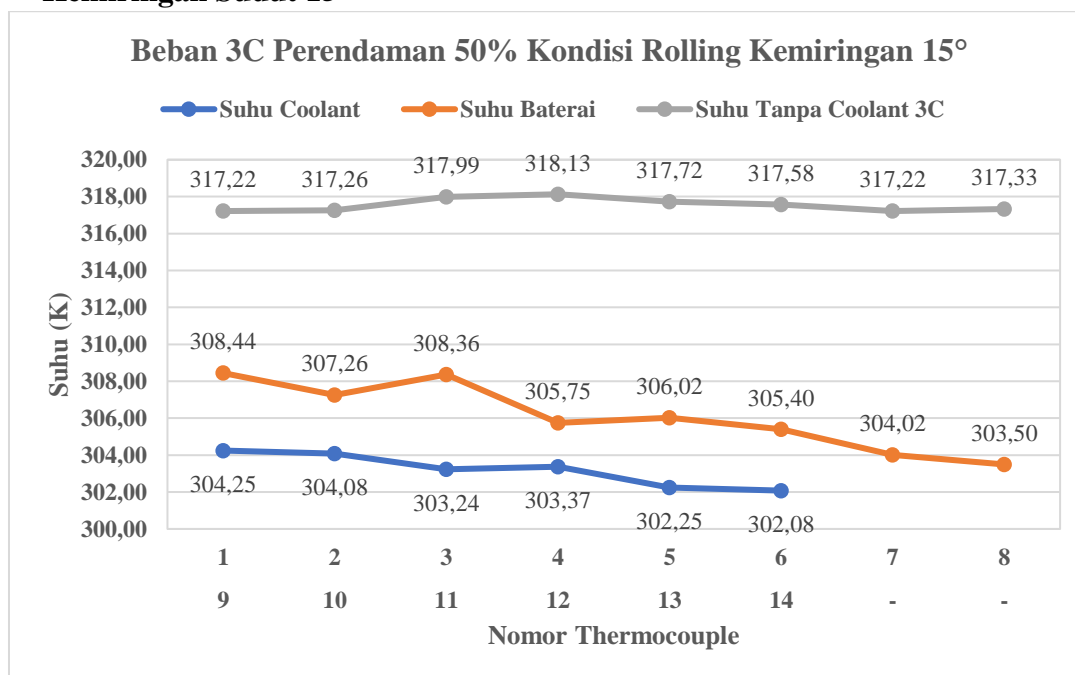
Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 3C variasi perendaman 30% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 35°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Untuk beban 3C waktu *discharge* baterai adalah 20 menit. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 310,70K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 308,68K. Pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan

suhu 311,48K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 309,47K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 304,75K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 305,53K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 35° efektif pada beberapa baterai, tetapi kurang efektif pada baterai lainnya. Hal ini disebabkan oleh variasi kemiringan, sehingga level ketinggian *coolant* yang tidak merata.

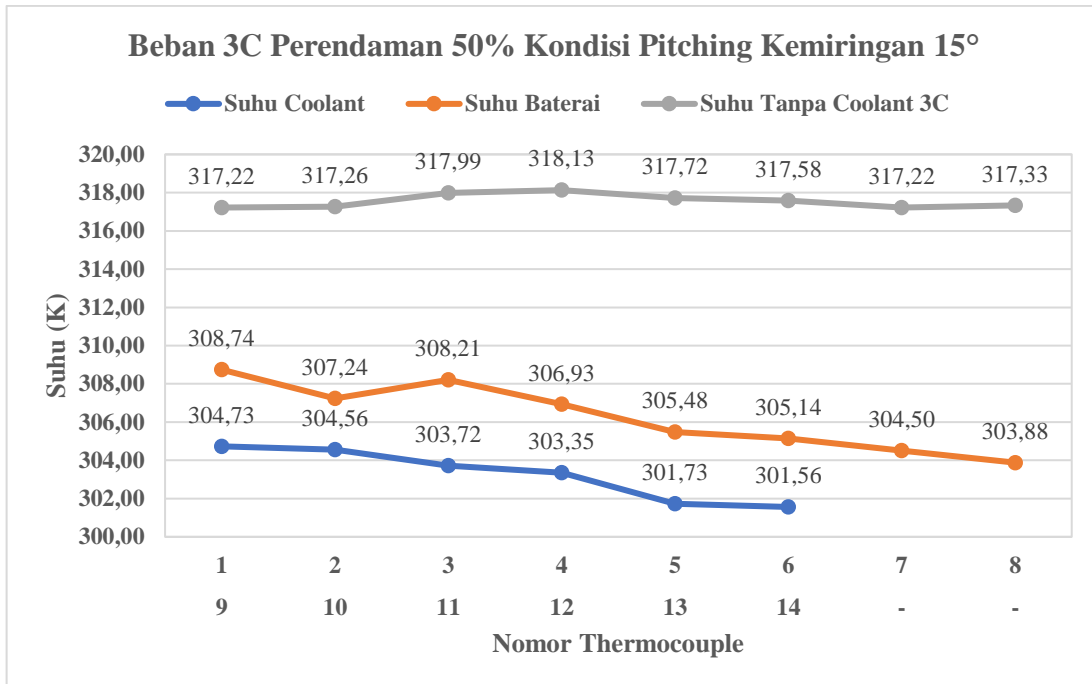
Tabel 4. 30 Data Beban 3C Perendaman 30% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 35°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	309,63
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	310,46
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	305,30
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	306,08
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	297,38

4.7.3 Beban 3C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 15°



Gambar 4. 48 Grafik Beban 3C Perendaman 50% Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°



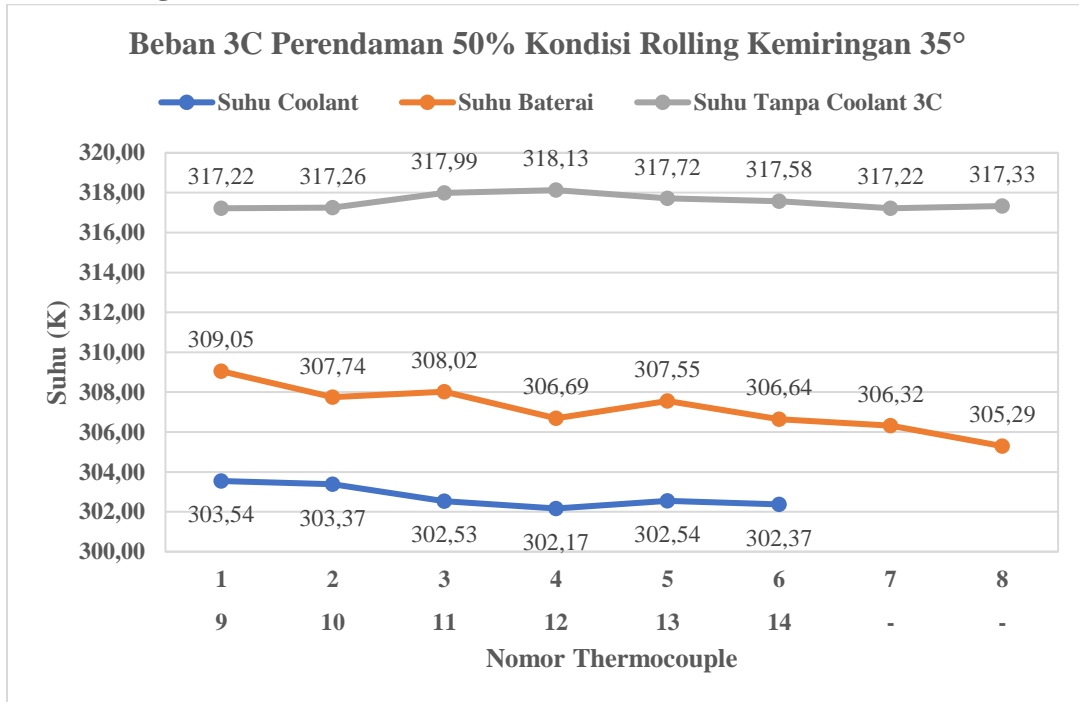
Gambar 4. 49 Grafik Beban 3C Perendaman 50% Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 3C variasi perendaman 50% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 306,66K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 305,75K. Pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 308,21K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 307,93K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 303,24K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 303,72K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada beban 3C kondisi *rolling* dan *pitching* variasi perendaman 50% kemiringan sudut 15° efektif pada semua baterai.

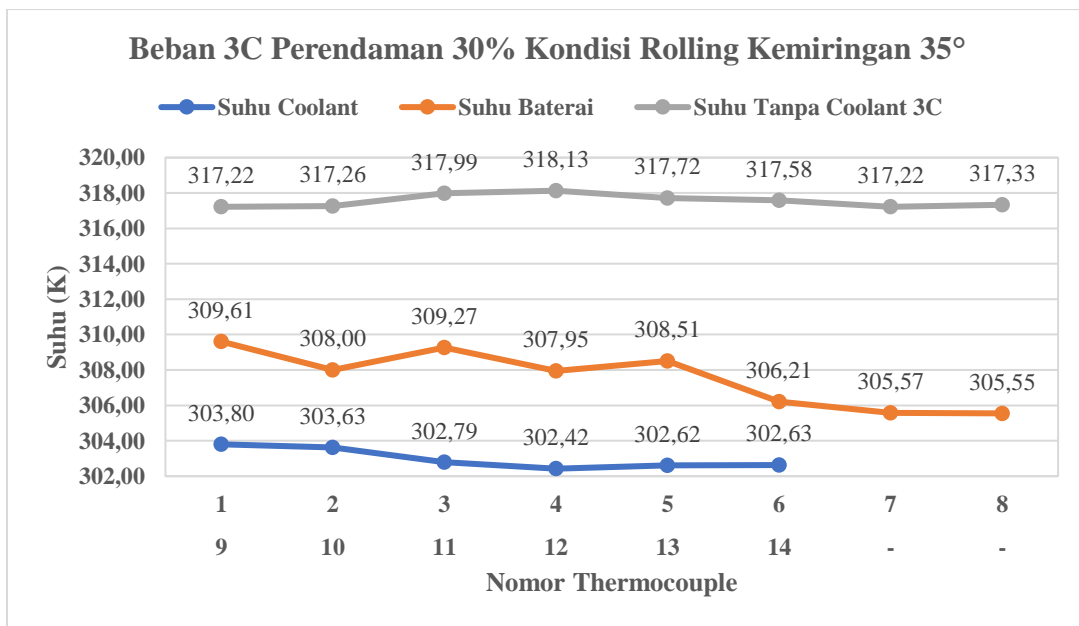
Tabel 4. 31 Data Beban 3C Perendaman 50% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 15°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	306,09
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	306,09
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	303,21
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	303,28
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	296,87

4.7.4 Beban 3C dengan Variasi Perendaman 50% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 35°



Gambar 4. 50 Grafik Beban 3C Perendaman 50% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°



Gambar 4. 51 Grafik Beban 3C Perendaman 50% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

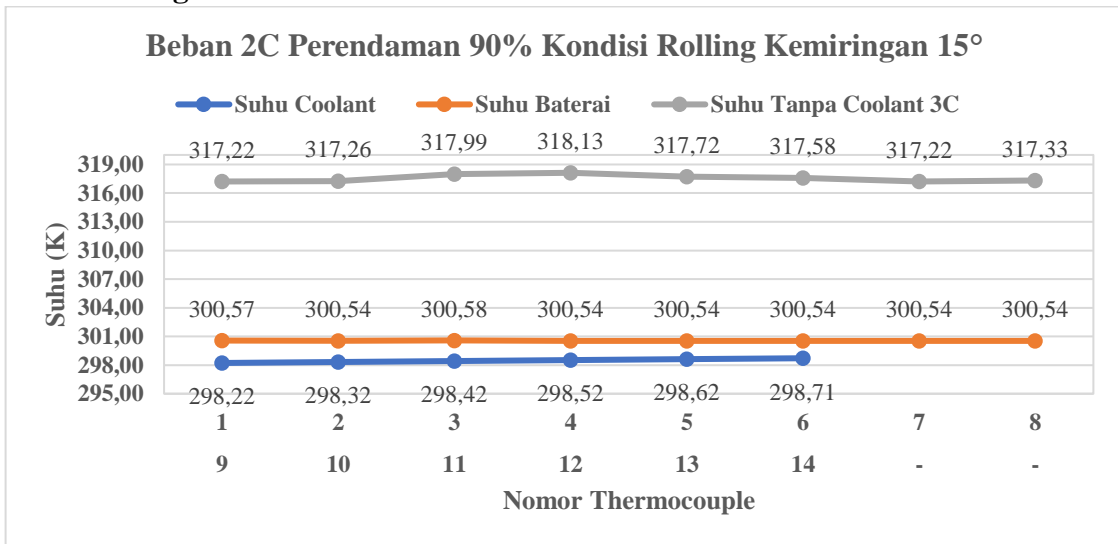
Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 3C variasi perendaman 50% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Pada grafik, suhu baterai dan suhu *coolant* umumnya menunjukkan tren yang sama. Suhu baterai selalu lebih tinggi daripada suhu *coolant*. Pada baterai ke 4 kondisi *rolling*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan suhu 306,66K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 305,75K. Sedangkan pada baterai ke 4 kondisi *pitching*, T/C nomor 3 (tidak tercelup) mendapatkan

suhu 308,21K, sedangkan T/C nomor 4 (tercelup) berada pada angka 307,93K. Untuk kondisi *rolling* suhu *coolant* sekitar baterai ke 3 (T/C nomor 11) adalah 303,24K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu *coolant* (T/C nomor 11) berada pada angka 303,72K. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pendinginan baterai pada beban 3C kondisi *rolling* dan *pitching* variasi perendaman 50% kemiringan sudut 15° efektif pada semua baterai.

