

**ANALISIS SISTEM PENDINGIN BATERAI *TIPE WAVY*
CHANNEL DENGAN MEDIUM UDARA**



TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Strata -1 (S1) Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

Disusun Oleh:

Tubagus Muhammad Nuriman

3331180066

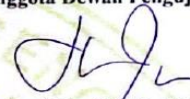



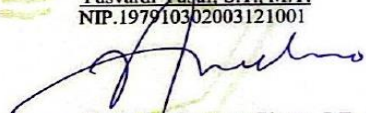
**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON – BANTEN**

2024

No : 052/UN.43.3.1/PK.03.09/2024

TUGAS AKHIR**Analisis Sistem Pendingin Baterai Tipe Wavy Channel Dengan Medium Udara**

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Tubagus Muhammad Nuriman
3331180066telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 27 Juni 2024**Pembimbing Utama**Yusvardi Yusuf, S.T., M.T.
NIP.197910302003121001**Anggota Dewan Penguji**Shofianul Ula, S.Pd.I., M.Eng.
NIP.198403132019032009
Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T.
NIP.198902262015041002
Ir. Dedy Triawan Supravogi, ST., M. Eng., Ph. D.
NIP. 198206212022031001
Yusvardi Yusuf, S.T., M.T.
NIP.197910302003121001
Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T.
NIP.198902262015041002**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Tanggal, 10 Juli 2024

Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

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

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini,

Nama : Tubagus Muhammad Nuriman

NPM : 3331180066

Judul : Analisis Sistem Pendingin Baterai Tipe Wavy Channel Dengan Medium Udara

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

MENYATAKAN

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

Cilegon, 20 Juli 2024



Tubagus Muhammad Nuriman
NPM. 3331180066

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala, berkat curahan karunia -Nya , penulis dapat Menyusun Proposal Tugas Akhir ini. Penulisan Proposal Tugas Akhir dengan Judul “Analisis Sistem Pendingin Baterai Tipe *Wavy Channel* Dengan Medium Udara” dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memulai penelitian dan Sidang Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga pada penyusunan tugas akhir ini, mustahil dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng, sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., MT., sebagai Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah membantu dan menuntun dalam penyelesaian tugas akhir.
3. Bapak Dr. Mekro Pinem, S.T., MT., sebagai Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah membantu dan menuntun dalam penyelesaian tugas akhir.
4. Bapak Dr. Mekro Pinem, S.T., MT., sebagai Kordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
6. Bapak TB.Faisal dan Ibu Ita Novita selaku kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendoakan dan mendukung dalam menjalankan kegiatan perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir.
7. Teman – teman Teknik Mesin Angkatan 2018 yang telah membantu dan mendukung dalam perkuliahan selama ini.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak sekali tantangan yang dihadapi, akan tetapi semua dapat terwujud berkat bantuan dan dukungan dari segala pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah

membantu dalam penyelesaian tugas akhir, semoga bantuannya mendapat balasan yang setimpal di sisi-Nya.

Penulis menyadari banyak sekali kekurangan dalam penyusunan dan penulisan dalam Penyelesaian Tugas Akhir ini, baik segi tata bahasa kalimat maupun isi. Oleh karena itu penulis menerima segala kritik dan saran yang dapat membangun. Penulis berharap semoga Penyelesaian Tugas Akhir ini dapat memberikan banyak manfaat serta dapat menambah wawasan bagi seluruh pembaca.

Cilegon, Juni 2024

Penulis

ABSTRAK

ANALISIS SISTEM PENDINGIN BATERAI *TIPE WAVY CHANNEL* DENGAN MEDIUM UDARA

Disusun oleh:

Tubagus Muhammad Nuriman

3331180066

Penggunaan sistem pendingin baterai tipe *wavy channel* adalah salah satu pengaruh fragmentasi aliran terhadap hidrotermal melalui studi eksperimental yang didukung oleh pemodelan. Sistem pendingin baterai *wavy channel* memiliki dua saluran fluida kerja untuk masuk (*inlet*) dan dua saluran keluar (*outlet*). Baterai adalah Baterai merupakan untuk meningkatkan jarak tempuh kendaraan listrik. Prinsip kerja baterai terdiri dari 4 bagian penting anoda, katoda, elektrolit dan separtor. Selama proses pemakaian listrik (*Discharge*) elektron dari anoda mengalir dari katoda melalui kabel konektor, sedangkan ion-lithium dalam sistem lepas dari anoda karena kekurangan elektron untuk melalui elektrolit. Selama pengisian (*Charge*), elektron dari katoda mengalir ke anoda melalui kabel konektor. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui temperatur baterai antara yang menggunakan pendingin udara dan tanpa pendingin udara, menganalisis performa baterai terhadap waktu *Discharge* dan *charge lithium* baterai dengan pendingin yang menggunakan udara dengan variabel laju aliran volume sebesar 5 lpm, 10 lpm, dan 15 lpm.

Sistem pendingin baterai dilakukan dengan jumlah 3 variasi tekanan udara yaitu 5 lpm, 10 lpm, 15 lpm. Hasil kondisi performa baterai sistem pendingin tipe *wavy channel* didapatkan pada variasi *discharge* yaitu

dengan tekanan udara 5 lpm sebesar 0,1998, tekanan udara 10 lpm sebesar 0,1838, tekanan udara 15 lpm sebesar 0,2096, variasi *charge* yaitu dengan tekanan udara 5 lpm sebesar 0,1827, tekanan udara 10 lpm sebesar 0,1854, dan tekanan udara 15 lpm sebesar 0,2083.

Kata Kunci: Baterai Tipe *Wavy Channel*, Tekanan Udara *Charge*, Tekanan Udara *Discharge*

ABSTRACT

ANALYSIS OF WAVY CHANNEL TYPE BATTERY COOLING SYSTEM WITH AIR MEDIUM

Submitted by :

Tubagus Muhammad Nuriman

33311800066

The use of a wavy channel type battery cooling system is one of the effects of flow fragmentation on hydrothermal through experimental studies supported by modeling. The wavy channel battery cooling system has two working fluid channels to enter (inlet) and two channels to exit (outlet). The battery is to increase the mileage of electric vehicles. The working principle of a battery consists of 4 important parts: anode, cathode, electrolyte and separator. During the process of using electricity (discharge), electrons from the anode flow from the cathode through the connector cable, while the lithium-ions in the system escape from the anode due to a lack of electrons to pass through the electrolyte. During charging, electrons from the cathode flow to the anode through the connector cable. The aim of this research is to determine the battery temperature between those using air cooling and those without air cooling, to analyze the performance of the battery over the time it is charged to the lithium battery with different load variations with a cooler using air with variable volume flow rates of 5 lpm, 10 lpm, and 15 lpm.

The battery cooling system is carried out with 3 variations of air pressure, namely 5 lpm, 10 lpm, 15 lpm. The results of the battery performance conditions of the wavy channel type cooling system were obtained from discharge variations,

namely with 5 lpm air pressure of 0.1998, 10 lpm air pressure of 0.1838, 15 lpm air pressure of 0.2096, charge variations namely with 5 lpm air pressure of 0.1827, 10 lpm air pressure of 0.1854, and 15 lpm of air pressure of 0.2083.

Keywords: Wavy Channel Type Battery, Charge Air Pressure, Discharge Air Pressure

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Konsep Dasar Baterai.....	5
2.2 Baterai Lithium-ion.....	5
2.2.1 Prinsip Kerja <i>Lithium-ion Battery</i>	6
2.2.2 Spesifikasi Baterai <i>Lithium-ion</i>	7
2.3 Sistem Pendingin Baterai	7
2.4 BMS (<i>Batttery Management System</i>).....	9
2.5 Kompresor	10
2.6 Alumunium Serpentine	11
2.7 Mekanisme Perpindahan Panas).....	11
2.8 Fluida.....	13

2.9 <i>Reynold Number</i>	14
2.10 Konduktivitas Thermal.....	15
2.11 <i>Heat Generation</i>	16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Skema Kerja Alat	19
3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan.....	19
3.4 Prosedur Penelitian.....	24
3.4.1 Pengujian Tanpa <i>Wavy Channel</i>	24
3.4.2 Pengujian Menggunakan <i>Wavy Channel</i>	24
3.4.3 Prosedur Kalibrasi <i>Thermocouple</i>	25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian.....	26
4.1.1 Laju aliran 5 LPM (Discharge)	26
4.1.2 Charge 5 LPM.....	28
4.1.3 Discharge 10 LPM	29
4.1.4 Charge 10 LPM.....	30
4.1.5 Disharge 15 LPM	32
4.1.6 Charge 15 LPM.....	33
4.2 Perbandingan Temperatur Medium Udara Dengan Tanpa Pendingin	34
4.3 Tahapan Perhitungan.....	35
4.3.1 Variasi Aliran Searah (Pararel Flow)	35
4.4 Analisa Hasil Perhitungan.....	44

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Baterai Lithium Ion	7
Gambar 2.2 BMS (<i>Battery Management System</i>)	10
Gambar 2.3 Kompresor	11
Gambar 2.4 Skema Perpindahan Panas	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3.2 Skema Kerja Alat Penelitian.....	19
Gambar 3.3 <i>Battery Lithium-ion</i>	19
Gambar 3.4 BMS (<i>Battery Management System</i>)	20
Gambar 3.5 Serpentine	20
Gambar 3.6 Komperesor.....	21
Gambar 3.7 Lampu	21
Gambar 3.8 Flow Meter.....	22
Gambar 3.9 Multimeter	22
Gambar 3.10 Flir.....	23
Gambar 3.11 <i>Waterbatch</i>	23
Gambar 3.11 <i>Themocouple</i>	24
Gambar 4.1 Temperatur rata-rata baterai <i>Discharge</i> 5 LPM.....	26
Gambar 4.2 Temperatur In-Out Udara <i>Discharge</i> 5 LPM	27
Gambar 4.3 Temperatur rata-rata baterai <i>Charge</i> 5 LPM	28
Gambar 4.4 Temperatur In-Out Udara <i>Charge</i> 5 LPM.....	28
Gambar 4.5 Temperatur rata-rata baterai <i>Discharge</i> 10 LPM.....	29
Gambar 4.6 Temperatur In-Out Udara <i>Discharge</i> 10 LPM	30
Gambar 4.7 Temperatur rata-rata baterai <i>Charge</i> 10 LPM	31
Gambar 4.8 Temperatur In-Out Udara <i>Charge</i> 10 LPM.....	31
Gambar 4.9 Temperatur rata-rata baterai <i>Discharge</i> 15 LPM.....	32

Gambar 4.10 Temperatur In-Out Udara <i>Discharge</i> 15 LPM.....	33
Gambar 4.11 Temperatur rata – rata baterai <i>Charge</i> 15 LPM.....	33
Gambar 4.12 Temperatur In – Out Udara <i>Charge</i> 15 LPM	34
Gambar 4.13 Perbandingan temperatur Udara Dengan Tanpa Pendingin <i>Discharge</i>	35
Gambar 4.14 Perbandingan temperatur Udara Dengan Tanpa Pendingin <i>Charge</i>	35

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Baterai Lithium – Ion</i> 18650.....	7
Tabel 2.2 Klasifikasi Fluida non newtonian.....	14
Tabel 4.1 Data Hasil <i>Discharge</i> 5 LPM	36
Tabel 4.2 Data Hasil <i>Charge</i> 5 LPM.....	38
Tabel 4.3 Data Hasil <i>Discharge</i> 10 LPM.....	40
Tabel 4.4 Data Hasil <i>Charge</i> 10 LPM.....	41
Tabel 4.5 Data Hasil <i>Discharge</i> 15 LPM.....	43
Tabel 4.6 Data Hasil <i>Charge</i> 15 LPM.....	44
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan DataUdara.....	46
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan.....	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan baterai dibidang *industry* saat ini sangat pesat, dengan meningkatnya kebutuhan *power supply*. Untuk mengetahui kelayakan dan ketahanan dari baterai, maka harus mengetahui kualitas baterai dalam menahan beban yang diberikan. Untuk mengetahui apakah baterai terjadi jatuh tegangan atau tidak, sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Saat ini pemanfaatan energi listrik di sudah mulai diminati oleh seluruh lapisan masyarakat. Penggunaan energi listrik baik pada kendaraan pribadi maupun kendaraan umum terutama didorong oleh ketersediaan dan harga Bahan Bakar Minyak (BBM) yang relatif tinggi, serta meningkatnya pencemaran udara akibat asap kendaraan bermotor. Pada permulaan era kendaraan listrik di Indonesia sekitar tahun 1900, kendaraan listrik merupakan yang paling banyak dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar minyak atau uap. Pada periode inilah kendaraan listrik pertama kali muncul dalam sejarah. (Kumara, 2008)

Baterai merupakan teknologi kunci untuk meningkatkan jarak tempuh kendaraan listrik. Baterai berfungsi sebagai alat penyimpan energi listrik yang akan digunakan untuk mensuplai motor listrik selama kendaraan bergerak. perangkat penyimpan energi listrik, dan merupakan bagian paling penting perangkat elektronik portable. Baterai berbasis lithium memiliki keunggulan karena terbuat dari logam lithium, yang merupakan logam paling ringan di antara logam lainnya, sehingga dapat menghasilkan kepadatan energi yang tinggi dan memiliki masa pakai yang lama. Sistem manajemen baterai (BMS) adalah sistem elektronik yang mengelola baterai isi ulang (sel atau cell), melindungi baterai agar tidak beroperasi di luar batas aman, memantau kondisinya, dan mengontrol suhu sekitar. Ada berbagai jenis baterai untuk kendaraan listrik: *ultracapacitor*, *lithium-ion*, *nickel-metal hydride*, *leadacid*, *solit-state*, dan *nickel-cadmium*. Jenis baterai untuk motor listrik antara lain: *leadacid*, *lithium polymer*, dan *lithium ion*. Baterai Li-ion menjadi kandidat yang menjanjikan sebagai sumber listrik karena keunggulannya, seperti biaya

yang relatif rendah, tingkat *self-discharge* (pengeluaran arus listrik dalam keadaan tanpa beban) yang rendah, masa pakai yang lama, serta daya dan densitas energi yang tinggi. (Giant Philip Dewanta, 2022)

Pengolahan baterai terjadi adanya proses *electrochemical* (reaksi elektrokimia didalam baterai) dan *joule heating* (panas akibat arus listrik melewati konduktor) yang terjadi saat baterai beroperasi. Kendaraan listrik adalah kendaraan yang tidak menggunakan gas dan ditenagai oleh generator, motor listrik, dan baterai atau baterai *lithium-ion*. Kendaraan listrik pada umumnya menggunakan baterai, untuk pengisian energinya dapat dilakukan dengan cara di *charge* yang dihasilkan dari sumber pembangkit listrik. Kendaraan Listrik terdiri dari kendaraan listrik, sepeda motor listrik, dan sepeda listrik. Maka, suhu baterai li-ion yang akan digunakan 25-40°C agar berfungsi baik dan tahan lama. Jika baterai dapat disusun dengan baik maka sel-sel baterai tersebut tersusun rapih, perbedaan suhu antara setiap sel baterai tidak melebihi 5°C yang dianggap sebagai suhu optimal saat baterai beroperasi. (Yoga Pratama, 2023)

Kebutuhan akan pengisian baterai cepat menjadi salah satu pilihan untuk baterai dapat berbeda dari kapasitas nominalnya, diantaranya karena kapasitas baterai bergantung pada umur dan keadaan baterai, parameter *charging* dan *discharging*, dan temperatur. (Udin M., 2017.)

Pada kondisi baterai digunakan, diperlukan sistem pendingin baterai dengan memanfaatkan perpindahan panas secara konduksi dengan jenis pendingin. Ada beberapa jenis pendingin yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain nanofluids, air dan fluida udara yang akan dialirkan pada *wavy mini channel*. Baterai tipe *Wavy Mini Channel* adalah perangkat pendingin yang terbuat dari alumunium untuk memenuhi kebutuhan pendinginan perangkat elektronik yang berbentuk paket sirkuit bergelombang. Selain itu, kapasitas baterainya memungkinkannya menempuh jarak tertentu melalui pengisian daya yang efisien, sehingga menghasilkan kemampuan pengisian cepat. Tetapi dengan pengisian cepat baterai akan berdampak pada peningkatan termal yang terjadi pada kemasan baterai. Sehingga perlu dibuatkan desain sistem pendingin yang mampu mengurangi panas yang terjadi pada saat pengisian.

