

## **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 dapat diisi ulang, pada saat ini baterai lithium-ion sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari – 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 <sub>2</sub>	-

Material Elektrolit	Lithium salt (LiPF <sub>6</sub> )	-
---------------------	--------------------------------------	---

## 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

dinginkan 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

$\rho$  = 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

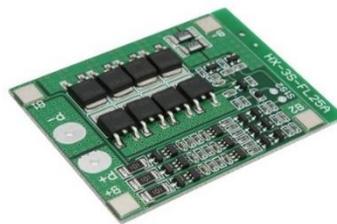
Media yang digunakan adalah suhu udara. Suhu baterai dikurangi dengan mensirkulasikan udara pendingin yang bersentuhan dengan permukaan luar baterai. Efek samping yang tidak diinginkan dari penggunaan sistem pendingin jenis ini adalah kebisingan. Ada dua cara pendinginan udara: konveksi udara alami dan 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-balance-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

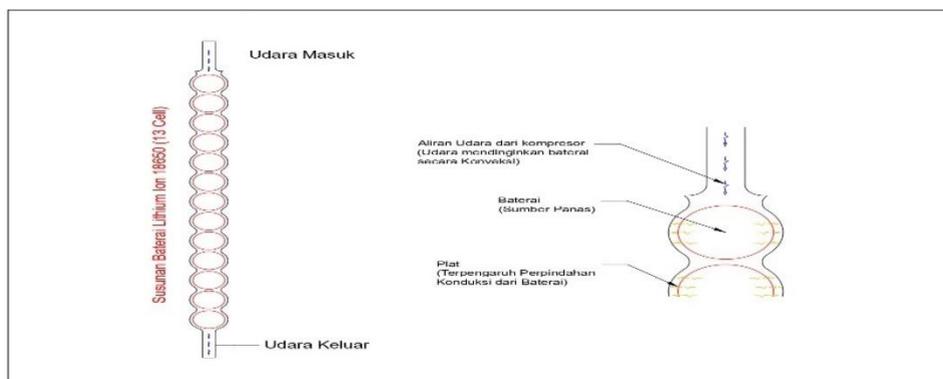
(Sumber : <https://www.niagamas.com/produk/nlg-kompresor-listrik-bac-5010-10hp-500ltr/>)

## 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 Sempurna	Tegangan tidak menghasikan regangan yang berkebalikan	Logam duktil

Plastis Padat	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 Ekspansional	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 pelumas
	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

$\rho$  = Massa Jenis ( $\text{Kg/m}^3$ )

V = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

$\mu$  = Viskositas Dinamik (Pa·s atau N·s/m<sup>2</sup>)

## 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 ) (Kartasasmita., 2015.)

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

Keterangan :

Q = Jumlah Panas yang transfer (*joule*)

t = Waktu

A = Permukaan Luas (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = 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)

$\Delta S$  = 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)