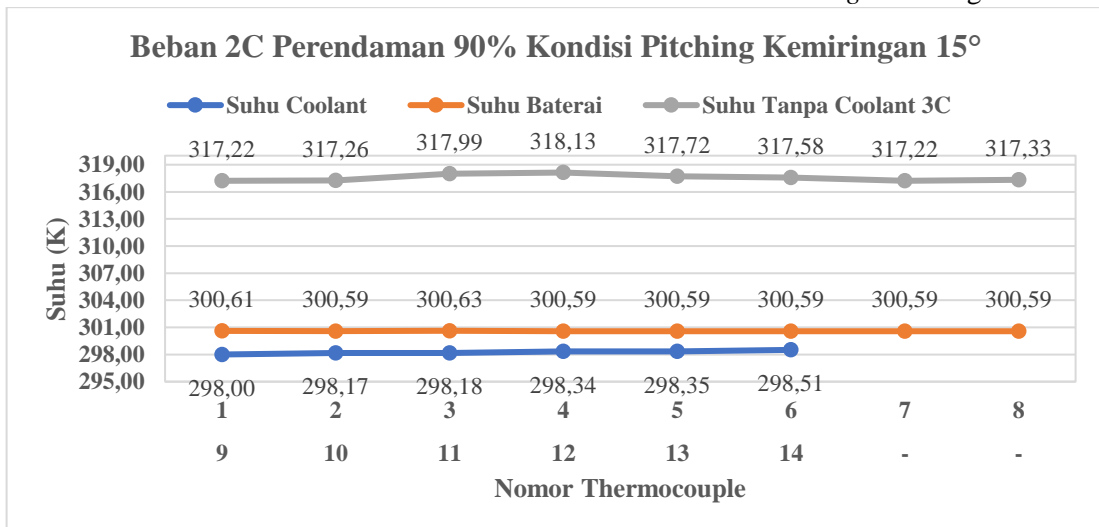
Tabel 4. 32 Data Beban 3C Perendaman 50% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 35°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	306,09
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	306,26
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	302,76
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	302,98
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	295,87

4.7.5 Beban 3C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 15°



Gambar 4. 52 Grafik Beban 3C Perendaman 90% Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°



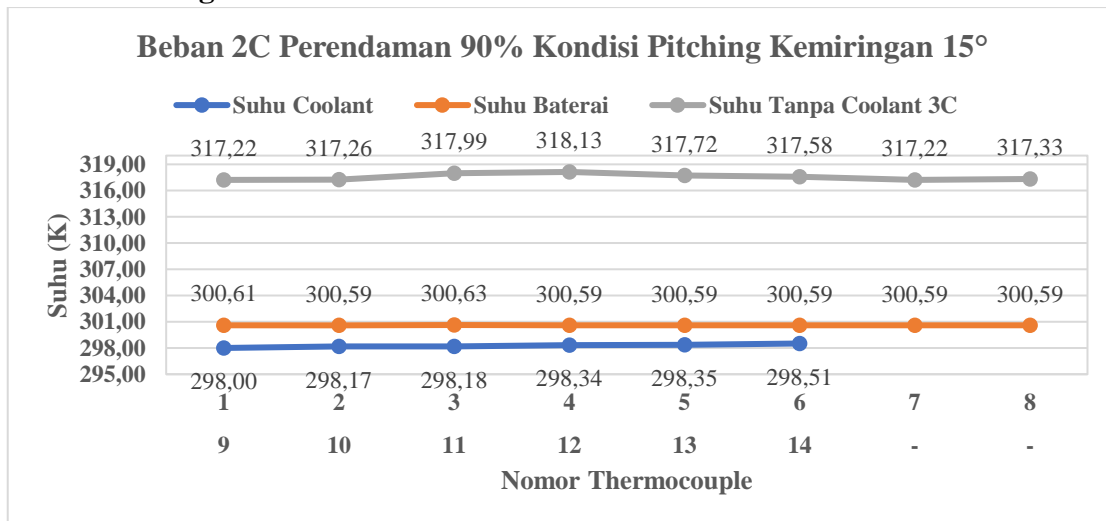
Gambar 4. 53 Grafik Beban 3C Perendaman 90% Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 3C variasi perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 15°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Grafik ini menunjukkan bahwa perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* pada kemiringan 15° dapat menurunkan suhu baterai secara signifikan. Hal ini terlihat dari tren suhu baterai dan suhu *coolant* yang terlihat stabil pada angka 300,64K dan 298,37.

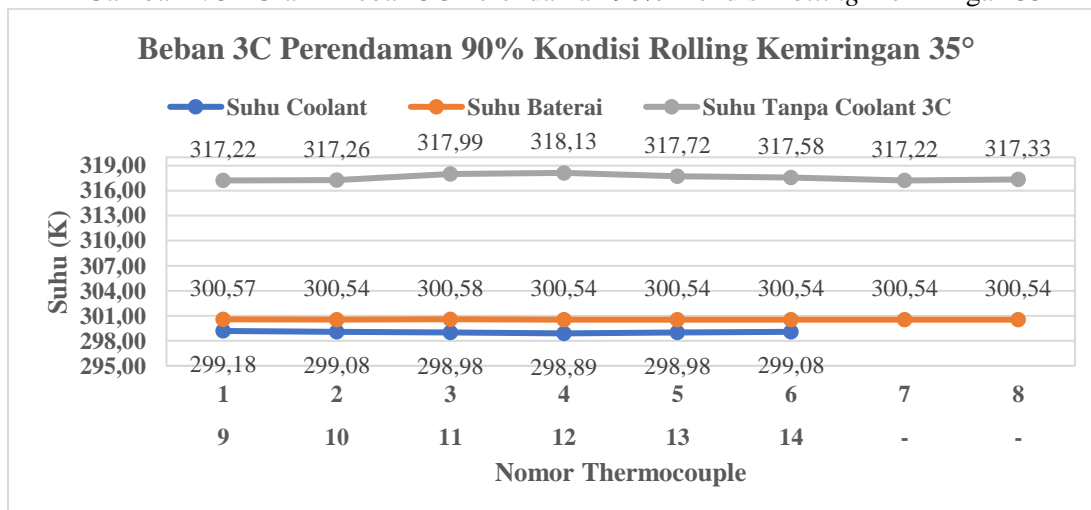
Tabel 4. 33 Data Beban 3C Perendaman 90% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 15°

Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	300,55
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	300,60
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	298,47
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	298,26
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	314,56
Suhu udara sekitar	297,04

4.7.6 Beban 3C dengan Variasi Perendaman 90% Kondisi *Rolling* dan *Pitching* Kemiringan Sudut 35°



Gambar 4. 54 Grafik Beban 3C Perendaman 90% Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



Gambar 4. 55 Grafik Beban 3C Perendaman 90% Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

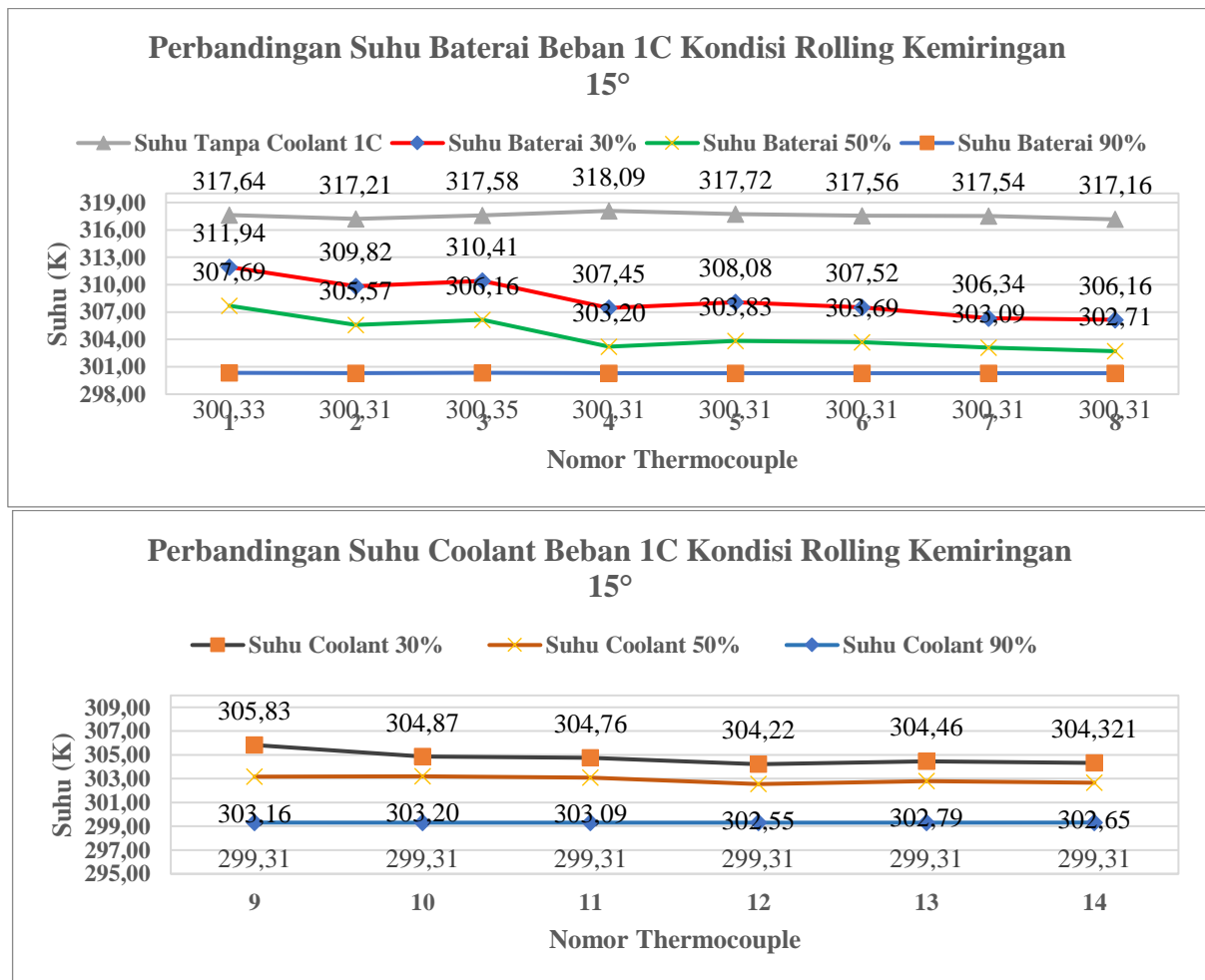
Grafik diatas menunjukkan percobaan beban 3C variasi perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* sudut kemiringan 35°. Grafik menunjukkan hubungan antara suhu baterai dan suhu *coolant* pada berbagai nomor *thermocouple*. Grafik ini menunjukkan bahwa perendaman 90% dengan kondisi *rolling* dan *pitching* pada kemiringan 35° dapat menurunkan suhu baterai secara signifikan. Hal ini terlihat dari tren suhu baterai dan suhu *coolant* yang terlihat stabil pada angka 300,41K dan 298,74.