Penelitian tugas akhir ini, akan menganalisis sistem pendingin baterai pada modul baterai lithium-ion 18650, yang disusun secara seri dan terdiri dari 13 sel baterai. Untuk mendinginkan baterai selama pengosongan, modul baterai dilengkapi dengan sistem pendingin berbasis saluran bergelombang. Dengan adanya beberapa studi kasus diatas, maka dari itu penulis mengajukan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Sistem Pendingin Baterai Tipe Wavy Channel dengan Medium Udara**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah beberapa rumusan masalah dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana perbedaan penurunan temperatur baterai dengan media pendingin udara?
2. Bagaimana performa baterai lithium saat diberikan beban lampu, setelah diberikan pendingin berupa udara, dengan variabel laju aliran volume sebesar 5 lpm, 10 lpm, dan 15 lpm ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang didapat dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Pendingin yang digunakan untuk penelitian ini yaitu menggunakan udara.
2. Fluida yang digunakan udara pada kompresor.
3. Pengujian dengan variasi laju aliran 5 lpm, 10 lpm, 15 lpm.
4. Pengatur laju aliran volume menggunakan katup yang di atur, dan dibaca dengan menggunakan alat ukur *flow meter*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam pengujian baterai ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui temperatur baterai yang menggunakan pendingin udara.

2. Menganalisis performa baterai terhadap waktu *Dicharge* dan *Charge* *lithium* baterai dengan beban lampu, dengan pendingin yang menggunakan udara dengan variabel laju aliran volume sebesar 5 lpm, 10 lpm, dan 15 lpm.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah manfaat yang akan di dapat setelah dilakukan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Sebagai inovasi perkembangan teknologi baterai guna meningkatkan efisiensi terhadap penggunaan baterai pada kendaraan listrik agar mendapat performa yang maksimal.

1.6 Metode Penelitian

Adapun sistematika dalam penulisan proposal skripsi ini di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Tahap literatur

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan data serta informasi yang berkaitan dengan pendinginan baterai yang berasal dari jurnal dan buku.

2. Tahap Percobaan

Pada tahap ini dilakukan percobaan pengukuran temperatur baterai dengan pendinginan baterai yang berasal dari jurnal dan buku.

3. Tahap Analisa dan Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan tahap terakhir dimana hasil dari percobaan akan dianalisa dan dibahas serta dibuat kesimpulan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Baterai

Baterai adalah sebuah alat yang digunakan untuk menyimpan energi kimia yang kemudian diubah menjadi energi listrik, yang dibutuhkan untuk menyalakan peralatan seperti setrika, kipas angin dan juga untuk menggerakkan mesin dan peralatan elektronik lainnya. Energi kimia yang terkandung dalam baterai dapat diubah menjadi energi listrik DC. Pada baterai yang dapat diisi ulang, prosesnya dapat dibalik, mengubah energi listrik DC menjadi energi kimia. Baterai adalah sumber energi listrik yang sangat efektif karena dapat mengoperasikan alat yang membutuhkan energi, dan sangat praktis sehingga dapat dibawa ke mana saja. Namun, kekurangan baterai adalah kapasitasnya yang terbatas dan jumlah energi yang dapat mereka simpan.

Baterai terdiri dari dua jenis, yaitu primer dan sekunder. Baterai primer dapat digunakan sekali saja, sedangkan baterai sekunder dapat digunakan untuk berbagai fungsi. Dimana anoda berfungsi sebagai kutub positif, seng (Zn) berfungsi sebagai kutub negatif, dan elektrolit berfungsi sebagai penghantar. Baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan berulang kali dan dapat diisi ulang.

2.2 Baterai *Lithium-ion*

Baterai lithium-ion merupakan baterai sekunder (*rechargeable battery*) yang dapat diisi ulang dan ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan berbahaya seperti baterai NI-Cd dan Ni yang dikembangkan sebelumnya.- MH. Baterai ini memiliki keunggulan dibandingkan baterai sekunder lainnya, yaitu stabilitas penyimpanan energi yang sangat baik (hingga 10 tahun atau lebih), kepadatan energi yang tinggi, tidak ada efek memori, dan bobot yang relatif lebih ringan dibandingkan baterai lainnya. Jadi, beratnya dalam pound, energi yang dihasilkan baterai litium dua kali lipat dibandingkan baterai lainnya.

Baterai litium-ion (LiB) adalah teknologi utama dalam inisiatif energi ramah lingkungan global saat ini karena kepadatan energinya yang tinggi, masa

pakai yang lama, pengoperasian yang aman, dan harga yang terjangkau. Teknologi ini memungkinkan terciptanya berbagai macam kendaraan listrik, aplikasi luar angkasa, dan bahkan perangkat elektronik portabel sehari-hari. Suhu pengoperasian LiB harus dikontrol dengan baik karena kinerja, kesehatan, dan keselamatannya bergantung pada suhu. Kerusakan serius akibat perubahan suhu yang berlebihan, terutama suhu tinggi, dapat menyebabkan reaksi termal yang menyebabkan kebakaran dan ledakan yang diakibatkannya. Temperatur pengoperasian yang berbeda juga akan memengaruhi kinerja LiB dari waktu ke waktu hingga tingkat yang berbeda-beda sehingga mengurangi masa pakainya. (Nazri G, 2018)

Pada tahun 1970 seorang peneliti bernama Whittingham membuat suatu penelitian pada baterai lithium-ion menggunakan logam lithium sebagai anoda. Kemudian pada tahun 1980, Rachid Yazami menukar anodanya menjadi material yang berbeda yaitu grafit dan kristal karbon. Material yang diganti dari logam lithium menjadi grafit atau karbon mengakibatkan baterai isi ulang, pada saat ini baterai lithium-ion sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari antara lain untuk kepentingan energi listrik. Selain itu baterai juga sangat dibutuhkan karena menjadi sumber energi pada kendaraan listrik. Seiring berjalannya perkembangan di dunia industri elektronika dan telekomunikasi yang sangat meningkat, permintaan baterai Lithium-ion dari hari ke hari selalu mengalami peningkatan.

2.2.1 Prinsip kerja *lithium-ion battery*

Battery lithium-ion terdiri dari 4 bagian penting anoda, katoda, elektrolit dan separator. Selama proses pemakaian listrik (*Discharge*) elektron dari anoda mengalir dari katoda melalui kabel konektor, sedangkan ion-lithium dalam sistem lepas dari anoda karena kekurangan elektron untuk melalui elektrolit. Selama pengisian (*Charge*), elektron dari katoda mengalir ke anoda melalui kabel konektor.



Gambar 2. 1 Baterai Lithium Ion 18650 sel

(Sumber : <http://id.batterypow.com>)

2.2.2 Spesifikasi Baterai *Lithium-ion*

Berikut ini adalah spesifikasi Baterai Lithium-ion 18650, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Spesifikasi Baterai Lithium-ion 18650

Spesifikasi	Nilai	Satuan
Kapasitas Sel Baterai	3	Ah (ampere-hour)
Tegangan Sel Baterai	3,7	V (volt)
Tinggi Baterai	65	mm (milimeter)
Diameter Baterai	18	mm (milimeter)
Standar Arus Pengisian	1,25	A (ampere)
Tegangan Pengosongan	2,75	V (volt)
Massa	45	g (gram)
Material Anoda	Grafit	-
Material Katoda	LiNiCoAlO ₂	-
Material Elektrolit	Lithium salt (LiPF ₆)	-

2.3 Sistem Pendingin Baterai

Sistem pendingin baterai merupakan bagian yang membantu baterai menjaga suhu ideal. Melalui sistem pendingin, kenaikan suhu akibat pengoperasian baterai dapat dikurangi sehingga mencegah terjadinya panas berlebih dan membuat baterai dapat bekerja secara maksimal.

A Sistem Pendingin *Wavy Channel*

Sistem pengoperasian pendingin *wavy channel* memiliki banyak variasi suhu antara masing-masing baterai secara signifikan berdampak pada fungsi baterai dengan kondisi hidup, batas penggunaan, dan keamanannya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem pendingin yang dapat menghilangkan kelebihan panas yang ditimbulkan pada berbagai komponen tersebut. Pengaruh fragmentasi aliran fluida terhadap peningkatan performa hidrotermal pendingin saluran *wavy channel*. *Wavy channel* dan mempelajari pengaruh fragmentasi aliran pada kinerja hidrotermal melalui studi eksperimental yang didukung oleh pemodelan. Dua desain baru yaitu aliran ortogonal dan aliran diagonal sesuai susunan aliran masuk dan keluar. Sistem pendingin *wavy channel* memiliki dua saluran fluida kerja untuk masuk (*inlet*) dan dua saluran keluar (*outlet*). Uji *wavy channel cold plate* yang dikembangkan ini bekerja dengan sistem loop tertutup yaitu, saat pompa dihidupkan fluida yang berada di reservoir akan bergerak melewati *flowmeter* menuju ke arah *cold plate* sistem. *Heater* yang berada pada bagian bawah *cold plate* sistem akan memanasi blok tembaga dan diteruskan secara konduksi ke serpentine *cold plate*. Kemudian fluida yang mengalir di dalam channel akan menyerap panas yang berasal dari serpentine *cold plate* selanjutnya fluida akan keluar dari *cold plate* sistem menuju *heat exchanger* untuk didinginkan dan setelah itu akan masuk ke dalam reservoir dan disirkulasikan kembali.

1. Perpindahan kalor akibat konveksi

$$Q = h A_s (T_s - T_f) \text{ atau } q'' = h (T_s - T_f)$$

Untuk nilai T_s , diperoleh dengan persamaan

$$T_s = T_w - q'' \cdot R_{watt}$$

2. *Internal Forced Convection*

Internal Forced Convection yaitu mekanisme konveksi dalam aliran yang melewati pipa atau saluran.

Kecepatan rata-rata dan bulk mean fluid temperature

nilai dari kecepatan rata-rata *cross sectional* sebuah aliran dalam internal flow didapat dari hukum konservasi massa.

$$m = \rho V_{avg} A_c = \int A_c \rho U(r) dA_c$$

Keterangan :

m = laju aliran massa

ρ = densitas fluida

A_c = Luasan Crosssectional

$U(r)$ = Profil Kecepatan Air

Pada kasus *internal flow*, properties dari fluida biasanya di evaluasi dari *bulk mean fluid temperature*, dimana nilainya adalah;

$$T_b = (T_i - T_e)/2$$

$T_i - T_e$ = Temperatur *Inlet* dan Temperatur *Outlet* dari fluida

B. Pendingin udara

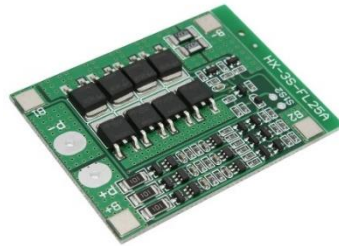
Media yang digunakan adalah suhu udara. Suhu baterai dikurangi dengan mensirkulasikan udara pendingin yang bersentuhan dengan permukaan luar baterai. Efek samping yang tidak diinginkan dari penggunaan sistem pendingin jenis ini adalah kebisingan. Ada dua cara pendinginan udara: konveksi udara alami dan konveksi udara paksa. Keuntungan menggunakan metode pendingin udara ini adalah viskositas rendah, ringan, konfigurasi sederhana, biaya rendah, dan perawatan mudah. Oleh karena itu, braket jenis ini banyak digunakan sebagai sistem pendingin baterai. Kerugian dari dukungan ini adalah suhu baterai yang tidak stabil dan tingkat pengosongan yang tinggi. Oleh karena itu, cara ini bisa diterapkan pada baterai yang menghasilkan panas rendah.

2.4 BMS (*Battery Management System*)

BMS adalah sebuah komponen untuk baterai lithium dengan susunan seri bertegangan 3,7 volt yang terdiri dari sensor voltase, sensor arus, dan proteksi pemutus, yang fungsinya untuk memastikan kinerja yang optimal, keamanan, dan umur panjang baterai dengan mengawasi berbagai aspek yang berkaitan dengan baterai tersebut. (Inovtek, J., (2019)

Komponen BMS biasanya mencakup perangkat keras termasuk perlindungan sirkuit, sistem sensor, akuisisi data, kontrol muatan, komunikasi, dan manajemen termal. Sedangkan perangkat lunaknya meliputi penentuan

State of Health (SOH) dan penentuan SOC. Penentuan SOH merupakan indikasi kesehatan baterai melalui beberapa jenis pengukuran baterai, deteksi kerusakan, dan antarmuka pengguna. Sedangkan penentuan SOC adalah dengan memprediksi tingkat energi atau kapasitas baterai yang digunakan, dengan SOC dapat menentukan apakah baterai harus diisi atau harus dihentikan pengisiannya. Kondisi pengisian dan pengosongan yang tepat dapat memengaruhi masa pakai baterai lebih lama karena reaksi kimia.



Gambar 2. 2 BMS (*Battery Management System*)

(Sumber : <https://ecadio.com/modul-bms-20a-balace-charger>)

2.5 Kompresor

Kompresor menghasilkan udara dengan tekanan yang lebih tinggi karena proses penempatan, dengan tekanan udara. Baik secara langsung maupun tidak langsung, kita sering menggunakan udara segar setiap hari. Sebagai contoh udara mampat digunakan untuk membersihkan bagian mesin.

Kompresor memainkan peran penting dalam berbagai industri, baik sebagai sumber udara bertekanan atau sebagai komponen integral mesin. Mereka penting untuk menggerakkan mesin pneumatik, dan penerapannya sangat luas. Mencapai kesatuan sejati dengan berbagai komponen mesin, khususnya turbin gas dan mesin pendingin, adalah tujuan akhir lainnya.

Mari kita perhatikan kasus kompresor dasar, seperti pompa ban sepeda atau mobil, untuk mengilustrasikan cara kerja kompresor. Prinsip kerja kompresor dapat dipahami sebagai berikut: ketika piston pompa ditarik ke atas, tekanan di bawah silinder berkurang. Katup kulit yang lentur dirancang untuk menciptakan ruang hampa dengan mengurangi tekanan di bawah tingkat atmosfer, memungkinkan udara masuk melalui celah katup hisap yang longgar.



Gambar 2.2 Kompresor

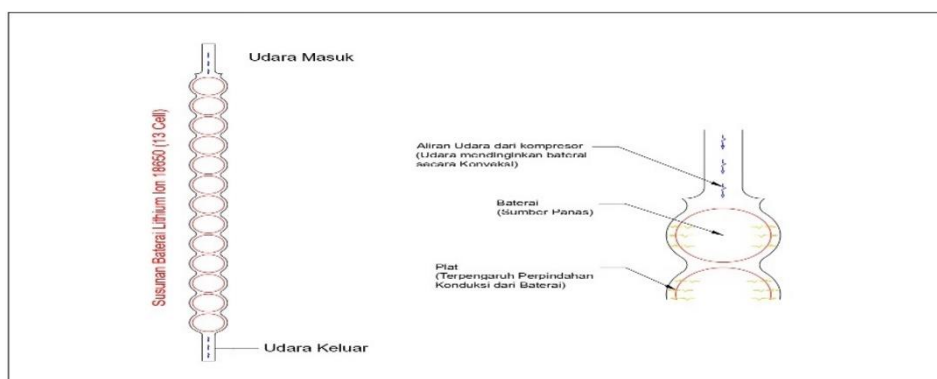
(Sumber : <https://www.niagamas.com/produk/nlg-kompresor-listrik-bac-5010-10hp-500ltr/>)

2.6 Alumunium Serpentine

Wavy Channel, atau alumunium serpentine, adalah material alumunium berbentuk gelombang yang dapat menyalurkan udara dan mendinginkan baterai dengan hanya sedikit perubahan saluran lurus. penelitian yang menunjukkan bahwa saluran gelombang dapat memprediksi perpindahan panas dan massa pada aliran laminar dengan bilangan *Reynolds* rendah.