Tabel 4. 34 Data Beban 3C Perendaman 90% *Rolling* dan *Pitching* Sudut 35°

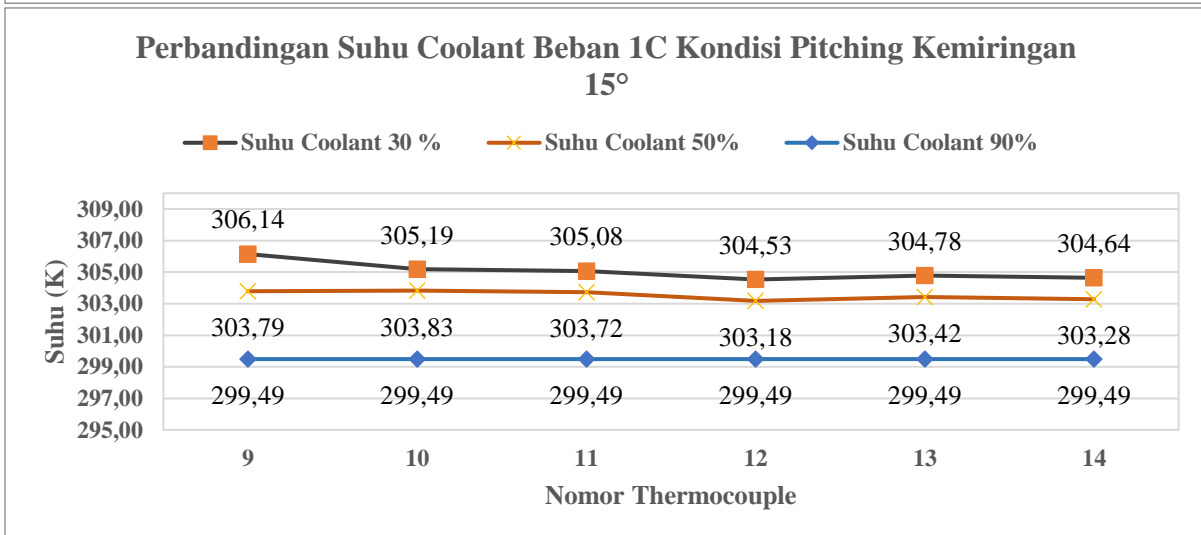
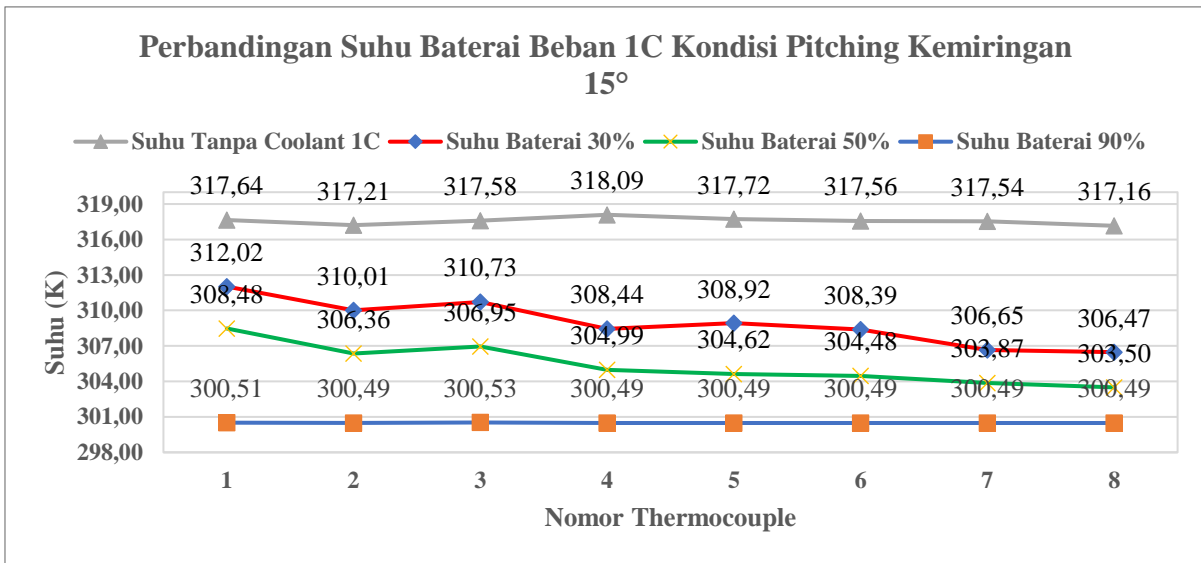
Keterangan	Suhu (K)
Rata-rata suhu baterai (<i>Rolling</i>)	300,55
Rata-rata suhu baterai (<i>Pitching</i>)	300,56
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Rolling</i>)	299,03
Rata-rata suhu <i>coolant</i> (<i>Pitching</i>)	298,44
Rata-rata suhu baterai tanpa <i>coolant</i>	317,56
Suhu udara sekitar	294,64

4.8 Perbandingan Kinerja Baterai dan *Coolant* dengan Variasi Perendaman

4.8.1 Perbandingan Kinerja Baterai Kondisi *Rolling* dan *Pitching* pada Sudut 15° dan 35° Variasi Beban 1C



Gambar 4. 56 Grafik Perbandingan Beban 1C Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°

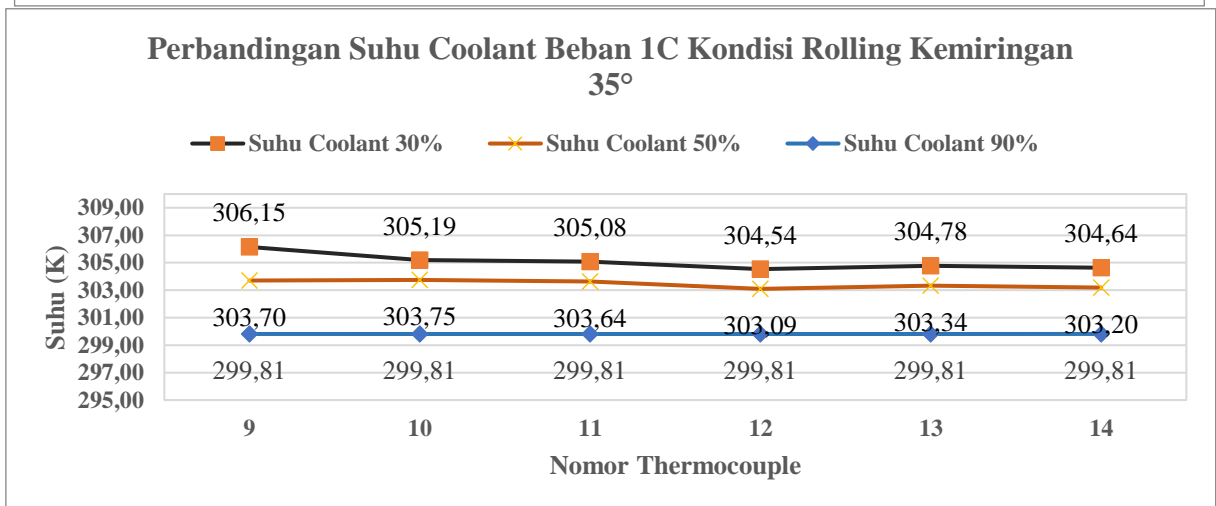
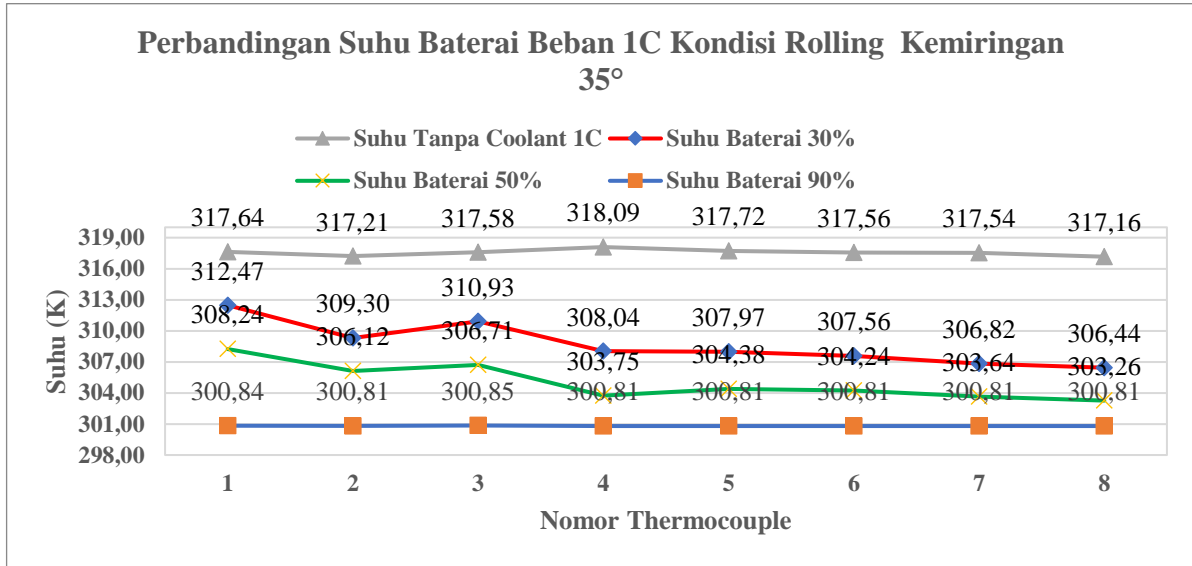


Gambar 4. 57 Grafik Perbandingan Beban 1C Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

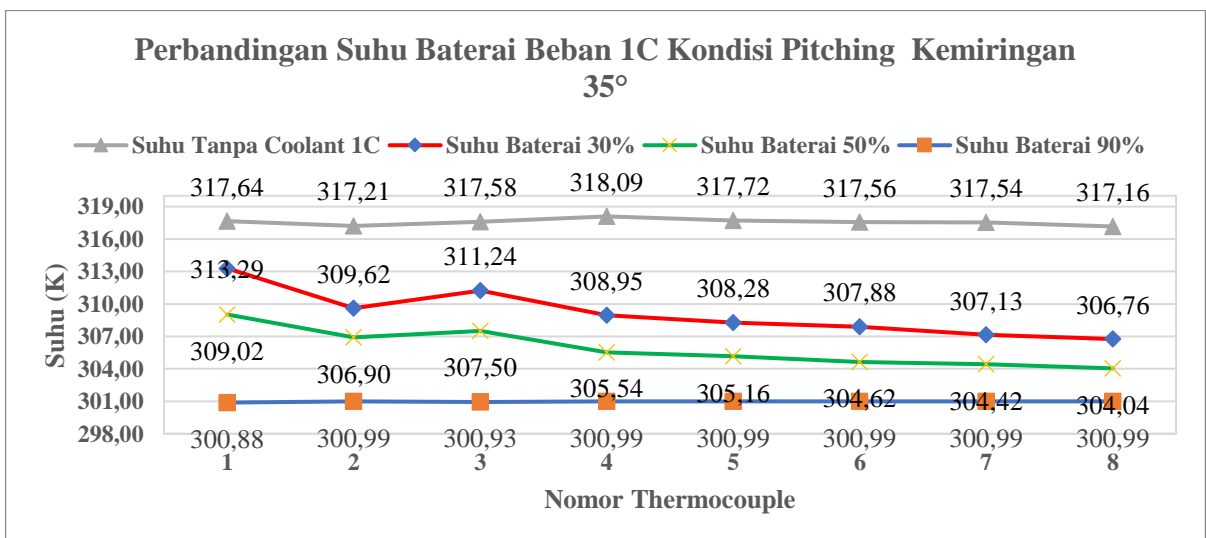
Pada grafik diatas menjelaskan tentang perbandingan kinerja dari beban 1C kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 15° di setiap variasi perendaman. Secara umum, suhu cenderung menurun seiring dengan peningkatan nomor *thermocouple* untuk semua kondisi percobaan. Ini menunjukkan bahwa ada perbedaan level ketinggian *coolant* karena sudut kemiringan sepanjang objek yang diukur.

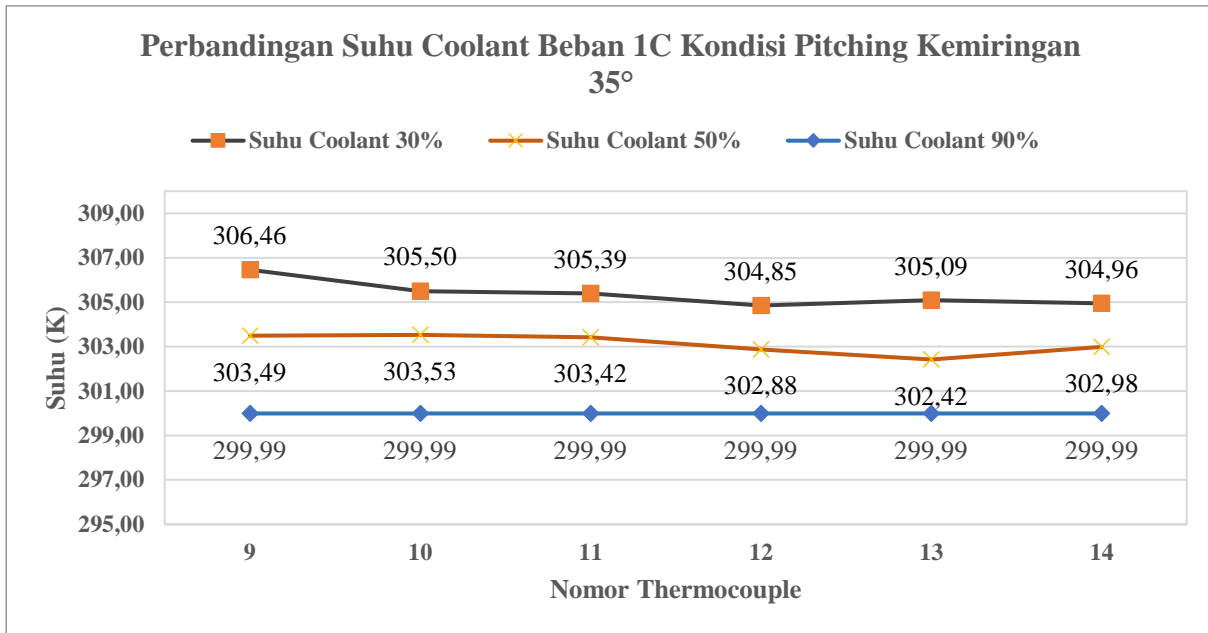
Untuk variasi perendaman 30% suhu maksimal yang didapatkan pada kondisi *rolling* adalah 311,94K, sedangkan pada kondisi *pitching* suhu yang maksimal yang didapatkan adalah 312,25K. Suhu maksimal variasi perendaman 50% pada kondisi *rolling* adalah 307,69K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu maksimal yang didapatkan adalah 308,48K. Sedangkan untuk variasi perendaman 90% semua baterai hampir memiliki suhu yang sama yaitu di angka 299,97K. Semakin tinggi persentase perendaman, suhu cenderung lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa perendaman efektif dalam menurunkan suhu. Grafik diatas menyatakan bahwa kondisi *pitching* memiliki suhu yang lebih tinggi daripada kondisi *rolling*. Hal ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan pendistribusian suhu terhadap kondisi *rolling* dan

pitching. Selain beban dan *coolant*, faktor lain yang dapat memengaruhi suhu percobaan adalah jenis material yang digunakan, kondisi lingkungan percobaan, dan kondisi baterai.