2.7 Mekanisme Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan dari suatu zat ke zat lain dapat terjadi dalam kehidupan sehari-hari baik penyerapan atau pelepasan kalor untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan dalam proses berlangsung. Mekanisme perpindahan panas terdiri dari 3 bagian yaitu, sebagai berikut: (Syahrir M, 2016)



Gambar 2.3 Skema Perpindahan Panas

1. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses dengan mana panas yang mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu rendah di dalam satu medium (dapat cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam proses perpindahan kalor secara konduksi terdapat laju hantaran kalor. Laju hantaran kalor menyatakan seberapa cepat kalor dihantarkan melalui medium itu. Terdapat besaran – besaran yang mempengaruhi dalam laju hantaran kalor yaitu luas permukaan benda, panjang atau tebal benda, perbedaan suhu antar ujung benda dan juga dipengaruhi oleh konduktivitas termal. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu (temperatur gradient), maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. (Irawati E., 2019)

2. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi merupakan antara batas benda padat dan fluida terjadi dengan adanya suatu gabungan dari konduksi dan angkutan (*transport*) massa. Jika batas tersebut bertemperatur lebih tinggi dari fluida, maka panas terlebih dahulu mengalir secara konduksi dari benda padat ke partikel-partikel fluida di dekat dinding. Dalam konveksi paksa, arus aliran digerakkan oleh zat eksternal seperti pengaduk atau pompa yang tidak bergantung pada gradien densitas. Tingkat perpindahan panas yang lebih tinggi dimungkinkan dengan 12 konveksi paksa dibandingkan dengan konveksi alami. (Jotho., 2019)

3. Perpindahan Panas Radiasi

Proses perpindahan panas mengalir dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur lebih rendah bila benda tersebut terpisah di dalam ruang. Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur yang dipindahkan melalui ruang antara dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpah suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan. (Syahrir, 2016)

2.8 Fluida

Aliran Fluida terdapat tiga fase yaitu, padat, cair dan gas. Fase cair dan gas memiliki karakteristik tidak mempertahankan bentuk yang tetap, sehingga keduanya memiliki kemampuan untuk mengalir yaitu disebut fluida. Fluida merupakan zat yang berubah bentuk secara terus-menerus ketika adanya tegangan geser, terlepas dari ukurannya. Perbedaan zat cair dan gas yaitu, zat cair merupakan zat yang tak mampu mampat (*incompressible*), sedangkan gas merupakan zat yang mampu mampat (*compressible*). Kompresibilitas adalah perubahan (kontraksi) dalam volume karena adanya perubahan (penambahan) tekanan. Untuk fluida cair, tekanan dapat diabaikan dan viskositas menurun dengan cepat ketika temperature naik. Untuk fluida secara umum, tegangan dan laju regangan geser (gradient kecepatan) dapat dihubungkan dalam suatu hubungan dalam bentuk. Fluida terdapat 2 jenis yaitu, sebagai berikut:

1. Fluida *Newtonian*

Fluida *Newtonian* adalah suatu fluida yang memiliki kurva tegangan/regangan yang linier. Kelebihan dari fluida *newtonian* adalah fluida ini akan terus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Hal ini disebabkan karena viskositas dari suatu fluida *newtonian* tidak berubah ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida. Viskositas dari suatu fluida *newtonian* hanya bergantung pada temperatur dan tekanan. Viskositas sendiri merupakan suatu konstanta yang menghubungkan besar tegangan geser dan gradien kecepatan. Rumus yang akan digunakan:

2. Fluida *Non-Newtonian*

Fluida *non-newtonian* adalah fluida yang akan mengalami perubahan viskositas ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut. Hal ini menyebabkan fluida *non-newtonian* tidak memiliki viskositas yang konstan dan laju deformasi berlangsung tak *linier* atau dengan kata lain tidak memenuhi hukum linierisasi.

Tabel 2.2 Klasifikasi Fluida *non-newtonian* (Dwi Sulistyaningtyas, 2015)

Tipe Fluida	Perilaku	Karakteristik	Contoh
Plastis Padat	Plastis Sempurna	Tegangan tidak menghasikan regangan yang berkebalikan	Logam duktil
	Plastis Bingham	Tegangan geser dan regangan memiliki hubungan linier bila batas tegangan geser mulai berpengaruh terlampui	Lumpu, beberapa koloid
	Yield Pseudoplastis	Pseudoplastis yang melampui beberapa batas tegangan geser mulai berpengaruh	
	Yield Dilatant	Dilatant yang melampui beberapa batas tegangan geser mulai berpengaruh	
Fluida Eksponensial	Pseudoplastis	Pengurangan viskositas terlihat dengan jelas dengan adanya peningkatan gaya geser	Beberapa koloid, tanah liat, susu, gelatin darah
	Dilatant	Peningkatan viskositas terlihat dengan jelas dengan adanya peningkatan gaya geser	Larutan gula pekat dalam air, suspensi pati beras atau pati jagung
Viskoelastis	Material Maxwell	Kombinasi linier dari "seri" dari efek elastis dan viskos	Logam material komposit
	Fluida Oldroyd-B	Kombinasi linier dari perilaku Maxwell dan Newtonian	Bitumen, adonan nilon
	Anelastis	Material kembali ke bentuk awal jika gaya yang bekerja dihilangkan	
Viskositas yang bergantung waktu	Rheopektik	Peningkatan viskositas terlihat dengan jelas seiring dengan lama durasi tegangan	Beberapa lubrikan
	Tiksotropik	Penurunan viskositas terlihat dengan jelas seiring dengan lama durasi tegangan	Saus tomat dan beberapa jenis madu

2.9 Reynold Number

Bilangan *reynold* adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk mewakili jenis aliran. Bilangan *Reynolds* adalah rasio gaya inersia terhadap gaya lengket. Jenis aliran dapat dicirikan oleh bilangan *Reynolds* besar atau kecil. Semakin tinggi bilangan *reynolds*, semakin turbulen aliran tersebut. Pada saat yang sama, jika bilangan *Reynolds* semakin kecil, semakin laminar alirannya. Bilangan *Reynolds* adalah perbandingan gaya inersia dan gaya viskos. Menggunakan Persamaan bilangan *reynolds* mengenai aliran fluida cair dalam selang, yaitu: (A, Dhawysulthan M., 2022)

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$

Keterangan :

Re = Bilangan Reynold

ρ = Massa Jenis (Kg/m^3)

V = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

μ = Viskositas Dinamik (Pa·s atau N·s/m²)

2.10 Konduktivitas Thermal

Menurut Giancoli (2001) Konduktivitas termal (*k*), adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Konduksi termal adalah suatu fenomena transport di mana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah benda panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebih rendah. Panas yang di transfer dari satu titik ke titik lain melalui salahsatu dari tiga metoda yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduktivitas termal = laju aliran panas \times jarak / (luas \times perbedaan suhu) (Kartasmita., 2015.)

$$k = \frac{Q}{t \times A \times \Delta T}$$

Keterangan :

Q = Jumlah Panas yang transfer (*joule*)

t = Waktu

A = Permukaan Luas (m²)

ΔT = Perubahan Suhu (K atau °C)

2.11 Heat Generation

Daya Listrik

Satuan daya listrik dalam SI adalah Watt, yang didefinisikan sebagai berubahnya energi terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan arus. Daya dalam watt diserap oleh suatu beban pada setiap saat sama dengan jatuh tegangan pada beban tersebut (volt) dikalikan dengan arus yang mengalir lewat beban (Ampere), atau Daya listrik terbagi menjadi tiga jenis, yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya nyata : (Mardwianta, B. 2017)

$$P = I \times V$$

Keterangan :

P = Daya Listrik (Watt)

I = Arus (A)

V = Tegangan Listrik (V)

$$T_{cell} \Delta S \frac{I}{nf}$$

Keterangan :

I = Arus (A)

T_{cell} = Temperatur awal (°C)

ΔS = Entropy (J/k)

Nf = Jumlah Keseluruhan

$$Q = A \times h (T_{cell} - T_{amb})$$

Keterangan :

Q = Total Panas Yang Ditranfer (Joule)

A = Luas Penampang (m^2)

h = Koefisien Thermal ($J/°C$)

T_{cell} = Temperatur Awal (°C)

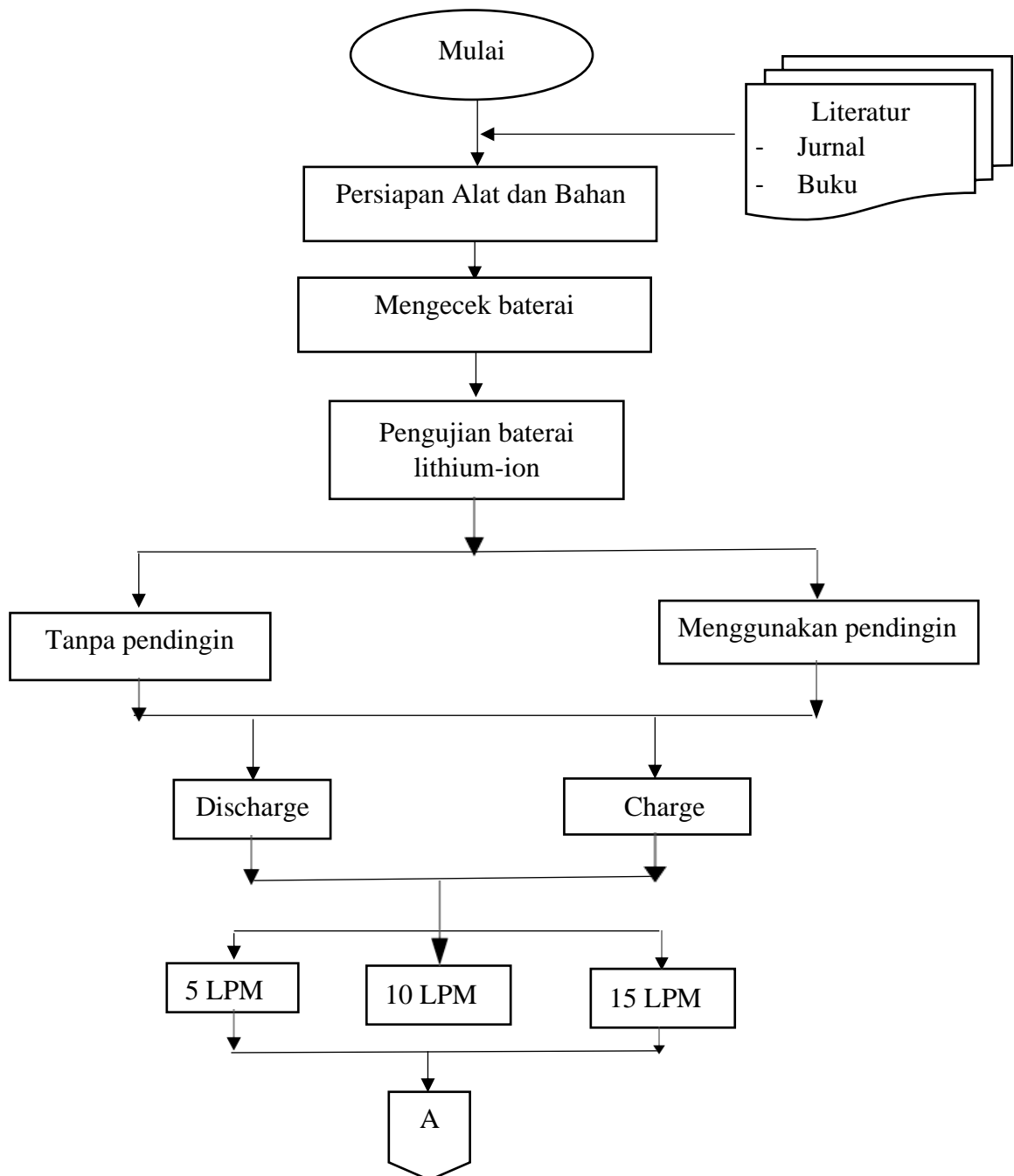
T_{cell} = Temperatur Akhir (°C)

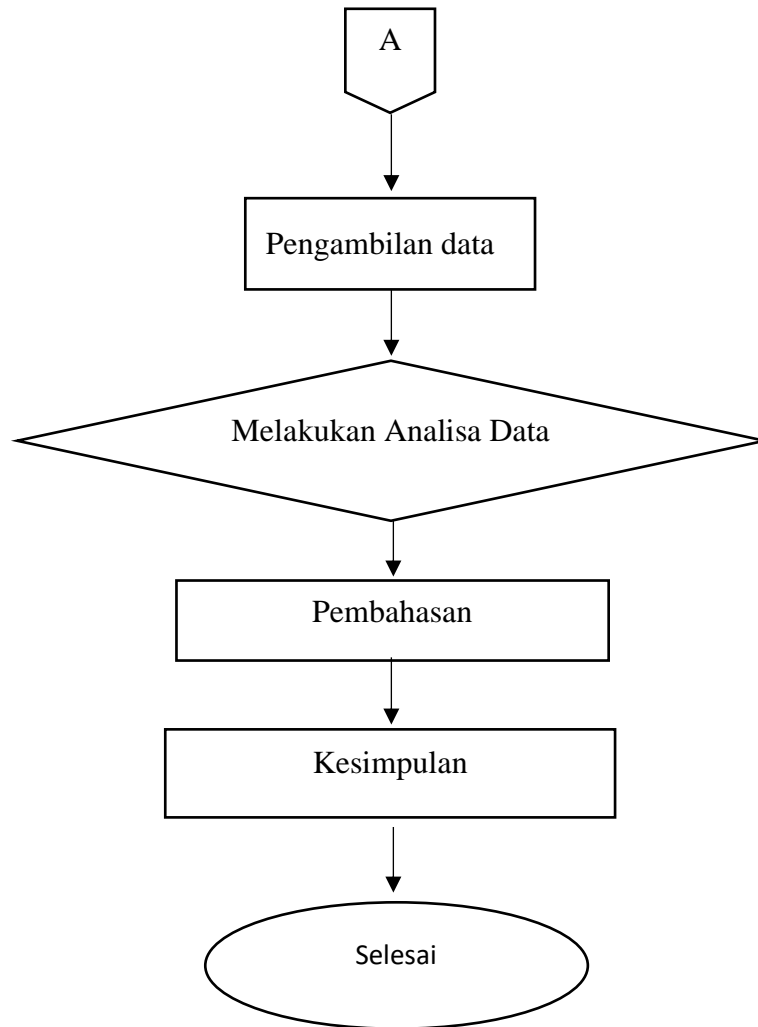
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir yang dilakukan dalam beberapa tahapan penelitian dapat dilihat sebagai berikut.

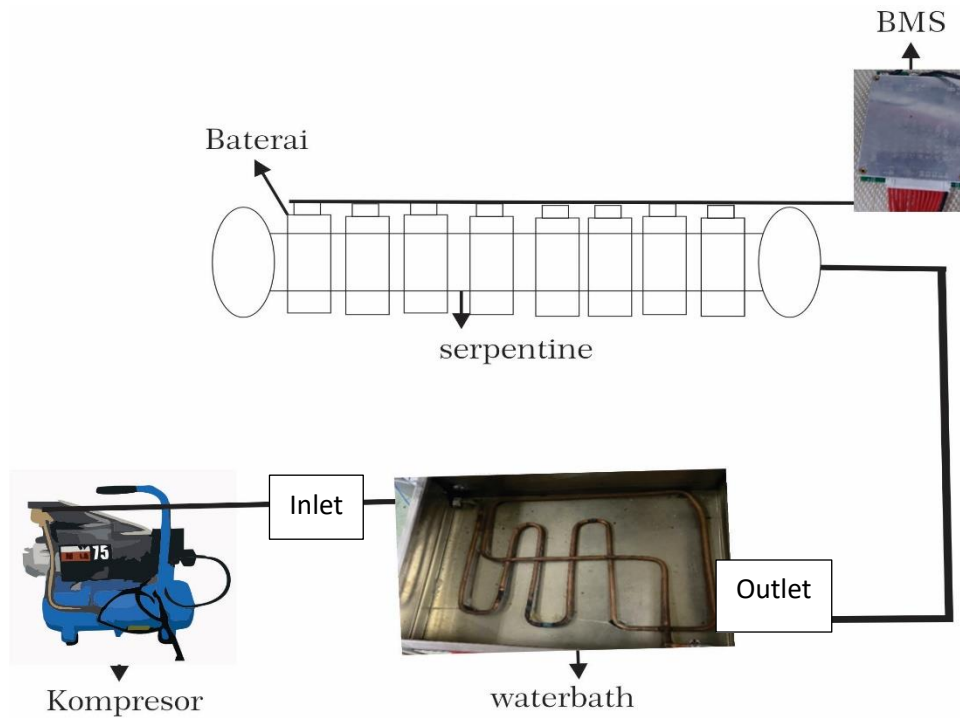




Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Skema Kerja Alat

Skema kerja alat adalah rangkaian dari sistem kerja alat yang penulis gunakan sebagai alat eksperimen, berikut ini adalah gambar skema kerja alat yang dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 2 Skema Kerja Alat Penelitian

3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini, antara lain yaitu sebagai berikut.