Gambar 4. 58 Grafik Perbandingan Beban 1C Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



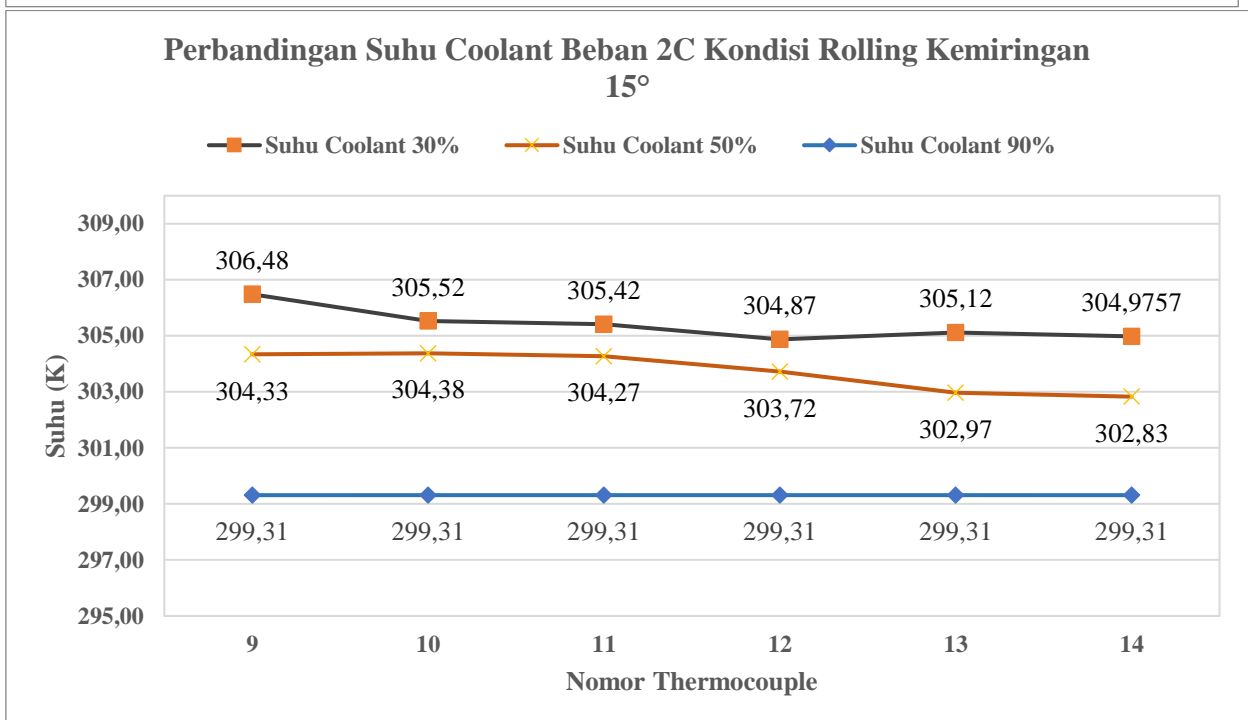
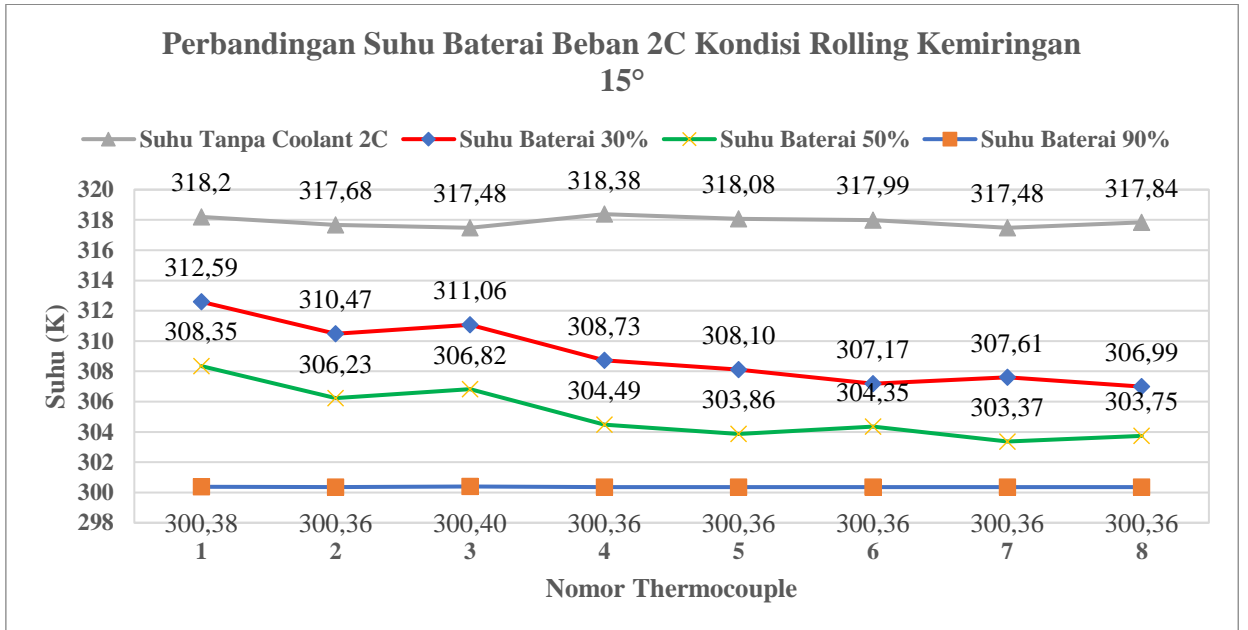


Gambar 4. 59 Grafik Perbandingan Beban 1C Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

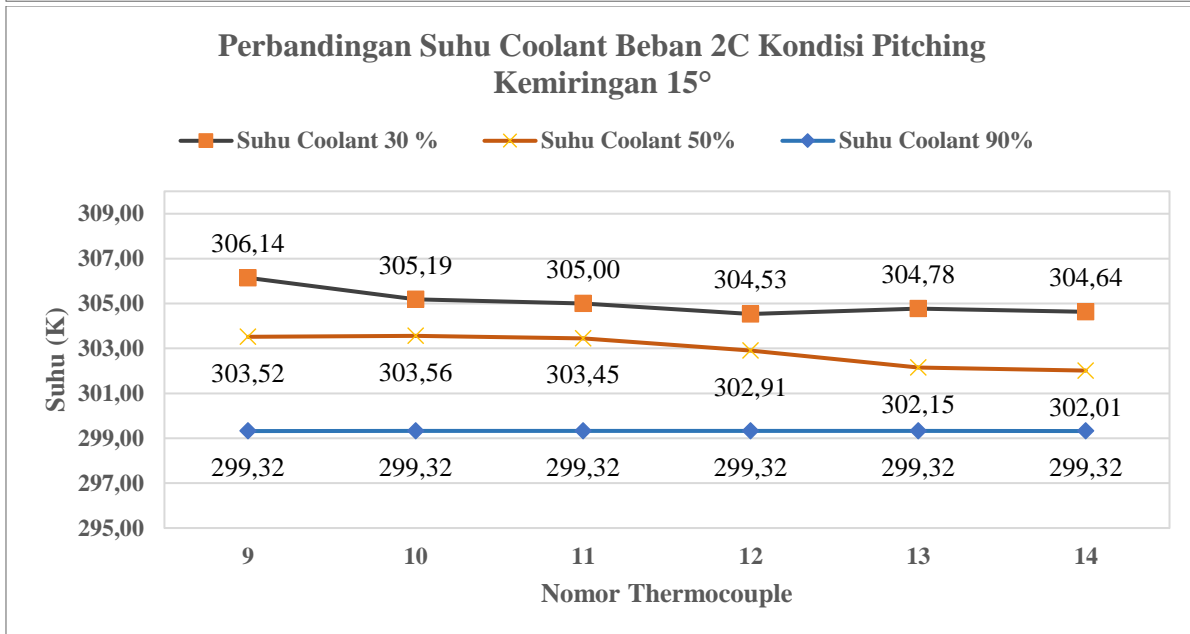
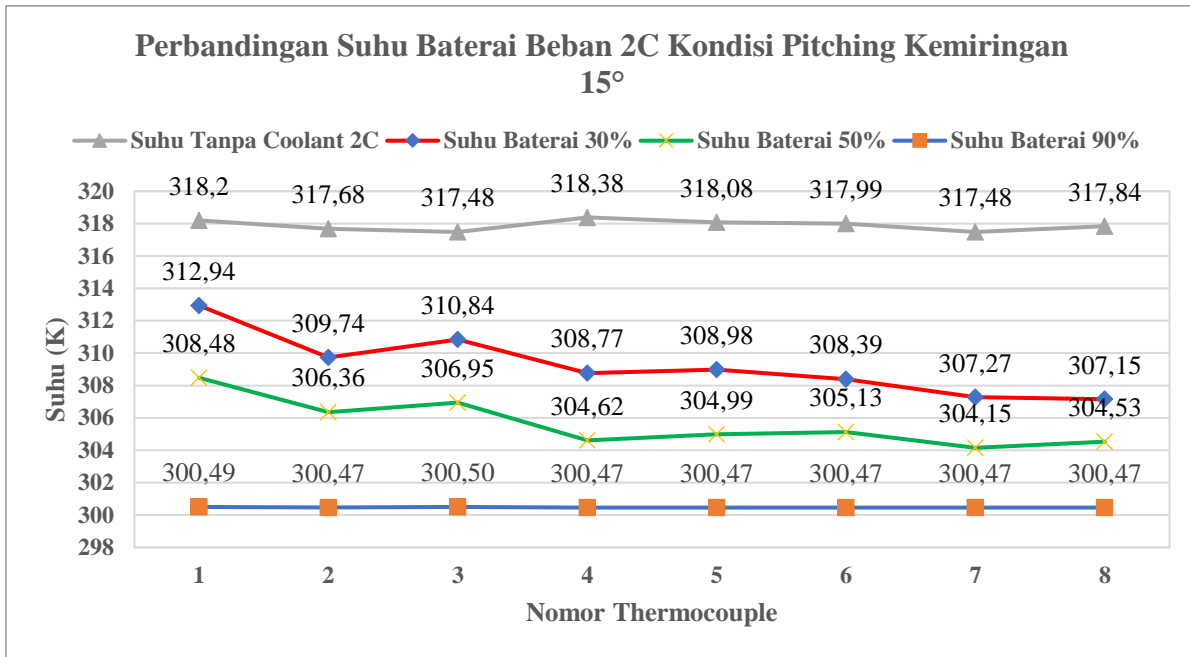
Pada grafik diatas menjelaskan tentang perbandingan kinerja dari beban 1C kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 35° di setiap variasi perendaman. Secara umum, suhu cenderung menurun seiring dengan peningkatan nomor *thermocouple* untuk semua kondisi percobaan. Ini menunjukkan bahwa ada perbedaan level ketinggian *coolant* karena sudut kemiringan sepanjang objek yang diukur. Terlihat pada grafik sudut kemiringan 35° memiliki suhu yang lebih besar daripada sudut kemiringan 15° .

Untuk variasi perendaman 30% suhu maksimal yang didapatkan pada kondisi *rolling* adalah 312,47K, sedangkan pada kondisi *pitching* suhu yang maksimal yang didapatkan adalah 313,29K. Suhu maksimal variasi perendaman 50% pada kondisi *rolling* adalah 308,24K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu maksimal yang didapatkan adalah 309,02K. Sedangkan untuk variasi perendaman 90% semua baterai hampir memiliki suhu yang sama yaitu di angka 299,98K. Semakin tinggi persentase perendaman, suhu cenderung lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa perendaman efektif dalam menurunkan suhu. Grafik diatas menyatakan bahwa kondisi *pitching* memiliki suhu yang lebih tinggi daripada kondisi *rolling*. Hal ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan pendistribusian suhu terhadap kondisi *rolling* dan *pitching*. Selain beban dan *coolant*, faktor lain yang dapat memengaruhi suhu percobaan adalah jenis material yang digunakan, kondisi lingkungan percobaan, dan kondisi baterai.

4.8.2 Perbandingan Kinerja Baterai Kondisi *Rolling* dan *Pitching* pada Sudut 15° dan 35° Variasi Beban 2C



Gambar 4. 60 Grafik Perbandingan Beban 2C Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°

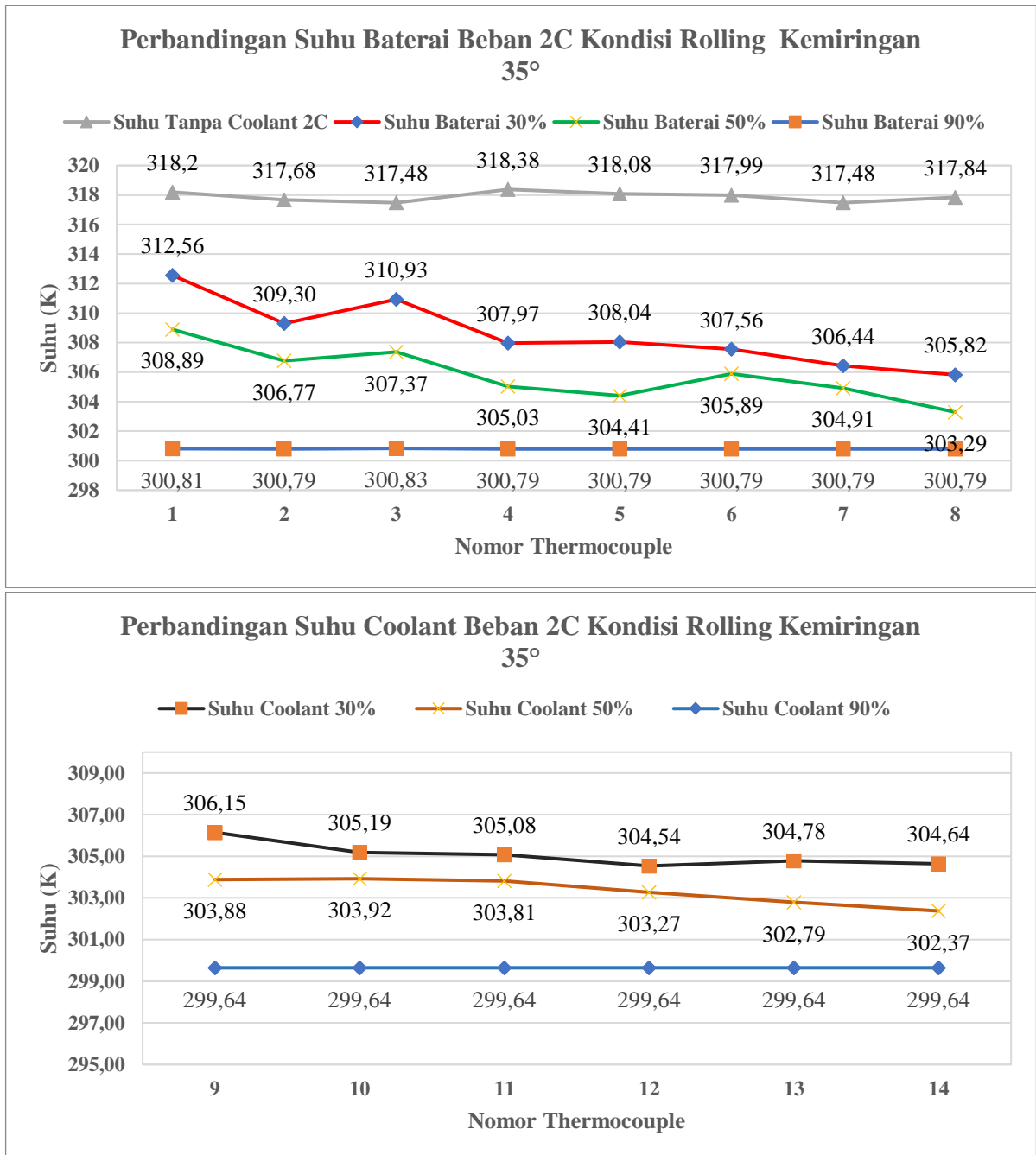


Gambar 4. 61 Grafik Perbandingan Beban 2C Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

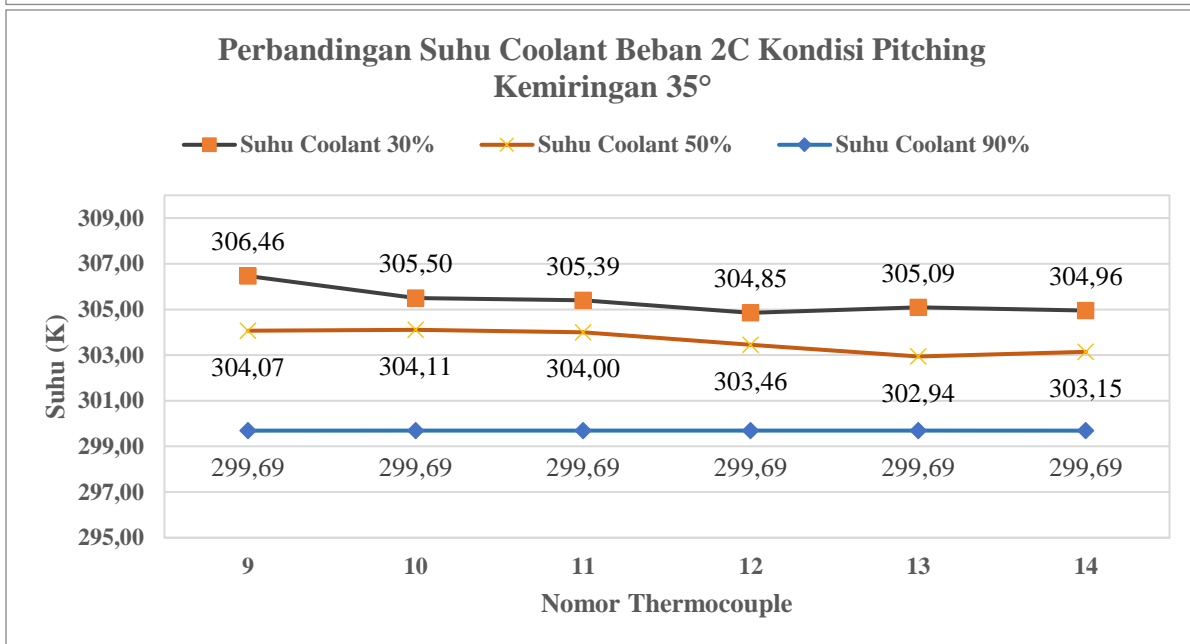
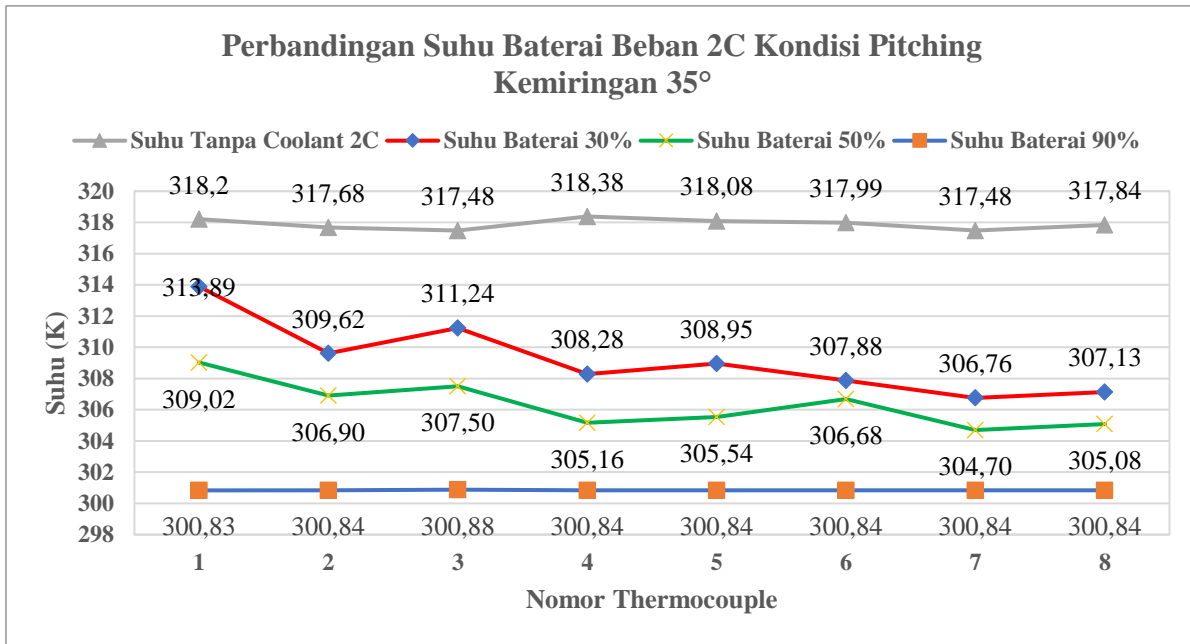
Pada grafik diatas menjelaskan tentang perbandingan kinerja dari beban 2C kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 15° di setiap variasi perendaman. Secara umum, suhu cenderung menurun seiring dengan peningkatan nomor *thermocouple* untuk semua kondisi percobaan. Ini menunjukkan bahwa ada perbedaan level ketinggian *coolant* karena sudut kemiringan sepanjang objek yang diukur. Untuk variasi beban 2C memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan beban 1C, hal ini dikarenakan *output* 2C yang lebih besar dan waktu percobaan yang lebih cepat yakni 30 menit.

Untuk variasi perendaman 30% suhu maksimal yang didapatkan pada kondisi *rolling* adalah 312,59K, sedangkan pada kondisi *pitching* suhu yang maksimal yang didapatkan adalah 312,94K. Suhu maksimal variasi perendaman 50% pada kondisi *rolling* adalah 308,35K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu maksimal yang didapatkan adalah 308,58K. Sedangkan

untuk variasi perendaman 90% semua baterai hampir memiliki suhu yang sama yaitu di angka 299,32K. Semakin tinggi persentase perendaman, suhu cenderung lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa perendaman efektif dalam menurunkan suhu. Grafik diatas menyatakan bahwa kondisi *pitching* memiliki suhu yang lebih tinggi daripada kondisi *rolling*. Hal ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan pendistribusian suhu terhadap kondisi *rolling* dan *pitching*. Selain beban dan *coolant*, faktor lain yang dapat memengaruhi suhu percobaan adalah jenis material yang digunakan, kondisi lingkungan percobaan, dan kondisi baterai.



Gambar 4. 62 Grafik Perbandingan Beban 2C Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



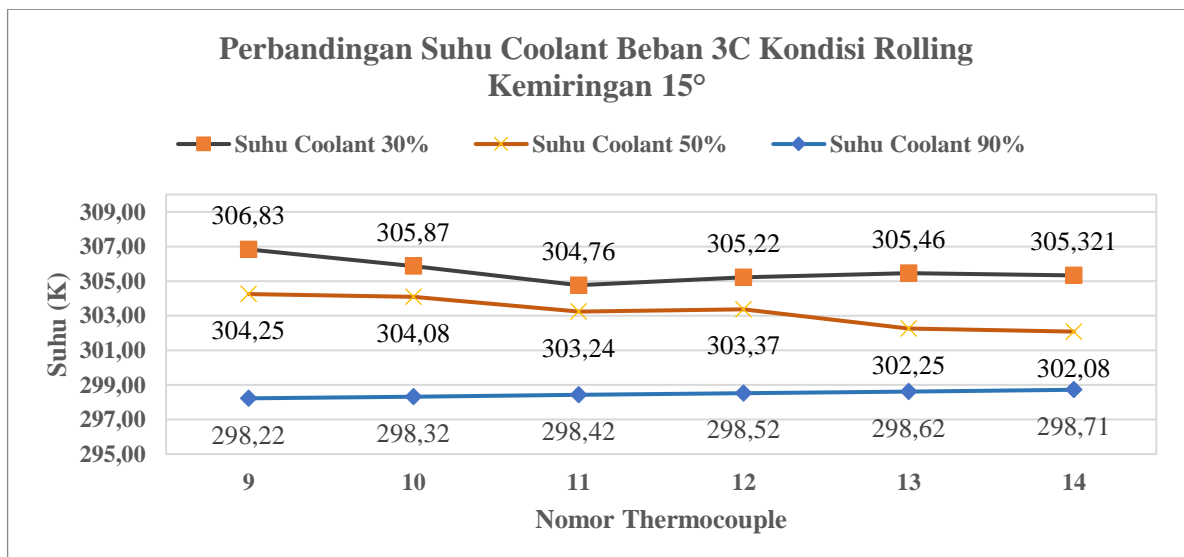
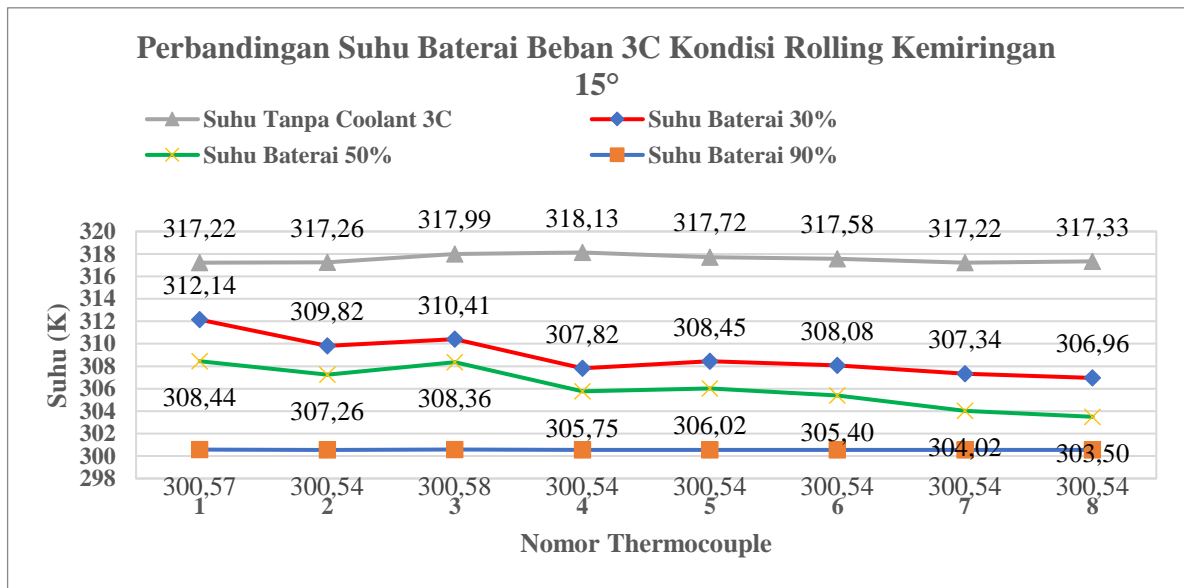
Gambar 4. 63 Grafik Perbandingan Beban 2C Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

Pada grafik diatas menjelaskan tentang perbandingan kinerja dari beban 2C kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 35° di setiap variasi perendaman. Secara umum, suhu cenderung menurun seiring dengan peningkatan nomor *thermocouple* untuk semua kondisi percobaan. Ini menunjukkan bahwa ada perbedaan level ketinggian *coolant* karena sudut kemiringan sepanjang objek yang diukur. Terlihat pada grafik sudut kemiringan 35° memiliki suhu yang lebih besar daripada sudut kemiringan 15°. Untuk variasi beban 2C memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan beban 1C, hal ini dikarenakan *output* 2C yang lebih besar dan waktu percobaan yang lebih cepat yakni 30 menit.