1. Baterai

Baterai yang digunakan pada penelitian ini menggunakan baterai lithium ion 18650, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

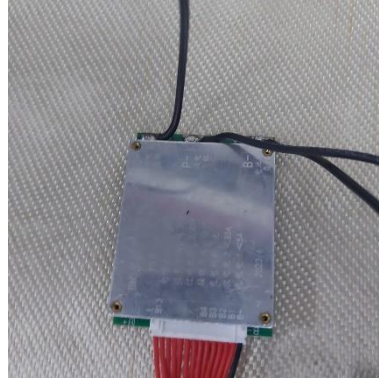


Gambar 3. 3 Baterai Lithium – ion

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

2. BMS (*Battery Management System*)

BMS yang digunakan pada penelitian ini menggunakan BMS 13S, dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 4 BMS (Battery Management System)

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

3. *Wavy Channel*

Untuk melihat kapasitas baterai pada alat penelitian ini yaitu menggunakan baterai tester, dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 5 Serpentine

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

4. Kompresor

Kompresor yang digunakan yaitu menggunakan kompresor Krisbow tipe KW1300467 dengan spesifikasi motor 1 HP, dengan tekanan maksimum 8 Bar. Berikut adalah gambar kompresor yang digunakan penulis dalam melaksanakan penelitian.



Gambar 3. 6 Kompresor

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

5. Lampu

Lampu pada penelitian ini digunakan sebagai beban kelistrikan, lampu yang digunakan yaitu menggunakan lampu 12 V, Adapun gambar dari lampu yang digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. 7 Lampu

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

6. *Flow meter*

Flow meter digunakan sebagai alat untuk membaca nilai massa aliran flida pada alat uji, flow meter yang digunakan adalah *flow meter* tabung, yang dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 8 *Flow Meter*

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

7. Multimeter

Alat pengukur yang digunakan untuk mengetahui ukuran tegangan listrik, resistansi, dan arus listrik. Dalam perkembangannya, dapat digunakan untuk mengukur temperatur, frekuensi, dan lainnya



Gambar 3. 9 Multimeter

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

8. Flir

Alat pengukur yang digunakan untuk mengukur temperatur atau perubahan suhu pada sebuah benda.



Gambar 3. 10 Flir

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

9. *Waterbath*

Alat yang berbentuk wadah yang digunakan untuk proses pemanasan cairan dengan cara merendamkan pada air yang telah di panaskan sebelumnya.



Gambar 3.11 *Waterbutch*

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

10. *Thermocouple*

Themocouple merupakan jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi suhu atau temperatur dari suatu benda.



Gambar 3.12 *Themocouple*

(Sumber : Dokumentasi di Laboratorium COE)

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian pendinginan baterai lithium-ion ini menggunakan udara dari kompresor adalah sebagai berikut:

3.4.1 Pengujian Tanpa *Wavy Channel*

Berikut ini beberapa prosedur penelitian tanpa menggunakan *wavy channel*

Alat dan bahan disiapkan untuk digunakan dalam penelitian.

1. Meyalakan lampu yang digunakan sebagai beban baterai.
2. Dilihat dan ambil gambar temperatur *thermokapel* dan menggunakan alat ukur flir dengan waktu pengambilan 1 menit sekali.

3.4.2 Pengujian Menggunakan *Wavy Channel*

Berikut ini beberapa tahapan pengujian menggunakan *wavy channel*:

1. Alat dan bahan disiapkan untuk digunakan dalam penelitian.
2. Hubungan selang pada kompresor.
3. Tempelekan 2 buah *wavy channel* pada baterai *lithium-ion* dengan posisi berbeda.
4. Masukkan sensor *thermocouple* pada fluida udara didalam selang yang digunakan sebagai sampel *inlet* dan *outlet*.
5. Mengatur variasi laju aliran masa yang digunakan yaitu 5, 10, 15 LPM secara bertahap.
6. Meyalakan lampu yang digunakan sebagai beban.

7. Lihat dan ambil gambar temperatur dari baterai dengan menggunakan alat ukur *thermocouple* dan jenis alat ukur flir dengan waktu 1 menit sekali.

3.4.3 Prosedur kalibrasi *Thermocouple*

Berikut ini beberapa tahapan menggunakan *thermocouple* merk HTI

1. Menyediakan es batu dan wadahnya untuk beban ukur yang dipakai.
2. Memasang probe tipe K ke *thermocouple*.
3. Menekan tombol ON dan mengukur suhu es batu dengan probe *thermocouple*.
4. Menekan tombol *hold* pada *thermocouple*.
5. Mengukur suhu es batu dengan *thermocouple* air raksa.
6. Menekan tombol OFF pada *thermocouple* dan membuka probe *thermocouple*.
7. Memasang kembali probe dan mengukur es batu.
8. Menyesuaikan temperatur pada *thermocouple* dan *thermometer* air raksa sudah maka kalibrasi berhasil.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

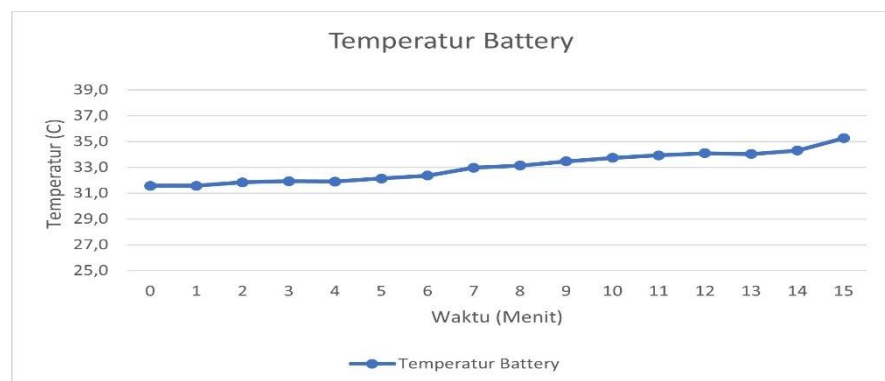
Pada pengujian yang sudah di dapatkan pada pengukuran temperatur baterai dengan udara. Adapun prinsip kerja dari alat uji yaitu kompresor yang ada di dalam kompresor mengalirkan udara menuju *wavy channel* dimana *wavy channel* tersebut menjepit baterai *lithium-ion* yang dalam keadaan panas. Kompresor yang dialirkan menuju *wavy channel* akan menyerap panas baterai. Kompresor yang sudah dialirkan ke *waterbath*. Untuk mengetahui suhu yang masuk dan keluar digunakan *thermocouple* digital, untuk mengetahui laju aliran yang masuk digunakan rotameter, sehingga akan didapatkan data-data yang diperlukan.

4.1.1 Laju aliran 5 Lpm (*Discharge*)

Di bawah ini adalah beberapa pengujian – pengujian yang dilakukan ketika pengurangan baterai (*discharge*) dengan laju aliran udara 5 LPM sebagai berikut:

a. Temperatur Rata – rata baterai

Untuk mengetahui suhu rata – rata baterai mengambil 3 sampel dengan alat ukur flir camera E5. Flir mengukur temperatur baterai dari beban lampu menyala sampai beban lampu mati. Grafik berikut menunjukkan temperatur rata – rata dan rata – rata 3 sampel baterai tersebut, yang diukur dengan alat ukur flir camera E5.

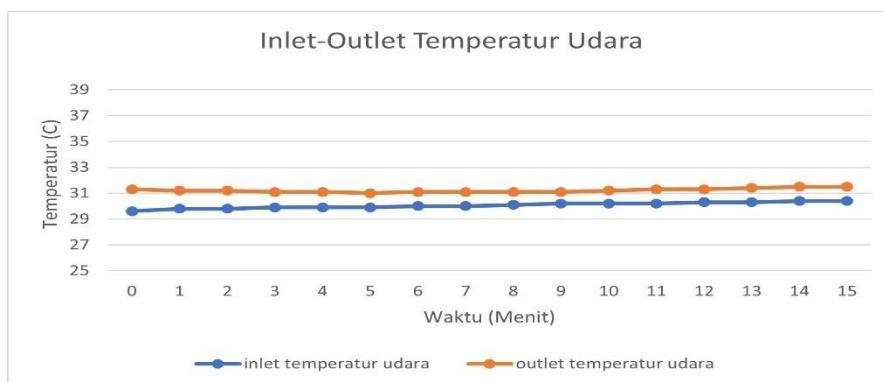


Gambar 4.1 Grafik temperatur rata-rata baterai *discharge* 5 LPM

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.1 bahwa ketika beban mulai dinyalakan, rata-rata temperatur baterai didapatkan sekitar 31,6 °C. Berjalannya waktu, semakin lama beban dinyalakan maka rata-rata temperatur pada baterai yang dihasilkan semakin meningkat temperatur tertinggi yang dihasilkan sebesar 35,3 °C pada waktu 15 menit.

b. Temperatur In – Out Udara

Temperatur in – out udara dihasilkan dari pengukuran dengan menggunakan *thermocouple*. Termokopel dimasukan ke dalam selang yang dialirkan oleh udara. terdapat 2 *probe* yang dipasang di aliran kompresor yaitu probe dipasang ketika udara akan masuk ke dalam alumunium serpentine, dan probe lainnya dipasang ketika udara keluar dari alumunium serpentine. Di bawah ini gambar berupa grafik temperatur in-out udara sebagai berikut.



Gambar 4.2 temperatur In – Out Udara *Discharge* 5 LPM

Berdasarkan grafik temperatur in-out udara pada gambar 4.2 yang terlihat bahwa temperatur udara yang masuk ke alumunium serpentine lebih dingin daripada temperatur udara yang keluar dari alumunium serpentine. Hal ini karena ketika udara masuk ke dalam alumunium serpentine, udara ini akan menyerap panas yang dihasilkan oleh baterai. Maka dari itu temperatur Out lebih panas daripada temperatur In. Berdasarkan grafik tersebut, ketika pengurangan baterai awal temperatur masuk 29,6 °C sedangkan temperatur akhir sebesar 30,04 °C. Semakin panas yang dihasilkan oleh baterai, maka semakin

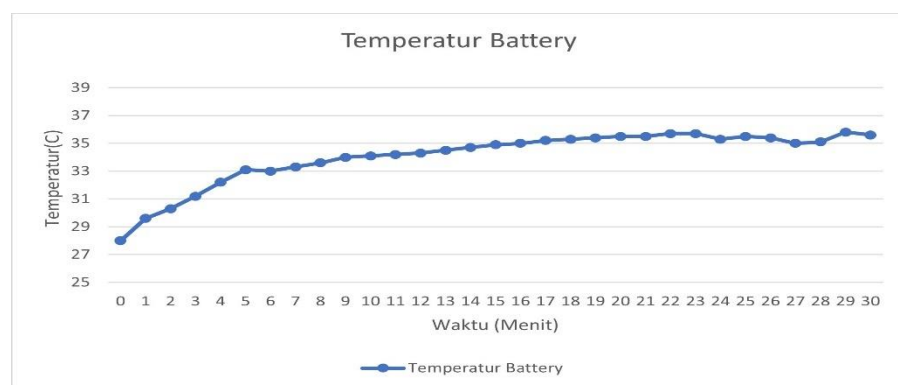
panas udara yang mengalir. Kemudian temperatur out awal sebesar 31,3 dan temperatur out akhir 31,5 °C. Pada saat waktu mencapai 15 menit.

4.1.2 Charge 5 LPM

Dibawah ini adalah beberapa pengujian pada saat pengisian daya baterai, dengan laju aliran udara sebesar 5 LPM

a. Temperatur Rata – rata Baterai

Adapun hasil dari pengujian yang telah dilaksanakan, dapat dilihat pada grafik berikut ini.

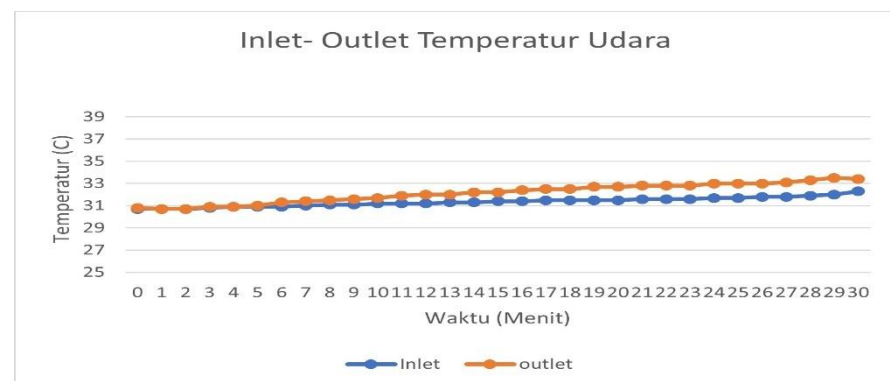


Gambar 4.3 Grafik temperatur rata-rata baterai *Charge 5 LPM*

Berdasarkan Grafik tersebut, pada Gambar 4.3 dapat kita lihat bahwa temperature baterai awal dari 28°C hingga mencapai 35,06 °C selama 30 menit pada saat *charge 5 LPM*.

b. Temperatur Inlet – Outlet Udara

Berikut ini adalah grafik antara temperature Inlet dan outlet yang penulis ukur dengan batas waktu 30 menit dalam kondisi *charge*.



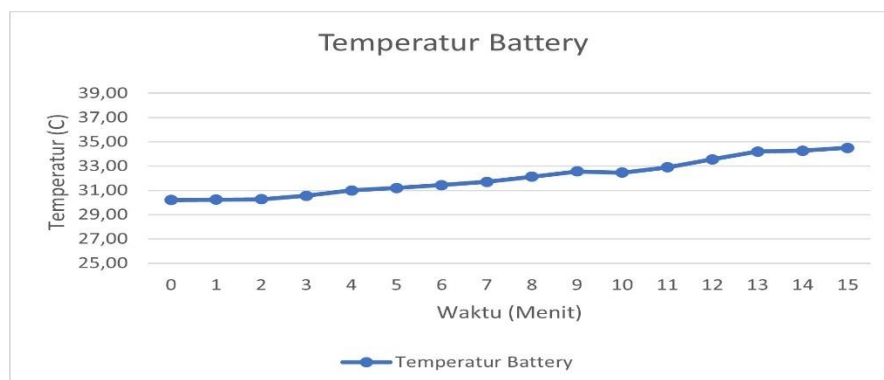
Gambar 4.4 Grafik In – Out Udara

Dalam grafik tersebut (Gambar 4.4) yang dilihat di atas menunjukkan bahwa temperatur udara yang masuk ke dalam serpentine lebih rendah daripada temperatur udara yang keluar dari aluminium serpentine. Hal ini karena ketika udara masuk ke dalam aluminium serpentine, maka dari itu temperatur Out lebih panas daripada temperatur In. mengacu pada grafik, ketika pengecasan awal temperatur In diperoleh $30,7^{\circ}\text{C}$ namun pada akhir temperature berada pada $32,3^{\circ}\text{C}$. semakin panas yang dihasilkan oleh baterai, maka semakin panas udara yang mengalir. Kemudian temperatur Outlet awal yang dihasilkan sebesar $30,8^{\circ}\text{C}$ dan temperatur Out akhir sebesar $33,4^{\circ}\text{C}$ pada waktu mencapai 30 menit.

4.1.3 Discharge 10 LPM

a. Temperatur Rata – rata Baterai

Di bawah ini merupakan grafik temperatur baterai discharge 10 LPM dari penggunaan baterai dalam waktu 15 menit.

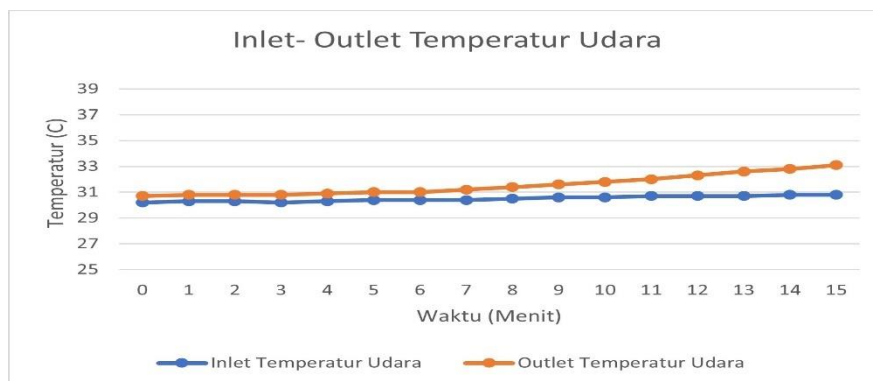


Gambar 4.5 Grafik Rata – rata Temperatur Baterai

Dalam grafik tersebut yaitu pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa ketika beban mulai menyala rata – rata temperatur baterai didapatkan temperature awal $30,20^{\circ}\text{C}$, semakin lama beban menyala maka rata – rata temperatur pada baterai yang dihasilkan semakin meningkat. Ketika beban mati dengan sendirinya, rata – rata temperatur tertinggi yang dihasilkan sebesar $34,50^{\circ}\text{C}$ pada waktu 15 menit.

b. Temperatur Inlet – Outlet Udara

Berikut ini adalah grafik kondisi temperatur udara Inlet dan Outlet, yang penulis ukur dengan batas waktu pengukuran selama 15 menit, dengan kondisi *charge* pada aliran 10 LPM.



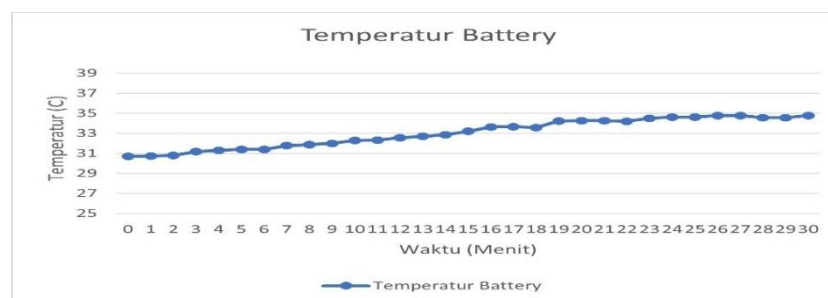
Gambar 4.6 Grafik Temperatur In – Out Udara 10 LPM

Dapat kita lihat bahwa pada Gambar 4.6, temperatur in – out udara ketika discharge 10 LPM didapatkan bahwa temperatur in awal pengujian diperoleh sebesar 30,2°C. Temperatur awal in semakin naik apabila terus berlangsung, sehingga di waktu 15 menit adalah temperatur tertinggi pada udara yang masuk *serpentine* mencapai 30,8°C sedangkan pada temperatur out awal pengujian pengujian yaitu 30,7°C dan temperatur tertinggi yang keluar dari *serpentine* sebesar 33,1°C.

4.1.4 Charge 10 LPM

a. Temperatur Rata – rata Baterai

Berikut ini adalah grafik peningkatan temperatur baterai pada kondisi charge dengan aliran 10 LPM, waktu temperatur baterai yang digunakan saat mengukur yaitu 30 menit.

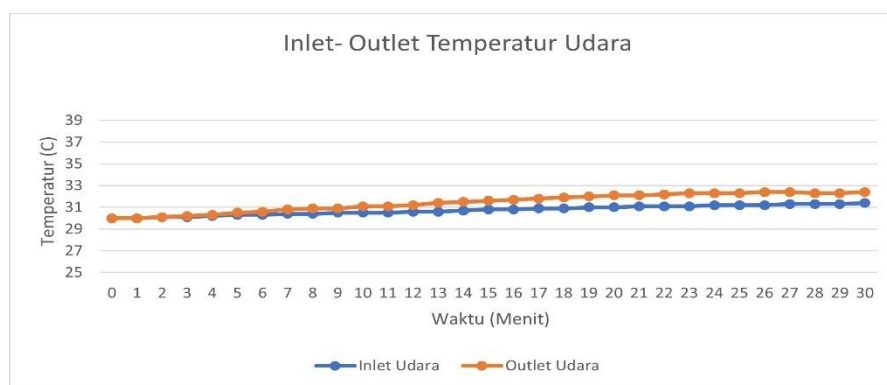


Gambar 4.7 Grafik Rata – rata Temperatur Baterai 10 LPM

Dapat kita lihat pada grafik (gambar 4,7) bahwa temperatur baterai dalam kondisi *charge* dari 0 sampai 30 menit, rata – rata temperatur baterai diperoleh 30,7°C. Ketika waktu terus berjalan dan masih melakukan pengecasan pada baterai, maka temperatur akan semakin naik. Berdasarkan grafik ini merupakan temperatur rata – rata tertinggi pada charge 10 LPM temperatur 3,77°C

b. Temperatur Inlet – Outlet Udara

Berikut ini adalah grafik kondisi temperatur udara Inlet dan Outlet, yang penulis ukur dengan batas waktu pengukuran selama 30 menit, dengan kondisi *charge* pada aliran 10 LPM.



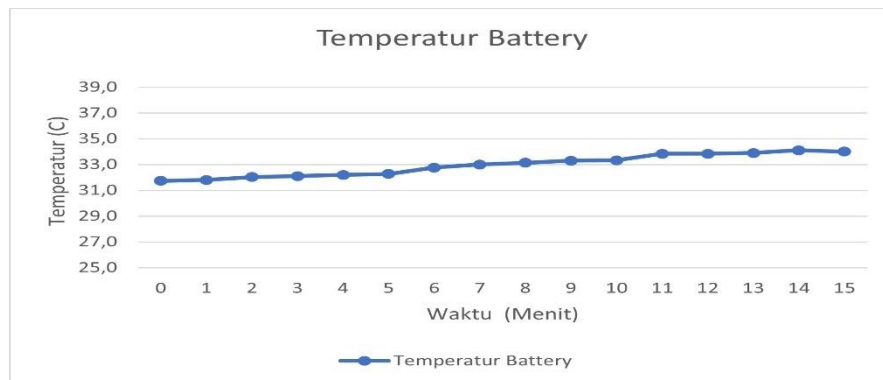
Gambar 4.8 Grafik In – Out Udara 10 LPM

Dapat kita lihat bahwa pada Gambar 4.8 temperatur udara yang masuk ke alumunium serpentine lebih rendah daripada temperatur udara yang keluar dari alumunium serpentine. Ketika pengecasan awal temperatur in diperoleh 30,0°C sedangkan temperatur out diperoleh 29,5°C semakin panas yang dihasilkan oleh baterai, maka semakin paanas udara yang masuk, kemudian temperatur in tertinggi yang dihasilkan sebesar 31,4°C dan temperatur out tertinggi sebesar 32,4°C pada waktu mencapai 30 menit.

4.1.5 Discharge 15 LPM

a. Temperature Rata – Rata Baterai

Berikut ini adalah grafik peningkatan temperature baterai pada kondisi discharge dengan aliran 15 LPM, yang penulis ukur dalam waktu 15 menit.

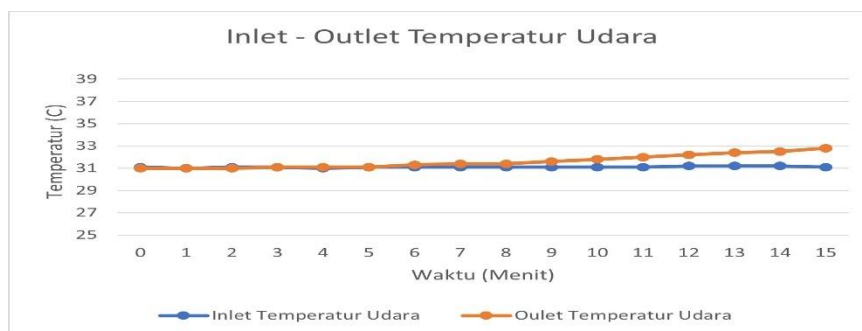


Gambar 4.9 Grafik Rata – rata Temperatur Baterai 15 LPM

Dapat kita lihat pada grafik (gambar 4,9) bahwa ketika beban menyala, rata – rata temperatur baterai dihasilkan temperatur awal 31,7°C. Semakin lama beban menyala maka rata – rata temperatur pada baterai yang dihasilkan semakin meningkat secara stabil. Dan ketika beban mati dengan sendirinya, rata – rata temperatur tertinggi yang dihasilkan temperatur akhir 34,0°C pada waktu 15 menit.

b. Temperatur In – Out Udara

Berikut ini adalah grafik kondisi temperatur udara Inlet dan Outlet, yang penulis ukur dengan batas waktu pengukuran selama 15 menit, dengan kondisi *discharge* pada aliran 15 LPM.



Gambar 4.10 Grafik In – Out Udara *Discharge* 15 LPM

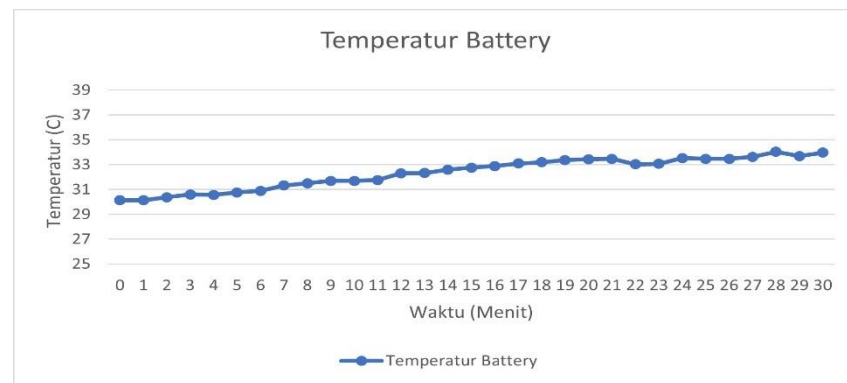
Dapat kita lihat bahwa pada Gambar 4.10 temperatur udara yang masuk ke alumunium serpentine lebih rendah daripada temperatur

udara yang keluar dari aluminium serpentine. Ketika pengecasan awal temperatur in diperoleh $31,1^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur out diperoleh $31,0^{\circ}\text{C}$ semakin panas yang dihasilkan oleh baterai, maka semakin panas udara yang masuk, kemudian temperatur in tertinggi yang dihasilkan sebesar $31,1^{\circ}\text{C}$ dan temperatur out tertinggi sebesar $32,8^{\circ}\text{C}$ pada waktu mencapai 15 menit.

4.1.6 Charge 15 LPM

a) Temperatur Rata – Rata

Berikut ini adalah grafik peningkatan temperatur baterai pada kondisi charge dengan aliran 15 LPM, yang penulis ukur dalam waktu 30 menit.

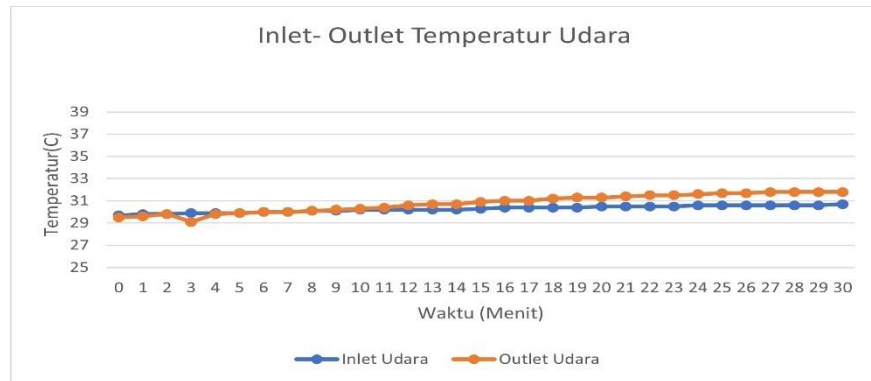


Gambar 4.11 Grafik Rata – rata Temperatur Baterai 15 LPM

Dapat kita lihat pada grafik (gambar 4,11) bahwa temperatur baterai dalam kondisi charge, aliran 15 LPM dalam waktu 30 menit terjadi peningkatan yang mula-mula $30,13^{\circ}\text{C}$, menjadi $33,97^{\circ}\text{C}$.

b) Temperatur In – Out Udara

Berikut ini adalah grafik kondisi temperatur udara Inlet dan Outlet, yang penulis ukur dengan batas waktu pengukuran selama 30 menit, dengan kondisi charge pada aliran 15 LPM.

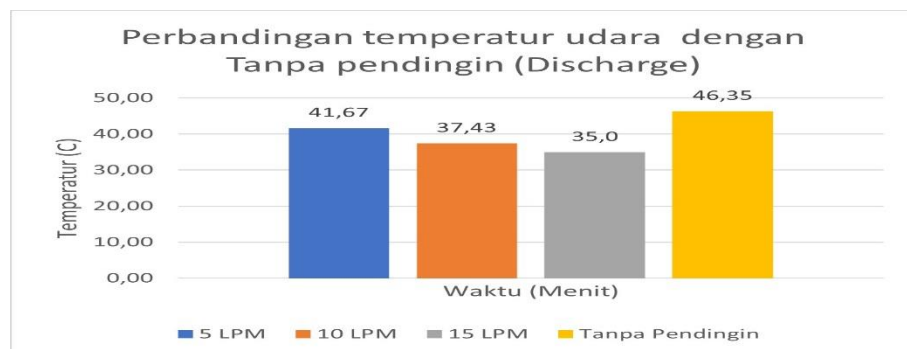


Gambar 4.12 Grafik In – Out Udara Charge 15 LPM

Dapat kita lihat bahwa pada Gambar 4.12 penurunan temperatur udara Outlet dalam waktu awal berada pada 29,5°C, dan temperatur akhir 31,8 sampai waktu 30 menit temperature Inlet 29,7 sedangkan pada temperatur udara akhir dalam waktu 30 menit berada pada 30,7 °C.

4.2 Perbandingan Temperatur Medium Udara Dengan Tanpa Pendingin

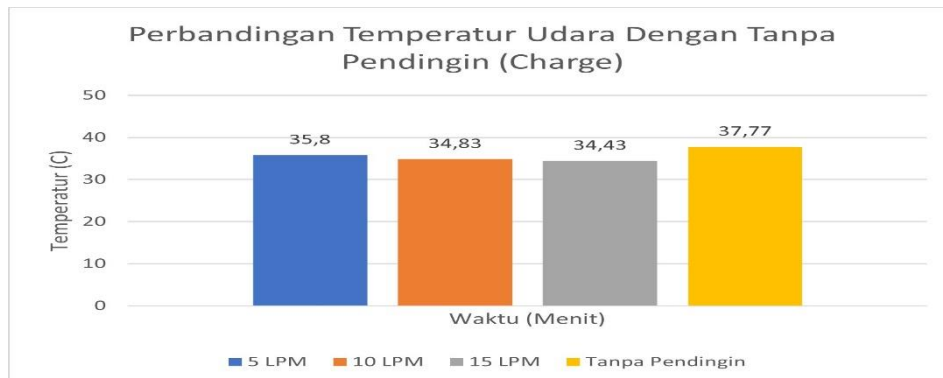
Dibawah ini merupakan perbandingan temperatur maksimal medium udara dengan tanpa tanpa pendingin yang dilakukan ketika *discharge* dan *charge* selama pengujian. Laju aliran udara mempunyai variasi 5 LPM, 10 LPM dan 15 LPM.



Gambar 4.13 Perbandingan temperatur Udara Dengan Tanpa Pendingin *Discharge*

Berdasarkan dengan laju aliran 5 LPM, 10 LPM, dan 15 LPM, penggunaan udara dapat menurunkan suhu baterai ketika discharge, seperti yang ditunjukkan pada grafik 4.19. Laju aliran 5 LPM dapat menurunkan suhu baterai sebesar 4,68°C., laju aliran 10 LPM 8,92°C, dan laju aliran 15 LPM 11,35°C. Jika diperhatikan, suhu yang dihasilkan oleh baterai semakin rendah seiring dengan laju aliran udara yang lebih tinggi. Ini berdasarkan hasil

perbandingan penggunaan udara pada baterai, yang menunjukkan bahwa suhu dapat menurun ketika discharge tidak signifikan.