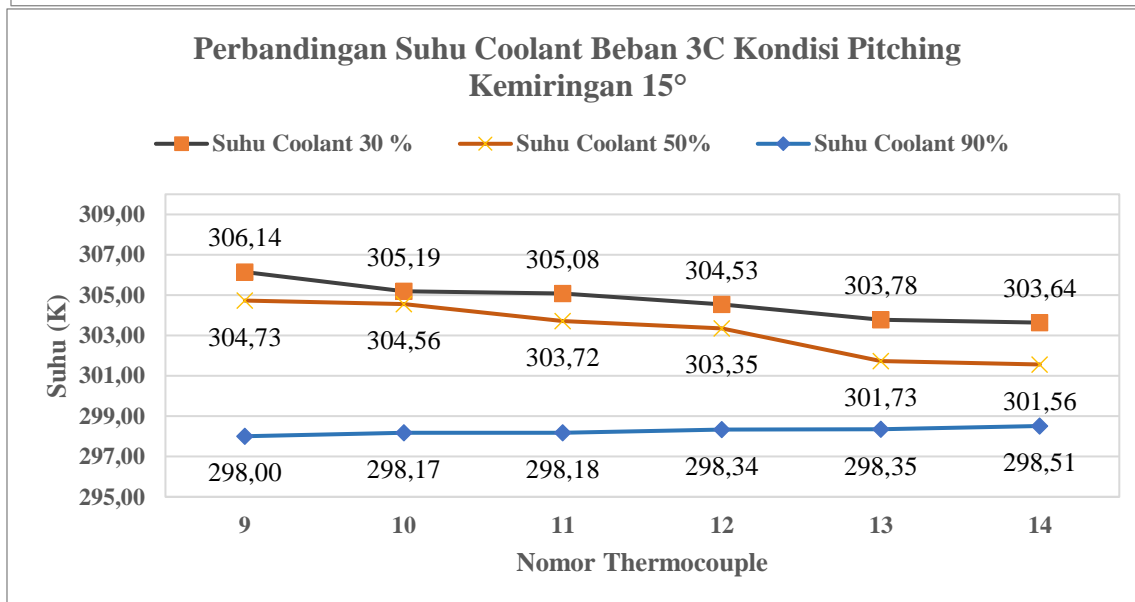
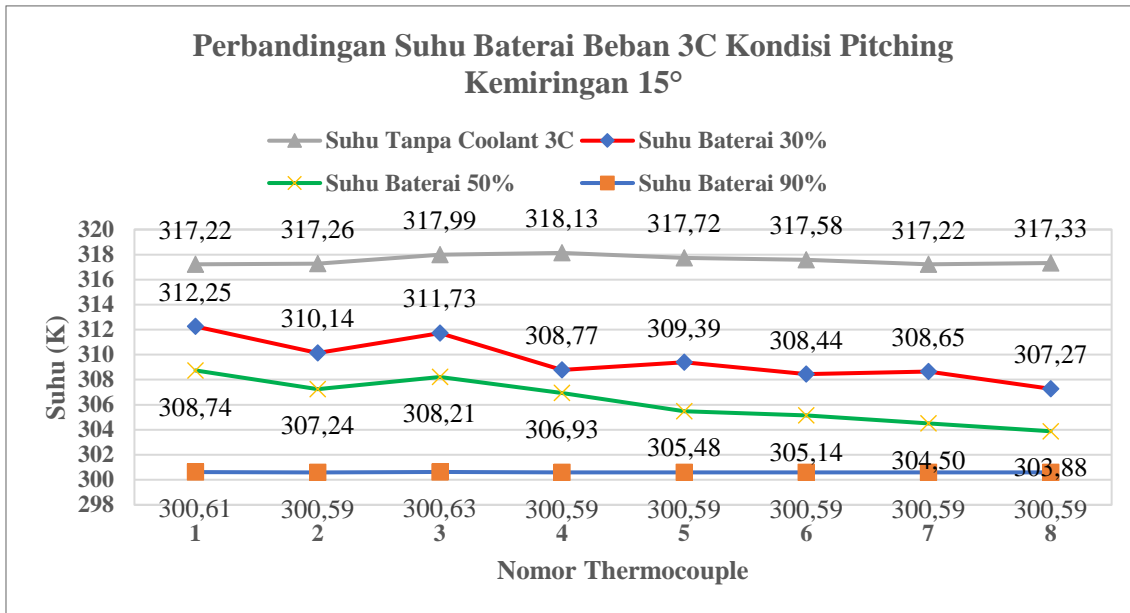
Untuk variasi perendaman 30% suhu maksimal yang didapatkan pada kondisi *rolling* adalah 312,56K, sedangkan pada kondisi *pitching* suhu maksimal yang didapatkan adalah 313,89K. Suhu maksimal variasi perendaman 50% pada kondisi *rolling* adalah 308,89K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu maksimal yang didapatkan adalah 309,94K. Sedangkan

untuk variasi perendaman 90% semua baterai hampir memiliki suhu yang sama yaitu di angka 299,69. Semakin tinggi persentase perendaman, suhu cenderung lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa perendaman efektif dalam menurunkan suhu. Grafik diatas menyatakan bahwa kondisi *pitching* memiliki suhu yang lebih tinggi daripada kondisi *rolling*. Hal ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan pendistribusian suhu terhadap kondisi *rolling* dan *pitching*. Selain beban dan *coolant*, faktor lain yang dapat memengaruhi suhu percobaan adalah jenis material yang digunakan, kondisi lingkungan percobaan, dan kondisi baterai.

4.8.3 Perbandingan Kinerja Baterai Kondisi *Rolling* dan *Pitching* pada Sudut 15° dan 35° Variasi Beban 3C



Gambar 4. 64 Grafik Perbandingan Beban 3C Kondisi *Rolling* Kemiringan 15°

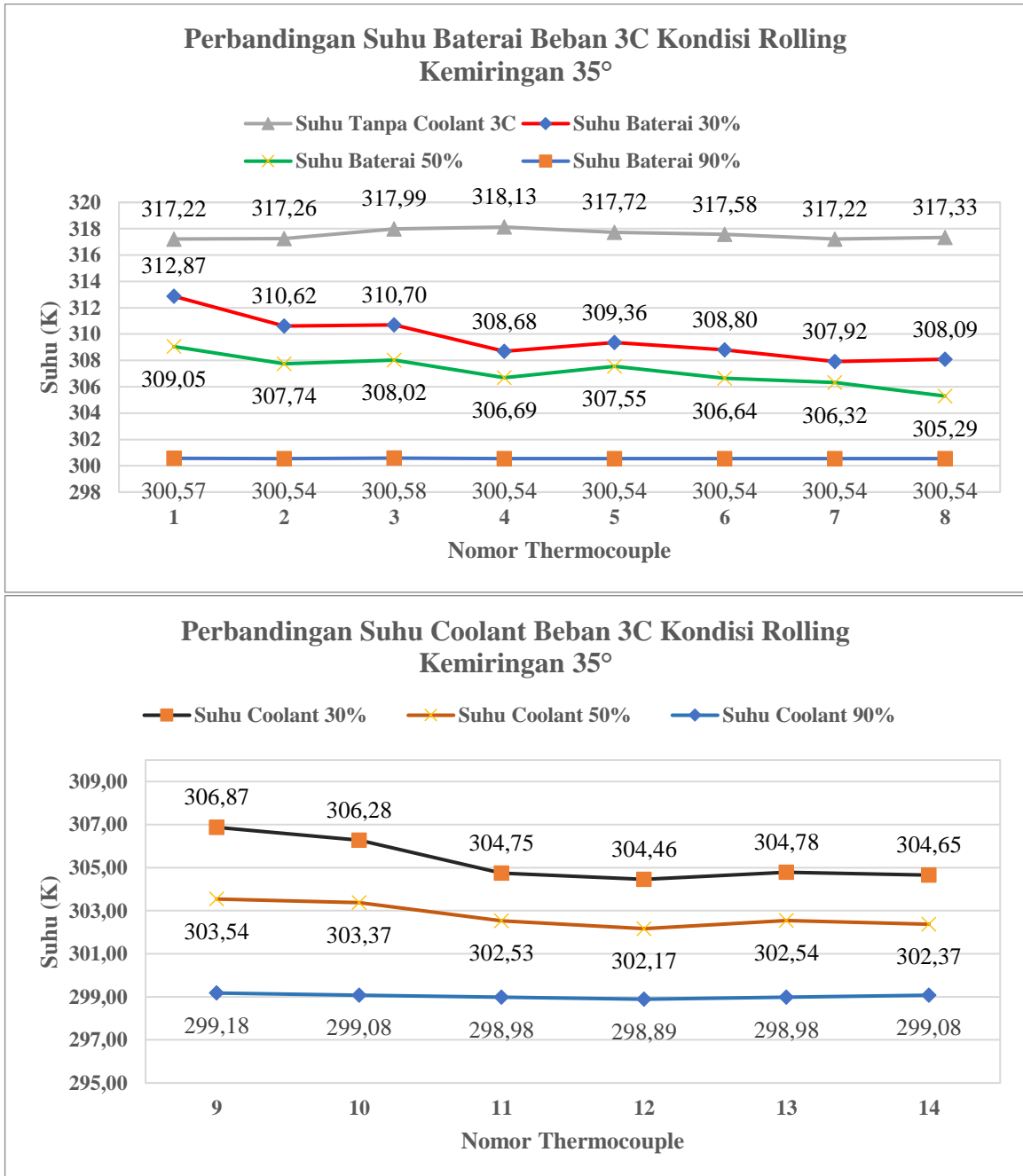


Gambar 4. 65 Grafik Perbandingan Beban 3C Kondisi *Pitching* Kemiringan 15°

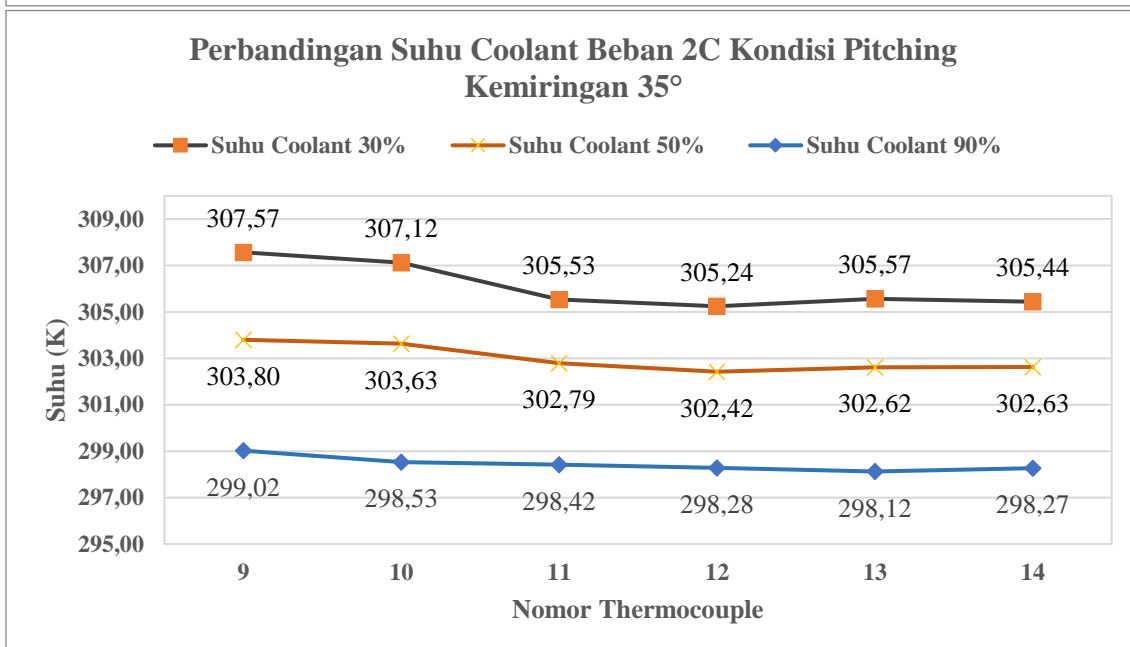
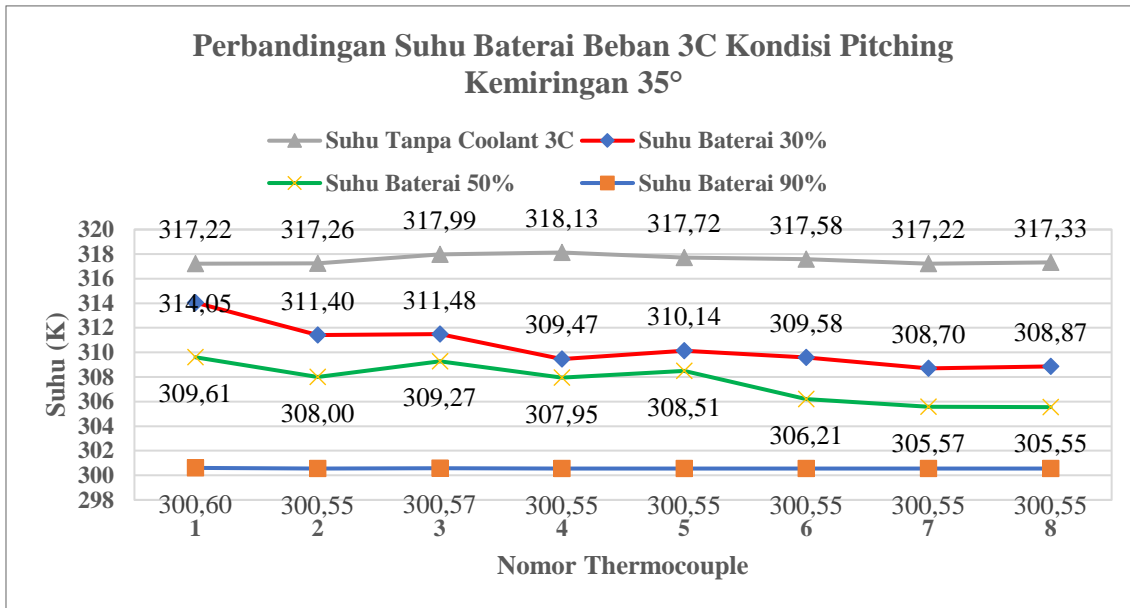
Pada grafik diatas menjelaskan tentang perbandingan kinerja dari beban 3C kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 15° di setiap variasi perendaman. Secara umum, suhu cenderung menurun seiring dengan peningkatan nomor *thermocouple* untuk semua kondisi percobaan. Ini menunjukkan bahwa ada perbedaan level ketinggian *coolant* karena sudut kemiringan sepanjang objek yang diukur. Untuk variasi beban 3C memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan beban 1C dan juga 2C, hal ini dikarenakan *output* 3C yang lebih besar dan waktu percobaan yang lebih cepat yakni 20 menit. Sehingga hanya dalam 20 menit baterai sudah mencapai suhu maksimal.