Gambar 4.14 Perbandingan temperatur Udara Dengan Tanpa Pendingin *Charge*

Gambar 4.20 menunjukkan perbandingan suhu udara tanpa pendingin dengan baterai tanpa pendingin. Ini menunjukkan bahwa penggunaan udara dengan laju aliran 5 LPM sebesar 0,77°C, laju aliran 10 LPM sebesar 1,74°C, dan laju aliran 15 LPM sebesar 2,14°C.

4.3 Tahapan Perhitungan

Daya Listrik

$$P = V \times I$$

$$= 3,7 \times 1,25$$

$$= 4.525 \text{ watt}$$

$$P_{in} \text{ total} = P_{in} \times nF$$

$$= 4.525 \times 13$$

$$= 60,125 \text{ watt}$$

4.3.1 Variasi Arah aliran Searah (*Pararel Flow*)

Untuk variasi aliran pararel, terdapat 3 variasi laju aliran yaitu, 5 LPM, 10 PM dan 15 LPM.

a. 5 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi arah aliran searah arah (*pararel*) dan variasi aliran 5 LPM adalah.

Tabel 4.1 Data *Disharge* 5 LPM

Keterangan	Data	Satuan
kuatArus	1,25	A
Hambatan	79,05	Ω
T_{Cell}	31,6	$^{\circ}\text{C}$
T_{amb}	41,5	$^{\circ}\text{C}$
Entropy	2517,8501	$\text{J}/^{\circ}\text{C}$
Jumlah Baterai	13	Cell
Luas Penampang	0,000864	m^2
Ukuran Pipa	0,048	m^2
Koefesien Thermal	0,023	$\text{J}/\text{kg}.\text{^{\circ}\text{C}}$
Waktu	900	Detik
Volt	3,7	Volt

Perhitungan untuk perhitungan pada variasi arah aliran searah (*pararel*) dan variasi laju aliran 5 LPM. Sebagai berikut:

Perubahan Energi panas

$$mC_{cell} = \frac{dT_{cell}}{dt} = I^2 R + T_{cell} \Delta S \frac{I}{nF} \pm Ah (T_{cell} - T_{amb})$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{cell}}{dt} 1,5625 + 79,05 \frac{1,25}{13} \pm 0,000864 \times 0,023 (31,6 - 41,5)$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{cell}}{dt} 105,1875 + 94668,75 \cdot 0,096154 \pm 6,44902\text{E-}06 \times 9,9$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{cell}}{dt} 123,52 + 108688,85 \pm 6,38453\text{E} - 05$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{cell}}{dt} 10812,37 \text{ Joule}$$

$$Q = 10812,37 \text{ J/Kg}.\text{^{\circ}\text{C}}$$

Menghitung COP (*Coefficient Of Performa*)

$$\text{Cop} = \frac{Q}{P_{in.t}}$$

$$\text{Cop} = \frac{10812,37}{60,125 \cdot 900}$$

$$\text{Cop} = \frac{10812,37}{54112,5}$$

$$= 0,199812757$$

- Perhitungan *efisiensi* yang dapat dihitung:

$$\eta = \text{Cop} \times 100\%$$

$$\eta = 0,1998 \times 100\%$$

$$\eta = 20 \%$$

Menghitung Bilangan *Reynold*

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \\ &= \frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,096451 \text{ m/s} \cdot 0,048 \text{ m}}{0,018 \text{ pa s}} = 308,642 \end{aligned}$$

- Menghitung Kecepatan Udara

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{8,33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,000864 \text{ m}^2} \\ &= 0,096451 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- a) 5 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi arah aliran searah (*pararel flow*) dan variasi laju aliran 10 LPM adalah sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Hasil *Charge* 5 LPM

Keterangan	Data	Satuan
KuatArus	1,25	A
Hambatan	72,74	Ω
T_{Cell}	28	$^{\circ}\text{C}$
T_{amb}	35,4	$^{\circ}\text{C}$
Entropy	7671,7969	J/ $^{\circ}\text{C}$
Jumlah Baterai	13	Cell
Luas Penampang	0,000864	m^2
Ukuran Pipa	0,048	m^2
Koefisien Thermal	0,023	J/kg. $^{\circ}\text{C}$
Waktu	1890	Detik
Volt	3,7	Volt

- Perubahan Energi Panas

$$mC_{\text{cell}} = \frac{dT_{\text{ceel}}}{dt} = I^2 R + T_{\text{cell}} \Delta S \frac{I}{nF} \pm Ah (T_{\text{cell}} - T_{\text{amb}})$$

$$mC_{\text{cell}} = \frac{dt_{\text{cell}}}{dt} 1,5625 \times 72,74 + 28 \times 7671,797 \frac{1,25}{13} \pm 0,000280 \cdot 0,023 (28 - 35,4)$$

$$mC_{\text{cell}} = \frac{dt_{\text{cell}}}{dt} 113,65625 + 214810,31 \cdot 0,96154 \pm 6,44902E-06 \cdot 7,4$$

$$mC_{\text{cell}} = \frac{dt_{\text{cell}}}{dt} 113,66 + 20654,84 \mp 4,77228E - 05$$

$$mC_{\text{cell}} = \frac{dt_{\text{cell}}}{dt} 20768,49$$

$$Q = 20768,49$$

- Menghitung COP (*Coefficient Of Performa*)

$$\text{Cop} = \frac{Q}{P_{\text{in.t}}}$$

$$\text{Cop} = \frac{20768,49}{60,125 \cdot 1890}$$

$$\text{Cop} = \frac{20768,49}{113636,25}$$

$$= 0,18276293$$

- Menghitung efisiensi yang dapat dihitung

$$\eta = \text{Cop} \times 100\%$$

$$\eta = 0,1828 \times 100\%$$

$$\eta = 18\%$$

- Menghitung Bilangan *Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot \vartheta \cdot D}{\mu}$$

$$\frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,096451 \text{ m/s} \cdot 0,048 \text{ m}}{0,018 \text{ pa s}} = 308,642$$

- Menghitung Kecepatan Udara

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{8,33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,000864 \text{ m}^2}$$

$$= 0,096451 \text{ m/s}$$

b) 10 LPM

Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi arah aliran searah (*pararel flow*) dan variasi 10 LPM sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Hasil *Discharge* 10 LPM

Keterangan	Data	Satuan
KuatArus	1,25	A
Hambatan	79,95	Ω
T_{Cell}	30,2	$^{\circ}\text{C}$
T_{amb}	37,23	$^{\circ}\text{C}$
Entropy	3387,1068	$\text{J}/^{\circ}\text{C}$
Jumlah Baterai	13	Cell
Luas Penampang	0,000486	m^2
Ukuran Pipa	0,048	m^2
Koefesien Thermal	0,023	$\text{J}/\text{kg}.\text{}^{\circ}\text{C}$
Waktu	900	detik
Volt	3,7	Volt

- Perubahan Energi Panas:

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} = I^2 R + T_{cell} \Delta S \frac{I}{nF} \pm Ah (T_{cell} - T_{amb})$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} 1,5625 \times 72,74 + 30,2 \times 3387,1068 \frac{1,25}{13} \pm 0,000864 \times 0,023 (30,2 - 37,23)$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} 113,65625 + 102290,63 \times 0,096154 \pm 0,000019872 \times 7,03$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} 113,66 + 9835,64 \pm 0,0001397$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} 9949,29$$

$$Q = 9949,29$$

- Menghitung COP (*Coefficient Of Performa*)

$$\text{Cop} = \frac{Q}{P_{in.t}}$$

$$\text{Cop} = \frac{9949,29}{60,125 \cdot 900}$$

$$\text{Cop} = \frac{9949,29}{54112,5}$$

$$= 0,183863123$$

- Menghitung *efisiensi* yang dapat dihitung

$$\eta = 0,1839 \times 100\%$$

$$\eta = 0,1839$$

$$\eta = 18\%$$

- Menghitung Bilangan *Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot \vartheta \cdot D}{\mu}$$

$$= \frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,192901 \text{ m/s} \cdot 0,048 \text{ m}}{0,018 \text{ pa s}} = 617,284$$

- Menghitung Kecepatan Udara

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{1,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,000864 \text{ m}^2}$$

$$= 0,192901 \text{ m/s}$$

- c) Data yang diketahui akan digunakan untuk perhitungan pada variasi arah aliran searah (pararel flow) dan variasi laju aliran 10 LPM sebagai berikut.

Tabel 4.4 Data Hasil Charge 10 LPM

Keterangan	Data	Satuan
Kuat Arus	1,25	A
Hambatan	73,95	Ω
T_{Cell}	30,7	$^{\circ}\text{C}$
T_{amb}	34,74	$^{\circ}\text{C}$
Entropy	7098,0812	$\text{J}/^{\circ}\text{C}$
Jumlah Baterai	13	Cell
Luas Penampang	0,000486	m^2
Ukuran Pipa	0,048	m^2
Koefesien Thermal	0,023	$\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$
Waktu	1890	detik
Volt	3,7	Volt

- Perubahan Energi Panas

$$mC_{cell} \frac{dT_{cell}}{dt} = I^2 R + T_{cell} \Delta S \frac{I}{nF} \pm Ah (T_{cell} - T_{amb})$$

$$mC_{cell} \frac{dT_{cell}}{dt} = 1,5625 \times 73,95 + 30,7 \times 7098,0812 \frac{1,25}{13} \pm$$

$$0,000486 \times 0,023 (30,7 - 34,74)$$

$$mC_{\text{cell}} = \frac{dt_{\text{cell}}}{dt} 115,296875 + 217911,09 \times 0,096154$$

$$\pm 0,000019872 \times 4,04$$

$$mC_{\text{cell}} = \frac{dt_{\text{cell}}}{dt} 115,30 + 20952,99 \pm 8,02829$$

$$mC_{\text{cell}} = \frac{dt_{\text{cell}}}{dt} 20952,99$$

$$Q = 20952,99$$

- Menghitung COP (*Coefficient Of Performa*)

$$\text{Cop} = \frac{Q}{P_{\text{in.t}}}$$

$$\text{Cop} = \frac{20952,99}{60,125 \cdot 1890}$$

$$\text{Cop} = \frac{20952,99}{113636,25}$$

$$= 0,185401108$$

- Menghitung efisiensi yang dapat dihitung

$$\eta = \text{Cop} \times 100\%$$

$$\eta = 0,1854 \times 100\%$$

$$\eta = 19 \%$$

- Menghitung Bilangan *Reynold*

$$R_e = \frac{\rho \cdot \vartheta \cdot D}{\mu}$$

$$\frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,192901 \text{ m/s} \cdot 0,048 \text{ m}}{0,018 \text{ pa s}} = 617,284$$

- Menghitung Kecepatan Udara

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{1,67 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,000864 \text{ m}^2}$$

$$= 0,192901 \text{ m/s}$$

d) Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi arah aliran searah (*pararel flow*) dan variasi laju aliran 15 LPM sebagai berikut.

Tabel 4.4 Data Hasil Discharge 15

Keterangan	Data	Satuan
KuatArus	1,25	A

Hambatan	82,93	Ω
T_{Cell}	31,7	$^{\circ}\text{C}$
T_{amb}	35	$^{\circ}\text{C}$
Entropy	3678,8742	$\text{J}/^{\circ}\text{C}$
Jumlah Baterai	13	Cell
Luas Penampang	0,000486	m^2
Ukuran Pipa	0,048	m^2
Koefesien Thermal	0,023	$\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$
Waktu	900	detik
Volt	3,7	Volt

- Perubahan Energi Panas

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} = I^2 R + T_{cell} \Delta S \frac{I}{nF} \pm Ah (T_{cell} - T_{amb})$$

$$mC_{cell} = \frac{dt_{cell}}{dt} 1,5625 \times 82,93 + 31,7 \times 3678,8742 \frac{1,25}{13} \pm 0,000864 \times 0,023 (31,7 - 35)$$

$$mC_{cell} = \frac{dt_{cell}}{dt} 129,578125 + 116620,31 \times 0,096154 \pm 6,44902 \times 3,3$$

$$mC_{cell} = \frac{dt_{cell}}{dt} 129,58 + 11213,49 \pm 6,55776$$

$$mC_{cell} = \frac{dt_{cell}}{dt} 11343,07$$

$$Q = 11343,07$$

- Menghitung COP (*Coefficient Of Performa*)

$$\text{Cop} = \frac{Q}{P_{in.t}}$$

$$\text{Cop} = \frac{11343,07}{60,125 \cdot 900}$$

$$\text{Cop} = \frac{11343,07}{54112,5}$$

$$= 0,209620138$$

- Menghitung *efesiensi* yang dapat dihitung

$$\eta = \text{Cop} \times 100\%$$

$$\eta = 0,2096 \times 100\%$$

$$\eta = 21\%$$

- Menghitung Bilangan *Reynold*

$$R_e = \frac{\rho \cdot \vartheta \cdot D}{\mu}$$

$$= \frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,289352 \text{ m/s} \cdot 0,048 \text{ m}}{0,018 \text{ pa s}} = 925,9259$$

- Menghitung Kecepatan Udara

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{2,50 \times 10^{-3} \text{ m/s}}{0,000864 \text{ m/s}}$$

$$= 0,289352 \text{ m/s}$$

- e) Data yang diketahui yang akan digunakan untuk perhitungan pada variasi arah aliran searah (pararel flow) dan variasi laju aliran 15 LPM sebagai berikut.

Tabel 4.6 Data Hasil Charge 15 LPM

Keterangan	Data	Satuan
KuatArus	1,25	A
Hambatan	80,93	Ω
T_{Cell}	30,13	$^{\circ}\text{C}$
T_{amb}	34,43	$^{\circ}\text{C}$
Entropy	8128,1997	$\text{J}/^{\circ}\text{C}$
Jumlah Baterai	13	Cell
Luas Penampang	0,000864	m^2
Ukuran Pipa	0,048	m^2
Koefesien Thermal	0,023	$\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$
Waktu	1890	Detik
Volt	3,7	Volt

- Perubahan Energi Panas

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} = I^2 R + T_{cell} \Delta S \frac{I}{nF} \pm Ah (T_{cell} - T_{amb})$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} 1,5625 \cdot 80,93 + 30,13 \times 8128,1997 \frac{1,25}{13} \pm 0,000864 \times 0,023 (30,13 - 34,43)$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} 129,578125 + 244902,66 \times 0,096154 \pm 0,00001972 \times 4,3$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} 129,58 + 23548,33 \pm 8,54496$$

$$mC_{cell} = \frac{dT_{ceel}}{dt} 23677,91$$

$$Q = 23677,91$$

- Menghitung COP (*Coefficient Of Performa*)

$$\text{COP} = \frac{Q}{P_{in.t}}$$

$$\text{COP} = \frac{23677,91}{60,125 \cdot 1890}$$

$$\text{COP} = \frac{23677,91}{113636,25}$$

$$= 0,20836582$$

- Menghitung efisiensi yang dapat dihitung

$$\eta = \text{COP} \times 100\%$$

$$\eta = 0,2084 \times 100\%$$

$$\eta = 21 \%$$

- Menghitung Bilangan *Reynold*

$$R_e = \frac{\rho \cdot \vartheta \cdot D}{\mu}$$

$$\frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,289352 \text{ m/s} \cdot 0,048 \text{ m}}{0,018 \text{ pa s}} = 925,9259$$

- Menghitung Kecepatan Udara

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{2,50 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,000864 \text{ m}^2}$$

$$= 0,289352 \text{ m/s}$$

4.4 Analisa Hasil Perhitungan

Data eksperimen yang diperoleh dari hasil pengolahan data disusun dalam bentuk tabel. Terdiri dari beberapa hubungan antar variable yang diamati, yaitu nilai kalor, *Coefficient Of Performa* (COP), nilai efisiensi, bilangan Reynold dan Kecepatan udara. Dari berbagai grafik tersebut diharapkan dapat melihat kinerja *Wavy Channel (Serpentine)* pada sistem pendingin baterai lithium – ion dengan parameter pada fluida, arah aliran dan laju aliran. Berikut ini hasil dari perhitungan pada udara.

Tabel 4.7 hasil perhitungan data udara

	Discharge			Charge		
	5	10	15	5	10	15
Q (banyaknya Kalor)	10812,37 J/Kg.°C	9949,29 J/Kg.°C	11343,07 J/Kg.°C	20768,49 J/Kg.°C	20952,99 J/Kg.°C	23677,91 J/Kg.°C
COP (Coefficient Of Performa)	0,199812 757	0,183863 123	0,20962 0138	0,18276 293	0,185440 1108	0,20836582
Efisiensi (%)	20%	18%	21%	18%	19%	21%

Dari tabel 4.7 diatas menunjukkan bahwa setiap sistem pendingin baterai menggunakan udara memiliki efisiensi termal terkecil dan terbesar. Efisiensi terkecil terdapat pada variasi 10 Lpm *Discharge* yaitu memiliki efisiensi sebesar 18% dan efisiensi terbesarnya terdapat variasi 15 *Discharge* yaitu memiliki efisiensi sebesar 21% dan variasi 5 Lpm *Charge* yaitu memiliki efisiensi sebesar 18% dan efisiensi terbesarnya terdapat variasi 15 *Charge* yaitu memiliki efisiensi sebesar 21%.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan

No	Bilangan Reynold	Kecepatan Udara
5 LPM	308,642	0,096451 m/s
10 LPM	617,284	0,192901 m/s
15 LPM	925,9259	0,289352 m/s

Dari tabel 4.8 diatas menunjukkan bahwa setiap bilangan reynold dan kecepatan udara variasi 5 Lpm dengan bilangan reynold mendapatkan hasil 308,642 dan kecepatan udara mendapatkan 0,096451 m/s dan variasi 10 lpm bilangan reynold mendapatkan hasil 617,284 dan kecepatan udara mendapatkan hasil 0,192901 m/s dan variasi 15 Lpm dengan bilangan reynold 925,9259 dan kecepatan udara 0,289352 m/s.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Maka ditemukan hasil perbandingan temperatur baterai *Charge* dengan penggunaan pendingin temperatur dengan kecepatan udara 5 LPM temperatur nya tertinggi 35,8°C, menggunakan kecepatan 10 LPM temperatur tertinggi 34,43°C, dan menggunakan kecepatan udara 15 LPM temperatur tertinggi 34,83°C, dan perbandingan tanpa pendingin temperatur tertinggi 36,57°C dalam waktu 0 – 1890 detik dan ditemukan hasil perbandingan temperatur Baterai *Discharge* dengan penggunaan Pendingin temperature dengan kecepatan udara 5 LPM kecepatan udara 5LPM temperatur nya tertinggi 41,67°C, menggunakan udara 10 LPM temperatur tertinggi 35°C, menggunakan udara 15 LPM temperatur tertinggi 41,43°C dan perbandingan tanpa pendingin temperatur 46,5°C dalam waktu 0 – 900 detik.
2. Performa baterai *discharge* dengan kecepatan udara 5 LPM dengan waktu yang didapatkan 900 detik di dapatkan sebesar 20%, dan performa kecepatan udara 10 LPM didapatkan 18% dan performa kecepatan udara 15 LPM didapatkan 21%. Performa baterai *Charge* dengan kecepatan udara 5 LPM dengan waktu yang di dapatkan 1890 detik didapatkan 18% dan performa kecepatan udara 10 LPM didapatkan 19% dan performa kecepatan udara 15 LPM didapatkan temperatur 21% dengan waktu 0 - 1890 detik.

5.2 Saran

Adapun saran penelitian baterai ada beberapa saran

1. Pastikan untuk menyusun setiap Langkah penelitian selanjutnya dengan jelas dan sistematis agar penelitian dengan optimal.
2. Untuk experimen terhadap dengan menggunakan themokopel harus di tempatkan dengan sesuai agar tidak terjadi nya time error.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwi Sulistyanyingtyas, A. (2017). *EFFECT OF VISCOELASTIC FLUID FLOW PAST AN ELLIPTIC CYLINDER*.
- Inovtek, J., & Elektro, S. (2019). *Aplikasi Battery Management System (BMS) dengan State of Charge (SOC) Menggunakan Metode Modified Coulomb Counting*. 1(1).
- Irawati, E., Huda, C., & Kurniawan, W. (2019). *Prosiding Seminar Nasional The 5 th Lontar Physics Forum*.
- Kartasasmita, M., & Laksanawati, W. D. (2015). *UJI KONDUKTIVITAS TERMAL PADA BAHAN MASONITE DENGAN STIM GENERATOR TD 8556*.
- Kumara, N. S. (2008). *Tinjauan Perkembangan Kendaraan Listrik Dunia Hingga Sekarang*.
- Marausna, G., A, D. M., Sitepu, E. L., & Kusuma, M. B. A. (2022). Eksperimen Heat Transfer pada Minichannel Baterai Pesawat Listrik dengan Fluida Etilen Glikol-Air. *Energy - Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 12(1), 1–5. doi: 10.51747/energy.v12i1.1021
- Nazri, G.-A., & Rome, C. (2008). *LITHIUM BATTERIES Science and Technology* Edited by Gianfranco Pistoia.
- RAMA_21401_2015213065_0024107603_0014075909_part. (2023).
- RANCANG BANGUN WATER RHEOSTAT UNTUK BEBAN TIRUAN DALAM PENGUJIAN BATERAI LITHIUM-ION PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO POLITEKNIK NEGERI BALI 2022. (2023).
- Syahrir, M. (2016). KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS PADA PIPA PENUKAR KALOR SELONGSONG ALIRAN SEARAH VERTIKAL. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 01(02).
- Udin, M., Kaloko, B. S., Hardianto, T., & Elektro, J. T. (2017). *Peramalan Kapasitas Baterai Lead Acid pada Mobil Listrik Berbasis Levenberg Marquardt Neural Network (Prediction Capacity of Lead Acid Battery on Electric Vehicle Based Neural Network Levenberg)*.
- Mardwianta, B. (2017). Pembangkitan Energi Listrik Pada Baterai Udara dengan Bahan Karbon Aktif dan Elektrolit Air Laut. In *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Kedirgantaraan (SENATIK) Vol III*.

LAMPIRAN

Lampiran 1:

Tabel 1: Discharge Battery

Battery			Udara		Voltage	Time	Average Battery
Temperature			Temperature				
I	II	III	Inlet	Outlet			
31,7	31,6	31,4	29,6	31,3	53,2	0	31,6
31,7	31,7	31,3	29,8	31,2	53,2	30	31,6
32,3	31,8	31,4	29,8	31,2	48,8	60	31,8
32,6	31,8	31,4	29,9	31,1	48,2	90	31,9
32	32,1	31,6	29,9	31,1	47,9	120	31,9
32,5	32,1	31,8	29,9	31	47,7	150	32,1
32,8	32,5	31,8	30	31,1	47,5	180	32,4
34,1	32,8	32	30	31,1	47,3	210	33,0
34,2	32,9	32,3	30,1	31,1	47,2	240	33,1
35,1	33	32,3	30,2	31,1	47,1	270	33,5
35,6	33,3	32,3	30,2	31,2	46,9	300	33,7
35,9	33,4	32,5	30,2	31,3	46,8	330	33,9
35,2	33,5	33,6	30,3	31,3	46,7	360	34,1
35,5	33,7	32,9	30,3	31,4	46,6	390	34,0
35,8	33,9	33,2	30,4	31,5	46,5	420	34,3
38,2	34,1	33,5	30,4	31,5	46,4	450	35,3
36,6	36,2	33,5	30,5	31,7	46,3	480	35,4
38,7	38,5	35,6	30,4	32	46,2	510	37,6
38,2	39	35,8	30,5	32,1	46,1	540	37,7
30,3	39,8	37,4	30,6	32,1	46	570	35,8
39,8	40,4	37,6	30,6	32,3	45,9	600	39,3
38,9	40,9	37,5	30,7	32,3	45,8	630	39,1
42,4	41,5	39,3	30,7	32,2	45,6	660	41,1
39,4	41,7	39,4	30,7	33	45,5	690	40,2
40,4	42,1	39,4	30,7	33	45,2	720	40,6
42,7	42,5	39,7	30,7	33	44,9	750	41,6
41,9	42	39,5	30,7	33,2	44,3	780	41,1
41,3	41,1	39,8	30,7	33,3	47,1	810	40,7
41,4	42,6	41	30,9	33,3	47,9	840	41,7
41,1	41,5	41,3	30,9	33,4	48,2	870	41,3
41,8	41,5	41,1	30,9	34,2	48,4	900	41,5

Tabel Discharge Battery

10 LPM

Battery Temperature			Udara Temperature		Voltage	Time	Average Battery
I	II	III	Inlet	Outlet			
30,2	30,1	30,3	30,2	30,7	52,6	0	30,20
30,3	30,2	30,2	30,3	30,8	48,8	30	30,23
30,3	30,1	30,4	30,3	30,8	48,1	60	30,27
30,6	30,4	30,7	30,2	30,8	47,5	90	30,57
31,1	31	30,9	30,3	30,9	47,2	120	31,00
31,1	31,3	31,2	30,4	31	46,9	150	31,20
31,2	31,4	31,7	30,4	31	46,8	180	31,43
31,8	31,6	31,7	30,4	31,2	46,5	210	31,70
32	32,1	32,3	30,5	31,4	46,4	240	32,13
32,5	32,5	32,7	30,6	31,6	46,3	270	32,57
32,5	32,4	32,5	30,6	31,8	46,2	300	32,47
32,7	32,9	33,1	30,7	32	46,1	330	32,90
33,3	33,5	33,9	30,7	32,3	45,9	360	33,57
34,2	34,1	34,3	30,7	32,6	45,8	390	34,20
34,2	34,4	34,2	30,8	32,8	45,7	420	34,27
34,5	34,6	34,4	30,8	33,1	45,6	450	34,50
34,4	34,7	34,5	30,9	33,3	45,4	480	34,53
34,6	34,9	35,3	30,9	33,6	45,2	510	34,93
35,4	35,2	35,1	31	33,9	44,9	540	35,23
35,3	35,5	35,6	31	34,2	44,3	570	35,47
35,3	35,6	35,7	31	34,5	48,6	600	35,53
35,9	36,1	36,3	31	34,7	49	630	36,10
36,3	36,5	36,5	31	34,9	49,2	660	36,43
36,6	36,6	36,7	31,1	35,2	49,3	690	36,63
36,6	36,8	37	31,1	35,3	49,4	720	36,80
36,9	36,6	36,8	31,1	35,3	49,5	750	36,77
37,1	37	37,2	31,2	35,4	49,5	780	37,10
37,1	37,3	37,3	31,1	35,4	49,5	810	37,23
37,3	37,5	37,5	31,2	35,4	49,6	840	37,43
37,4	37,1	37,3	31,1	35,4	49,6	870	37,27
37,4	37,2	37,1	31,2	35,4	49,6	900	37,23

Tabel Discharge Battery

15 LPM

Battery Temperature			Udara Temperature		Voltage	Time	Average Battery
I	II	III	Inlet	Outlet			
32,5	32	32,1	31,1	31	53,5	0	31,7
32,6	32	32,4	31	31	50,9	30	31,8
32,5	32,3	32,7	31,1	31	48,7	60	32,0
32,5	32,3	32,9	31,1	31,1	48,2	90	32,1
32,5	32,2	33,4	31	31,1	47,9	120	32,2
32,9	32,3	33,4	31,1	31,1	47,6	150	32,3
33,1	33,5	33,7	31,1	31,3	47,4	180	32,8
33,8	33,6	34,3	31,1	31,4	47,2	210	33,0
33,6	33,6	34,7	31,1	31,4	47,1	240	33,1
33,8	33,9	34,9	31,1	31,6	46,9	270	33,3
34,3	33,8	35,1	31,1	31,8	46,8	300	33,3
35,8	34,9	35,5	31,1	32	46,7	330	33,8
35,3	34,8	35,5	31,2	32,2	46,5	360	33,8
35,8	34,8	35,7	31,2	32,4	46,4	390	33,9
36,3	34,8	36,3	31,2	32,5	46,3	420	34,1
37,7	34,6	36,3	31,1	32,8	46,2	450	34,0
37,8	33,5	36,6	31,2	33	46,1	480	33,8
37,7	33,8	36,5	31,2	33,2	45,9	510	33,8
38,7	33,8	36,6	31,2	33,5	45,8	540	33,9
41,7	33,8	36,8	31,2	33,7	45,6	570	33,9
38,8	34,6	36,7	31,2	33,9	45,4	600	34,2
39,2	34,5	36,9	31,2	34,2	45,1	630	34,2
39,7	34,7	36,9	31,3	34,6	47,6	660	34,3
39,4	34,7	37,3	31,3	34,7	48,7	690	34,4
40,1	34,6	37,2	31,3	35,2	49,1	720	34,4
40,1	34,9	37,3	31,3	35,2	49,3	750	34,5
40,3	35,4	37,5	31,3	35,4	49,4	780	34,7
39,4	35,7	37,4	31,4	35,4	49,5	810	34,8
40,9	35,9	37,1	31,3	35,6	49,5	840	34,8
40,1	36,3	37	31,3	35,6	49,6	870	34,9
40,1	36,5	37	31,4	35,6	49,6	900	35,0

Tabel Charge battery

5 LPM

Battery Temperature			Udara Temperature		Voltage	Time	Average Battery
I	II	III	Inlet	Outlet			
28	28	28,1	30,7	30,8	49,2	0	28
29,2	29,3	29,2	30,6	30,7	50,5	30	29,2
29,4	29,7	29,8	30,7	30,7	51,1	60	29,6
30,3	30,1	30	30,7	30,7	51,5	90	30,1
30,4	30,3	30,2	30,7	30,7	51,7	120	30,3
30,8	30,8	30,7	30,8	30,8	51,8	150	30,8
31,2	31,2	31,1	30,8	30,9	52	180	31,2
31,6	31,6	31,6	30,8	30,9	52,1	210	31,6
32,2	32,3	32,2	30,9	30,9	52,1	240	32,2
32,6	32,7	32,6	30,9	30,9	52,3	270	32,6
33	33,2	33,2	30,9	31	52,4	300	33,1
33	33,3	33,1	31	31,1	52,6	330	33,1
33	32,9	33,1	30,9	31,3	52,8	360	33
33	33,2	33,2	31	31,3	52,9	390	33,1
33,2	33,3	33,3	31	31,4	53	420	33,3
33,5	33,6	33,6	31	31,4	53,2	450	33,6
33,5	33,6	33,6	31,1	31,5	53,3	480	33,6
33,7	33,9	33,8	31,1	31,6	53,3	510	33,8
33,9	34,1	33,9	31,1	31,6	53,3	540	34
33,9	34,2	34	31,2	31,7	53,4	570	34
34	34,1	34,1	31,2	31,7	53,4	600	34,1
34,1	34,2	34,2	31,2	31,8	53,5	630	34,2
34,1	34,3	34,2	31,2	31,9	53,5	660	34,2
34,2	34,3	34,3	31,2	31,9	53,5	690	34,3
34,2	34,3	34,3	31,2	32	53,5	720	34,3
34,2	34,4	34,4	31,3	32	53,6	750	34,3
34,5	34,5	34,5	31,3	32	53,6	780	34,5
34,6	34,7	34,6	31,3	32,2	53,6	810	34,6
34,8	34,7	34,7	31,3	32,2	53,6	840	34,7
34,8	35	34,8	31,4	32,2	53,7	870	34,9