Untuk variasi perendaman 30% suhu maksimal yang didapatkan pada kondisi *rolling* adalah 312,14K, sedangkan pada kondisi *pitching* suhu yang maksimal yang didapatkan adalah 312,25K. Suhu maksimal variasi perendaman 50% pada kondisi *rolling* adalah 308,44K, sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu maksimal yang didapatkan adalah 308,74K. Sedangkan untuk variasi perendaman 90% semua baterai hampir memiliki suhu yang sama yaitu di angka

298,22. Semakin tinggi persentase perendaman, suhu cenderung lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa perendaman efektif dalam menurunkan suhu. Grafik diatas menyatakan bahwa kondisi *pitching* memiliki suhu yang lebih tinggi daripada kondisi *rolling*. Hal ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan pendistribusian suhu terhadap kondisi *rolling* dan *pitching*. Selain beban dan *coolant*, faktor lain yang dapat memengaruhi suhu percobaan adalah jenis material yang digunakan, kondisi lingkungan percobaan, dan kondisi baterai yang di running maksimal.



Gambar 4. 66 Grafik Perbandingan Beban 3C Kondisi *Rolling* Kemiringan 35°



Gambar 4. 67 Grafik Perbandingan Beban 3C Kondisi *Pitching* Kemiringan 35°

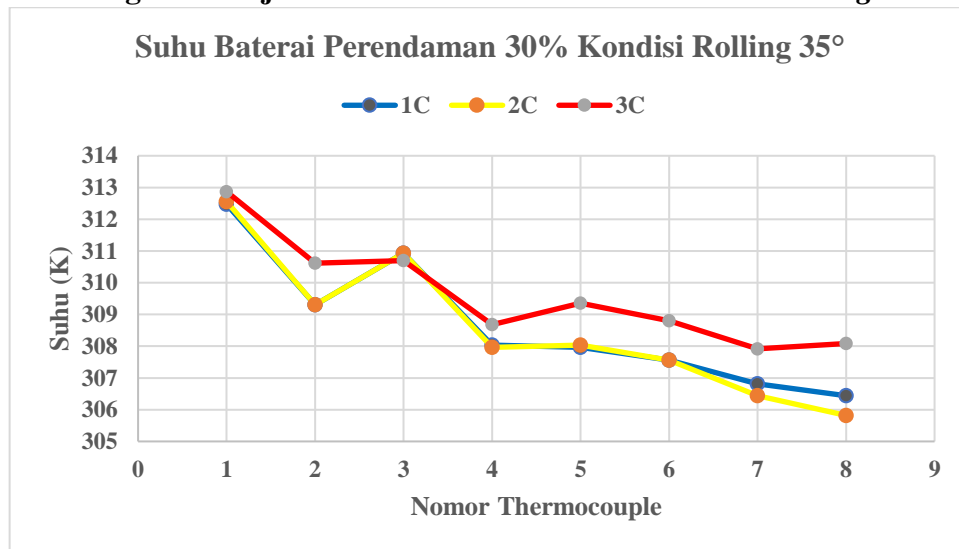
Pada grafik diatas menjelaskan tentang perbandingan kinerja dari beban 3C kondisi *rolling* dan *pitching* kemiringan 35° di setiap variasi perendaman. Secara umum, suhu cenderung menurun seiring dengan peningkatan nomor *thermocouple* untuk semua kondisi percobaan. Ini menunjukkan bahwa ada perbedaan level ketinggian *coolant* karena sudut kemiringan sepanjang objek yang diukur. Terlihat pada grafik sudut kemiringan 35° memiliki suhu yang lebih besar daripada sudut kemiringan 15°. Untuk variasi beban 3C memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan beban 1C dan juga 2C, hal ini dikarenakan *output* 3C yang lebih besar dan waktu percobaan yang lebih cepat yakni 20 menit. Sehingga hanya dalam 20 menit baterai sudah mencapai suhu maksimal.

Untuk variasi perendaman 30% suhu maksimal yang didapatkan pada kondisi *rolling* adalah 312,87K, sedangkan pada kondisi *pitching* suhu maksimal yang didapatkan adalah 314,05K. Suhu maksimal variasi perendaman 50% pada kondisi *rolling* adalah 309,05K,

sedangkan untuk kondisi *pitching* suhu maksimal yang didapatkan adalah 309,61K . Sedangkan untuk variasi perendaman 90% semua baterai hampir memiliki suhu yang sama yaitu di angka 298,23K. Semakin tinggi persentase perendaman, suhu cenderung lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa perendaman efektif dalam menurunkan suhu. Grafik diatas menyatakan bahwa kondisi *pitching* memiliki suhu yang lebih tinggi daripada kondisi *rolling*. Hal ini membuktikan bahwa terdapat perbedaan pendistribusian suhu terhadap kondisi *rolling* dan *pitching*. Untuk variasi perendaman 50% suhu baterai tidak terlalu turun seperti variasi percobaan sebelumnya, hal ini dikarenakan kondisi baterai yang telah mengalami beberapa kali siklus pengoperasian maksimal.

4.9 Perbandingan Kinerja Baterai Kondisi *Rolling* Sudut 35° dengan Beban Terhadap Variasi Perendaman

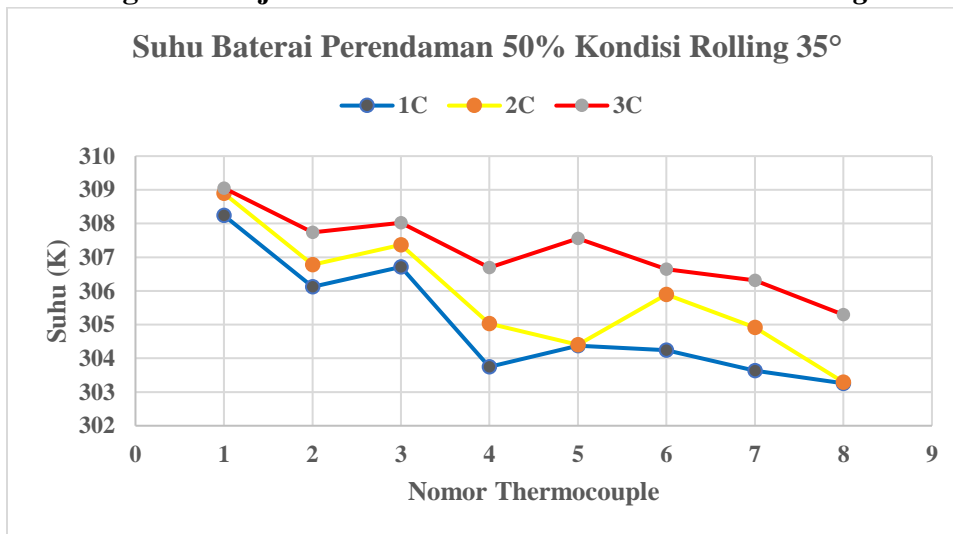
4.9.1 Perbandingan Kinerja Baterai Perendaman 30% Kondisi *Rolling* Sudut 35°



Gambar 4. 68 Perbandingan Suhu Baterai Perendaman 30% Kondisi *Rolling* 35°

Grafik diatas menunjukkan perbandingan kinerja baterai perendaman 30% kondisi *rolling* sudut 35°. Semua tingkat pengisian menunjukkan pola penurunan suhu yang mirip dengan penurunan awal yang signifikan diikuti oleh stabilisasi suhu yang lebih rendah. Perbedaan suhu antara tingkat *discharge* yang berbeda relatif kecil setelah *thermocouple* 2, menunjukkan bahwa metode perendaman 30% pada kondisi *rolling* berhasil mengurangi perbedaan suhu untuk beberapa baterai antara berbagai tingkat *discharge*. Tingkat *discharge* 3C yang biasanya menghasilkan suhu tertinggi, berhasil diturunkan mendekati suhu yang dicapai oleh tingkat *discharge* 1C dan 2C.

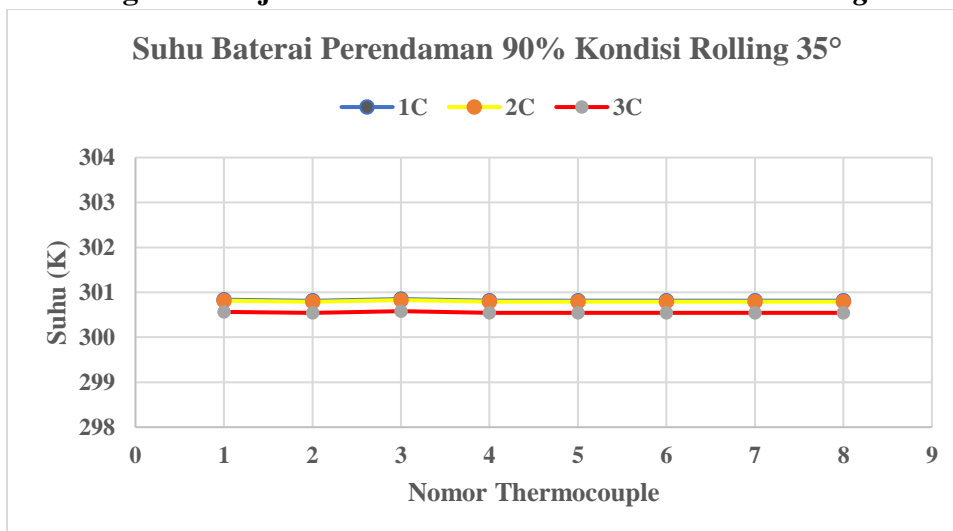
4.9.2 Perbandingan Kinerja Baterai Perendaman 50% Kondisi *Rolling* Sudut 35°



Gambar 4. 69 Perbandingan Suhu Baterai Perendaman 50% Kondisi *Rolling* 35°

Grafik diatas menunjukkan perbandingan kinerja baterai perendaman 50% kondisi *rolling* sudut 35°. Semua tingkat *discharge* menunjukkan pola penurunan suhu yang cukup signifikan diikuti oleh stabilisasi suhu yang lebih rendah. Perbedaan suhu antara tingkat pengisian terlihat mengalami fluktuasi ringan. Hal ini menunjukkan bahwa metode perendaman 50% pada kondisi *rolling* 35° berhasil mengurangi perbedaan suhu terhadap berbagai tingkat *discharge*.

4.9.3 Perbandingan Kinerja Baterai Perendaman 90% Kondisi *Rolling* Sudut 35°



Gambar 4. 70 Perbandingan Suhu Baterai Perendaman 90% Kondisi *Rolling* 35°

Grafik diatas menunjukkan perbandingan kinerja baterai perendaman 90% kondisi *rolling* sudut 35°. Untuk variasi perendaman 90% pada semua kondisi baterai beban 1C, 2C, dan 3C mengalami suhu yang stabil berkisar di angka 300,5K – 301K. Hal ini membuktikan bahwa perendaman 90% sangat efektif dalam menurunkan suhu baterai terhadap semua beban.