34,9	34,9	35	31,4	32,2	53,7	900	34,9
34,9	35,1	35,1	31,4	32,4	53,7	930	35
34,9	35	35,2	31,4	32,4	53,7	960	35
35,2	35,1	35,2	31,5	32,5	53,7	990	35,2
35,1	35,1	35,3	31,5	32,5	53,8	1020	35,2
35,2	35,4	35,3	31,5	32,5	53,8	1050	35,3
35,1	35,4	35,4	31,5	32,5	53,8	1080	35,3
35,2	35,4	35,5	31,5	32,6	53,8	1110	35,4
35,2	35,4	35,5	31,5	32,7	53,8	1140	35,4
35,4	35,5	35,4	31,5	32,7	53,8	1170	35,4
35,5	35,6	35,4	31,5	32,7	53,8	1200	35,5
35,4	35,4	35,6	31,6	32,7	53,8	1230	35,5
35,3	35,5	35,6	31,6	32,8	53,8	1260	35,5
35,6	35,6	35,6	31,6	32,9	53,9	1290	35,6
35,6	35,8	35,7	31,6	32,8	53,9	1320	35,7
35,7	35,8	35,7	31,6	32,8	53,9	1350	35,7
35,6	35,8	35,7	31,6	32,8	53,9	1380	35,7
35,3	35,3	35,2	31,6	32,9	53,9	1410	35,3
35,3	35,3	35,4	31,7	33	53,9	1440	35,3
35,3	35,4	35,4	31,7	33	54	1470	35,4
35,5	35,6	35,5	31,7	33	54	1500	35,5
35,3	35,5	35,5	31,7	33	54	1530	35,4
35,3	35,4	35,4	31,8	33	54	1560	35,4
35,3	35,2	35,2	31,8	33,2	54	1590	35,2
34,9	35,1	35,1	31,8	33,1	54,1	1620	35
35	35,1	35,2	32,1	33	54,1	1650	35,1
35	35	35,2	31,9	33,3	54,1	1680	35,1
35,6	35,8	36	32,3	33	54,1	1710	35,8
35,8	35,7	35,8	32	33,5	54,1	1740	35,8
35,6	35,8	35,7	32,2	33,1	54,1	1770	35,7
35,4	35,7	35,6	32,3	33,4	54,1	1800	35,6
35,3	35,5	35,5	32,5	33,6	54,2	1830	35,4
35,2	35,5	35,6	32,3	33,2	54,2	1860	35,4
35,2	35,4	35,5	32,1	33,3	54,2	1890	35,4

Tabel Charge Battery

10 LPM

Battery Temperature			Udara Temperature		Voltage	Time	Average Battery
I	II	III	Inlet	Outlet			
30,7	30,5	30,9	30	30	50	0	30,70
30,8	30,6	30,6	30	30,1	52	30	30,67
30,9	30,8	30,5	30	30	52,8	60	30,73
30,7	30,9	30,4	30,1	30,1	53,1	90	30,67
30,9	30,8	30,7	30,1	30,1	53,3	120	30,80
30,8	30,9	30,8	30,1	30,1	53,3	150	30,83
31,2	31,3	31	30,1	30,2	53,4	180	31,17
30,9	31,1	30,9	30,2	30,2	53,4	210	30,97
31,3	31,4	31,2	30,2	30,3	53,5	240	31,30
31	31,2	31,1	30,2	30,4	53,5	270	31,10
31,5	31,3	31,4	30,3	30,5	53,5	300	31,40
31,4	31,6	31,2	30,3	30,5	53,6	330	31,40
31,3	31,4	31,5	30,3	30,6	53,6	360	31,40
31,6	31,6	31,8	30,4	30,7	53,6	390	31,67
31,7	31,8	31,8	30,4	30,8	53,6	420	31,77
31,8	31,8	32	30,4	30,8	53,6	450	31,87
31,8	31,9	31,9	30,4	30,9	53,7	480	31,87
31,9	31,7	31,9	30,5	30,9	53,7	510	31,83
31,8	31,9	32,3	30,5	30,9	53,7	540	32,00
31,8	32,1	32,2	30,5	31	53,7	570	32,03
32,2	32,4	32,3	30,5	31,1	53,7	600	32,30
32,4	32,4	32,6	30,6	31,1	53,7	630	32,47
32,4	32,1	32,5	30,5	31,1	53,7	660	32,33
32,3	32,6	32,5	30,6	31,2	53,8	690	32,47
32,5	32,6	32,6	30,6	31,2	53,8	720	32,57
32,5	32,5	32,7	30,7	31,3	53,8	750	32,57
32,7	32,8	32,6	30,6	31,4	53,8	780	32,70
32,5	32,7	32,8	30,7	31,4	53,8	810	32,67
32,9	32,8	32,9	30,7	31,5	53,8	840	32,87
33,1	32,8	33	30,7	31,6	53,8	870	32,97
33,1	33,2	33,3	30,8	31,6	53,8	900	33,20

33,6	33,5	33,4	30,8	31,6	53,8	930	33,50
33,5	33,7	33,7	30,8	31,7	53,8	960	33,63
33,7	33,6	33,8	30,9	31,8	53,9	990	33,70
33,5	33,9	33,6	30,9	31,8	53,9	1020	33,67
33,8	33,9	33,7	30,9	31,8	53,9	1050	33,80
33,4	33,7	33,6	30,9	31,9	53,9	1080	33,57
33,8	34,1	34	31	31,9	53,8	1110	33,97
34,2	34,2	34,3	31	32	53,7	1140	34,23
34,2	34,5	34,3	31	32,1	53,7	1170	34,33
34,1	34,5	34,2	31	32,1	53,6	1200	34,27
34,4	34,3	34,6	31	32,1	53,5	1230	34,43
34,2	34,1	34,5	31,1	32,1	53,5	1260	34,27
33,9	34,4	34,7	31,1	32,2	53,4	1290	34,33
34	34,2	34,4	31,1	32,2	53,3	1320	34,20
34,2	34,5	34,6	31,1	32,3	53,5	1350	34,43
33,9	34,7	34,9	31,1	32,3	53,4	1380	34,50
34,5	34,5	35,2	31,1	32,2	53,4	1410	34,73
34	34,9	35	31,2	32,3	53,3	1440	34,63
33,8	35,1	35,3	31,1	32,3	53,3	1470	34,73
34	34,8	35,1	31,2	32,3	53,3	1500	34,63
34,1	34,8	34,8	31,2	32,3	53,1	1530	34,57
34,1	35,3	34,9	31,2	32,4	53,1	1560	34,77
33,7	35,5	35,1	31,2	32,4	53,3	1590	34,77
34,1	35,1	35,1	31,3	32,4	53,2	1620	34,77
33,8	35	34,8	31,3	32,3	53,2	1650	34,53
33,8	35	34,9	31,3	32,3	52,9	1680	34,57
33,9	34,7	34,7	31,2	32,3	53,2	1710	34,43
33,7	34,9	35,1	31,3	32,3	53,1	1740	34,57
33,9	35,2	35,4	31,4	32,3	52,9	1770	34,83
33,9	35,3	35,1	31,4	32,4	53,2	1800	34,77
34,3	35,1	34,9	31,4	32,4	52,9	1830	34,77
34,3	34,9	35	31,4	32,4	52,9	1860	34,73
34,3	34,9	35	31,4	32,3	52,9	1890	34,73

Tabel Charge Battery

15 LPM

Battery Temperature			Udara Temperature		Voltage	Time	Average Battery
I	II	III	Inlet	Outlet			
30,3	30	30,1	29,7	29,5	50,2	0	30,13
30	30,1	30	29,7	29,5	50,2	30	30,03
30,3	30,1	30	29,8	29,6	52,1	60	30,13
30,3	30,1	30,3	29,8	29,7	52,1	90	30,23
30,5	30,3	30,3	29,8	29,8	53,3	120	30,37
30,8	30,3	30,1	29,9	29,9	53,4	150	30,40
30,7	30,6	30,5	29,9	29,1	53,4	180	30,60
30,9	30,7	30,5	29,9	29,7	53,5	210	30,70
30,7	30,7	30,3	29,9	29,8	53,5	240	30,57
30,9	30,8	30,3	29,9	29,8	53,5	270	30,67
31	30,6	30,7	29,9	29,9	53,6	300	30,77
31,3	30,9	30,6	30	29,9	53,6	330	30,93
31,2	30,9	30,6	30	30	53,5	360	30,90
31,6	31,4	30,6	30	30	53,6	390	31,20
31,8	31,4	30,8	30	30	53,6	420	31,33
31,6	31,7	31,2	30,1	30,1	53,7	450	31,50
31,8	31,7	31	30,1	30,1	53,7	480	31,50
31,8	31,9	31	30,1	30,2	53,7	510	31,57
31,8	31,9	31,4	30,1	30,2	53,7	540	31,70
31,8	31,9	31,4	30,1	30,3	53,7	570	31,70
31,9	32,1	31,1	30,2	30,3	53,7	600	31,70
32	32	31,2	30,1	30,4	53,8	630	31,73
32,1	32	31,2	30,2	30,4	53,8	660	31,77
32,3	32,4	31,3	30,2	30,5	53,8	690	32,00
32,5	32,5	31,6	30,2	30,6	53,8	720	32,20
32,8	32,4	31,6	30,2	30,6	53,8	750	32,27
32,7	32,4	31,9	30,2	30,7	53,8	780	32,33
32,9	32,7	31,9	30,3	30,7	53,8	810	32,50
32,8	32,6	32,4	30,2	30,7	53,8	840	32,60
32,9	32,7	32,1	30,3	30,8	53,8	870	32,57
32,7	33,1	32,5	30,3	30,9	53,8	900	32,77

33,3	33	32,5	30,3	30,9	53,9	930	32,93
33,2	33,1	32,4	30,4	31	53,9	960	32,90
33,3	33,1	32,4	30,4	31	53,9	990	32,93
33,2	33,5	32,6	30,4	31	53,9	1020	33,10
33,8	33,5	32,6	30,4	31,1	53,9	1050	33,30
33,4	33,5	32,7	30,4	31,2	53,9	1080	33,20
33,6	33,7	32,7	30,4	31,2	53,9	1110	33,33
33,8	33,7	32,6	30,4	31,3	54	1140	33,37
33,3	33,5	32,7	30,4	31,3	54	1170	33,17
33,6	33,9	32,8	30,5	31,3	54	1200	33,43
33,5	33,7	32,7	30,5	31,4	54	1230	33,30
34,1	33,4	32,9	30,5	31,4	54	1260	33,47
34	33,4	32,9	30,5	31,4	54,1	1290	33,43
32,4	33,8	32,9	30,5	31,5	54,1	1320	33,03
33	33,8	32,8	30,5	31,5	54,1	1350	33,20
32,6	33,7	32,9	30,5	31,5	54	1380	33,07
32,9	33,7	32,8	30,5	31,5	53,9	1410	33,13
33,4	33,9	33,3	30,6	31,6	53,8	1440	33,53
33,2	33,7	33,3	30,6	31,7	53,7	1470	33,40
33,2	33,5	33,7	30,6	31,7	53,6	1500	33,47
33,4	33,5	33,5	30,6	31,7	53,7	1530	33,47
33,5	33,6	33,3	30,6	31,7	53,6	1560	33,47
33,5	33,9	33,1	30,6	31,8	53,5	1590	33,50
33,7	34	33,2	30,6	31,8	53,6	1620	33,63
34,3	34	33,2	30,6	31,7	53,6	1650	33,83
34,5	34	33,6	30,6	31,8	53,5	1680	34,03
33,9	34,3	33,6	30,6	31,8	53,5	1710	33,93
33,7	34,1	33,7	30,6	31,8	53,4	1740	33,70
33,4	34,4	33,9	30,7	31,8	53,5	1770	33,90
33,6	34,4	33,9	30,7	31,8	53,5	1800	33,97
34	34,6	34,6	30,7	31,7	53,5	1830	34,40
34	34,6	34,4	30,7	31,7	53,5	1860	34,33
34	34,5	34,8	30,7	31,7	53,5	1890	34,43

Tabel Disharge (Tanpa Pendingin)

<i>Discharge</i>					
<i>Battery</i>			<i>Average Battery</i>	<i>Voltase</i>	<i>Time</i>
<i>Temperature</i>					
<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>			
30,1	30,1	30	30,1	48,8	0
30,8	30,8	30,9	30,8	48,3	30
31,2	31	30,9	31	48,1	60
31,7	31,5	31,3	31,5	47,9	90
32,2	32,1	31,8	32	47,7	120
32,4	32,3	32	32,2	47,5	150
33,5	33,3	33,1	33,3	47,4	180
34,2	34	33,7	34	47,3	210
34,9	34,9	34,5	34,8	47,1	240
35,5	35,2	35	35,2	47,1	270
36	35,9	35,7	35,9	46,9	300
37,1	37	36,7	36,9	46,9	330
37,6	37,7	37,3	37,5	46,8	360
38,4	38,6	38	38,3	46,7	390
38,9	38,8	38,5	38,7	46,6	420
39,6	39,5	39,2	39,4	46,5	450
40,3	40,3	40	40,2	46,4	480
40,8	41,1	40,6	40,8	46,3	510
41,4	41,6	41,2	41,4	46,2	540
41,9	42,3	41,6	41,9	46,1	570
42,6	42,8	42,2	42,5	45,9	600
42,7	43,1	42,3	42,7	45,7	630
43	43,6	42,9	43,2	45,6	660
43,6	43,7	43,1	43,5	45,3	690
44	44,7	43,4	44	45	720
44,8	45	44,5	44,8	44,5	750
45,5	45,7	45,5	45,6	43,7	780
46,1	46,5	46,3	46,3	42,2	810
46,6	46,6	46,2	46,5	45	840
46,6	46,7	46,3	46,5	45,6	870
46,1	46,3	45,8	46,1	45,9	900

Tabel Charge (Tanpa Pendingin)

<i>Charge</i>					
<i>Battery</i>				<i>Voltase</i>	<i>Time</i>
<i>Temperature</i>			<i>Average Battery</i>		
<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>			
31,5	31	31,3	31,27	49,2	0
31,7	31,7	31,2	31,53	49,9	30
31,9	32,8	31,4	32,03	51,5	60
32	30,3	31,3	31,2	51,8	90
32	29,2	30,6	30,6	52,1	120
32,3	33,1	31,8	32,4	52,3	150
32,1	30,5	31,8	31,47	52,4	180
32,4	31,1	31,8	31,77	52,6	210
32,8	30,7	31,9	31,8	52,8	240
33	30,7	31,1	31,6	53	270
33	29,9	31,4	30,73	53,2	300
32,9	30,3	31,4	31,53	53,3	330
32,6	30,4	31,7	31,57	53,3	360
33,4	31,6	31,7	32,23	53,3	390
33,3	33,6	31,8	32,90	53,3	420
33,6	31,6	32	32,40	53,5	450
33,9	30,7	32,5	32,37	53,5	480
33,8	31,4	32,7	32,63	53,5	510
33,9	32,6	32,9	33,13	53,5	540
34	33	33	33,33	53,6	570
34,1	32,7	33,2	33,33	53,6	600
33,9	31,7	33,3	32,97	53,6	630
34,2	32,3	33,3	33,75	53,6	660
34,1	32,6	33,9	34,00	53,6	690
34,5	32	34	33,50	53,7	720
34,6	31,7	34,2	33,50	53,7	750
34,7	32,5	34,5	33,90	53,7	780
34,4	32,8	34,6	33,93	53,7	810
35,4	34,2	34,8	34,80	53,7	840
34,8	34,1	34,8	34,57	53,8	870
34,7	35,1	34,8	34,87	53,8	900
34,3	35,6	34,8	34,90	53,8	930

35	35,9	34,9	35,27	53,8	960
35,1	35,3	34,8	35,07	53,8	990
35,1	35,2	35	35,10	53,8	1020
35,5	35,6	35,1	35,40	53,8	1050
35,5	35,6	35,2	35,43	53,9	1080
35,6	35,4	35,3	35,43	53,9	1110
35,5	35,4	35,4	35,43	53,9	1140
35,9	35,4	35,5	35,60	53,9	1170
35,8	35,8	35,8	35,80	53,9	1200
35,9	35,6	36	35,83	53,9	1230
35,8	35,4	36,2	35,80	54	1260
36,1	35,4	36,3	35,93	54	1290
36,3	35,6	36,3	36,07	54	1320
36,2	35,8	36,3	36,10	54	1350
36,3	35,8	36,3	36,13	54,1	1380
36,2	36,1	36,3	36,20	53,9	1410
36,1	36,1	36,4	36,20	53,8	1440
36	36,5	36,4	36,30	53,8	1470
36,7	36,5	36,4	36,53	53,7	1500
36,6	36,6	36,4	36,53	53,6	1530
36,5	36,3	36,6	36,47	53,5	1560
36,6	36,4	36,7	36,57	53,6	1590
36,6	36,4	36,6	36,53	53,4	1620
36,8	36,6	36,8	35,06	53,6	1650
36,6	36,5	36,3	34,92	53,5	1680
36,9	36,7	36,9	35,16	53,5	1710
36,9	36,7	37,3	34,88	53,4	1740
37,2	36,9	37	35,28	53,5	1770
37,5	37	36,9	35,42	53,5	1800
37,7	37,4	37,2	35,68	53,5	1830
38	37,4	37,5	35,68	53,5	1860
38,3	37,7	37,3	35,74	53,5	1890

Lampiran Dokumentasi Penelitian