BAB V

KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian Tugas Akhir ini adalah

1. Cairan hydrofluoroether TMC 7300 terbukti efektif dalam menyerap panas dan menjaga suhu tetap stabil di dalam *battery pack* pada tingkat perendaman yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil eksperimen, distribusi suhu dari *battery pack* setelah immersion cooling berdasarkan tingkat perendaman adalah sebagai berikut.
 - a. Perendaman 30% distribusi suhu tidak merata, suhu cenderung lebih tinggi di beberapa bagian yang tidak langsung terpapar oleh cairan pendingin. Rata-rata suhu baterai pada perendaman 30% beban 1C adalah 308,81K, beban 2C adalah 309,04K, dan beban 3C adalah 309,64K. Tetapi pada perendaman 30% terdapat baterai yang memiliki suhu maksimal 314,72K. Hal ini menunjukkan bahwa perendaman 30% belum efisien dalam menjaga suhu efektif operasional baterai yaitu pada suhu 298K–313K.
 - b. Tingkat perendaman 50%, distribusi suhu sudah lebih merata dibandingkan dengan 30%, namun masih terdapat beberapa area yang lebih panas dibandingkan dengan area yang terendam penuh. Rata-rata suhu baterai pada perendaman 50% beban 1C adalah 305,21K, beban 2C adalah 305,74K, dan beban 3C adalah 307K.
 - c. Pada tingkat perendaman 90%, distribusi suhu paling merata dikarenakan hampir seluruh komponen *battery pack* terendam oleh cairan pendingin. Rata-rata suhu baterai pada perendaman 90% beban 1C adalah 300,65K, beban 2C adalah 300,62K, dan beban 3C adalah 300,57K.
Berdasarkan data yang telah diperoleh, variasi perendaman sebesar 50% terbukti cukup dan efisien dalam menjaga suhu efektif baterai selama operasional, yaitu pada rentang suhu 298K - 313K.
2. Sudut kemiringan karena *rolling* dan *pitching* pada sistem immersion cooling *battery pack* berpengaruh terhadap distribusi cairan pendingin di sekitar sel baterai Li-Ion. Sudut kemiringan yang berbeda dapat mengubah pola aliran cairan pendingin dan mempengaruhi distribusi di sekitar sel baterai, sehingga pada kemiringan 35° baterai memiliki suhu yang lebih panas dibandingkan dengan kemiringan 15°. Pada semua variasi perendaman, setiap kondisi *pitching* baterai menghasilkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi *rolling*. Perbedaan suhu baterai pada kemiringan 35° dan 15° kondisi *rolling* dan *pitching* pada beban 1C adalah 1,28K, beban 2C adalah 0,77K, dan 0,92K. Sedangkan perbedaan suhu baterai pada kemiringan 35° kondisi *rolling* dan *pitching* pada beban 1C adalah 1,46K, beban 2C adalah 1,39K, dan 1,56K

5.2 Saran

Dari hasil percobaan dalam penelitian Tugas Akhir ini, hal yang disarankan untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu :

1. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengembangkan sistem immersion cooling yang hemat biaya dan kompetitif dengan metode pendinginan baterai lainnya

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, A.R. *et al.* (2023) 'ANALISA CFD EFEK GERAK ROLLING DAN PITCHING KAPAL TERHADAP PENDINGINAN BATERAI LI-ION METODE KAPAL TERHADAP PENDINGINAN BATERAI LI-ION'.
- Bastian, R. (2015) 'Analisa Gerakan Pitching Kapal Fiber Pertamina Marine Region V Surabaya 01 Pada Kondisi Trim Haluan', *Gastronomía ecuatoriana y turismo local.*, 1(69), pp. 5–24.
- Chen, D. *et al.* (2016) 'Comparison of different cooling methods for lithium ion battery cells', *Applied Thermal Engineering*, 94, pp. 846–854. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2015.10.015>.
- Chengchum, T.J.Y.Z.H.L.S.L.S.P. (2023) 'Prediction kodel of thermal behavior of lithium battery module under high charge-discharge rate'.
- Dega, A. (2022) *Cfd Analysis of Immersion Cooling for G-Nmc Lithium Ion Battery*.
- hanung Setiawan, B., Yudo, H. and Jokosisworo, S. (2017) 'Jurnal Teknik Perkapalan', *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2), p. 456. Available at: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval>.
- Ihsan, A., Chrismianto, D. and Santosa, A.W.B. (2022) 'Analisa 2nd Generation Intact Stability Criteria fenomena Parametric Rolling pada Kapal Tanker di Wilayah Perairan Indonesia', *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10(1), pp. 9–16.
- Kolcunová, I. *et al.* (2017) 'Contribution to static electrification of mineral oils and natural esters', *Journal of Electrostatics*, 88, pp. 60–64. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ELSTAT.2017.01.024>.
- Nash, R. (2023) *CHEMTREC Bergabung dalam Upaya Penting untuk Meningkatkan Keamanan Baterai Lithium dalam Transportasi Maritim, CHEMTREC*. Available at: <https://www.chemtrec.com/id/resources/blog/chemtrec-joins-critical-effort-enhance-lithium-battery-safety-maritime-transport>.
- Perdana, F.A. (2021) 'Baterai Lithium', *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 9(2), p. 113. Available at: <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i2.50082>.
- Roe, C. *et al.* (2022) 'Immersion cooling for lithium-ion batteries – A review', *Journal of Power Sources*, 525(January), p. 231094. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231094>.
- Rusdi Febriyanto, Dr. Hifni Mukhtar Ariyadi, ST, M.Sc ; Indro Pranoto, S.T., M.E.P.D.U. (2023) 'Studi Eksperimental Performa Perpindahan Kalor Immersion Cooling System untuk Pendinginan Baterai Lithium-Ion dengan Fluida Kerja HFE-7100 Rusdi Febriyanto, Dr. Hifni Mukhtar Ariyadi, ST, M.Sc ; Indro Pranoto, S.T., M.Eng. Ph.D.', pp. 1–2.
- Tresya, K.M. *et al.* (2022) 'Analisis Karakteristik Baterai Lithium-Ion Pada Kendaraan Listrik Di Institut Teknologi PLN', *Nciet*, 3, pp. 2746–0975.
- Wang, H. *et al.* (2022) 'Thermal performance of a liquid-immersed battery thermal management system for lithium-ion pouch batteries', *Journal of Energy Storage*, 46, p. 103835. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.EST.2021.103835>.

Yusuf, A.M. (2018) ‘Analisis Performa Pendinginan Celup (Immersion Cooling) Terhadap Data Center dengan Variasi Cairan Pendingin’, *Analisis Performa Pendinginan Celup (Immersion Cooling) Terhadap Data Center dengan Variasi Cairan Pendingin* [Preprint].

Yang, Wen & Zhou, Fei & Zhou, Haobing & Wang, Qianzhi & Kong, Jizhou. (2020). Thermal performance of cylindrical Lithium-ion *battery* thermal management system integrated with mini-channel *liquid cooling* and *air cooling*. *Applied Thermal Engineering*. 175. 115331. 10.1016/j.applthermaleng.2020.115331.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Beban 1C

Contoh hitungan load bank		Spec	Power	100 W	Power	50 W	
Amperehour	20 Ah		Resistance	4 ohm	Resistance	1 ohm	
Voltage	3.2 V						
Discharge rate	1 C		Rangkaian Resistor		Rangkaian Resistor		
				5 P		1 P	
				2 S		6 S	
	Rangkaian baterai	8 S					
	Total discharge Current	20 A	(3C)	Total Resistance (P)	0.8 ohm	Total Resistance (P)	1 ohm
	Total Voltage	25.6 V		Watts (P)	500 W	Watts (P)	50 W
	Power	512 Wh		Current (P)	25 A	Current (P)	7.0710678 A
	resistor	1.28 ohm					
	Watts	512 W		Total Resistance (P-S)	1.6 ohm	Total Resistance (S)	6 ohm
				Total Current	17,67766953 A	Total Current	2,886751 A
				Watts dissipated	409.6		
				Amps flow	16 A		
				Jumlah total resistor	10	Jumlah total resistor	6
				Harga @	30.000	Harga @	28.700
				Total harga	300.000	Total harga	172.200
						Total resistance (15P2S + 1P2S)	1.263158
						Total power (watts)	518.82667
						Amps flow	20,26667

Lampiran 2 Perhitungan Beban 2C

Contoh hitungan load bank 2C		Spec	Power	100 W	Power	50 W	
Amperehour	20 Ah		Resistance	4 ohm	Resistance	1 ohm	
Voltage	3.2 V						
Discharge rate	2 C		Rangkaian Resistor		Rangkaian Resistor		
				10 P		1 P	
				2 S		3 S	
	Rangkaian baterai	8 S					
	Total discharge Current	40 A	(3C)	Total Resistance (P)	0.4 ohm	Total Resistance (P)	1 ohm
	Total Voltage	25.6 V		Watts (P)	1000 W	Watts (P)	50 W
	Power	512 Wh		Current (P)	50 A	Current (P)	7.071068 A
	resistor	0.64 ohm					
	Watts	1024 W		Total Resistance (P-S)	0.8 ohm	Total Resistance (S)	3 ohm
				Total Current	35,35533906 A	Total Current	4,08248 A
				Watts dissipated	819.2		
				Amps flow	32 A		
				Jumlah total resistor	20	Jumlah total resistor	3
				Harga @	30.000	Harga @	28.700
				Total harga	600.000	Total harga	86.100
						Total resistance (15P2S + 1P2S)	0.63158
						Total power (watts)	1037.653
						Amps flow	40,5333

Lampiran 3 Perhitungan Beban 3C

Contoh hitungan load bank 3C		Spec	Power	100 W	Power	50 W	
Amperehour	20 Ah		Resistance	4 ohm	Resistance	1 ohm	
Voltage	3.2 V						
Discharge rate	3 C		Rangkaian Resistor		Rangkaian Resistor		
				15 P		1 P	
				2 S		2 S	
	Rangkaian baterai	8 S					
	Total discharge Current	60 A	(3C)	Total Resistance (P)	0.266666667 ohm	Total Resistance (P)	1 ohm
	Total Voltage	25.6 V		Watts (P)	1500 W	Watts (P)	50 W
	Power	512 Wh		Current (P)	75 A	Current (P)	7.071068 A
	resistor	0,426666667 ohm					
	Watts	1536 W		Total Resistance (P-S)	0,533333333 ohm	Total Resistance (P-S)	2 ohm
				Total Current	53,03300859 A	Total Current	5 A
				Watts dissipated	1228.8		
				Amps flow	48 A		
				Jumlah total resistor	30	Jumlah total resistor	2
				Harga @	30.000	Harga @	28.700
				Total harga	900.000	Total harga	57.400
						Total resistance (15P2S + 1P2S)	0,42105
						Total power (watts)	1556,48
						Amps flow	60,8

Lampiran 4 Spesifikasi Cairan TMC 7300



TEL: 1-952-442-1140; FAX: 1-952-442-1142

Email: sales@tmcindustries.com; Website: www.tmcindustries.com

TDS of TMC-7300

Product name: 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-Decafluoro-3-methoxy-4-(trifluoromethyl)pentane

Synonyms: Fluoride electronic liquid; Heat transfer liquid; HFE-7300

CAS NO: 132182-92-4

****CONTAINS NO PFAS****

Physical Properties	Typical value
Appearance	Clear and colorless
Molecular Weight	350
Boiling Point (°C) @760 mmHg	98.0
Freeze Point (°C)	-38
Critical Temperature (°C)	243
Critical Pressure (Mpa)	1.88
Liquid Density (g/ml, 25°C)	1.67
Surface Tension (dynes/cm)	15.0
Solubility of Solvent in Water (ppmw)	<1

Solubility of Water in Solvent (ppmw)	67
Vapor Pressure (mmHg)	45
Viscosity @ 25°C (cSt)	0.71
Viscosity @ -35°C (cSt)	3.51
Absolute viscosity (mPa.S)	1.18
Specific heat (J/Kg-K)	1140
Heat of Vaporization (Kj/kg)	102
Coefficient of expansion (K ⁻¹)	0.0013
Thermal Conductivity (W/m-K)	0.063
Dielectric Strength@1atm 0.1"gap (KV)	>25
Dielectric Constant@1kHz	6.14
Volume Resistivity (Ohm-cm)	10 ¹¹

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bekasi, 7 Juli 2002, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal yaitu di TK Efrata Kabupaten Bogor, SD Jatirasa V, SMPN 12 Bekasi, dan SMAN 2 Gunungputri. Setelah lulus dari SMAN 2 Gunungputri tahun 2020, Penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS pada tahun 2020 dan terdaftar dengan NRP 5019201137. Pada tahun akhir masa kuliah, penulis mengambil konsentrasi Tugas Akhir di bidang studi Marine Fluid Machinery and System (MMS). Di departemen Teknik Sistem Perkapalan Penulis aktif dalam beberapa organisasi antara lain menjadi Komandan Tingkat Mahasiswa DTSP Angkatan 2020, Ketua Divisi Departemen Dalam Negeri Himasiskal FTK-ITS, Ketua Divisi Internal Laboratorium Marine Fluid Machinery and System (MMS), dan Staf Ahli Divisi Futsal Putra UKM Sepakbola ITS. Penulis juga memiliki pengalaman magang di PT. Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit VI selama satu bulan, PT. Adiluhung Saranasegara Indonesia selama satu bulan, dan PT. Salam Pacific Indonesia Lines selama 6 bulan. Selama penulisan tugas akhir ini, penulis tak luput dari kekurangan, maka dari itu penulis sangat terbuka terhadap diskusi lebih luas mengenai inovasi yang dapat dikembangkan dari tugas akhir ini dengan menghubungi email: karesna77@gmail.com