

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Baterai Litium Ion 18650

Baterai litium ion (Li-Ion) merupakan baterai yang memiliki struktur elektroda positif (katoda) dari bahan litium ion, elektroda negatif (anoda) dari karbon seperti graphite, dan elektrolit dari bahan garam litium seperti *lithium hexafluorophosphate* (LiPF<sub>6</sub>), *lithium hexafluoroarsenate monohydrate* (LiAsF<sub>6</sub>), *lithium perchlorate* (LiClO<sub>4</sub>), *lithium tetrafluoroborate* (LiBF<sub>4</sub>), *lithium triflate* (LiCF<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>). Elektroda positif sendiri memiliki beberapa jenis litium ion seperti *lithium ion cobalt oxide* (LiCoO<sub>2</sub>) *lithium iron phosphate* (LiFePO<sub>4</sub>), *lithium manganese oxide* (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) (Bruno Scrosati et al, 2002). Litium ion 18650 merupakan baterai litium dengan bentuk silinder dengan diameter 18 mm dan panjang 65 mm. Dalam tabel 2.1 dipaparkan kelebihan serta kekurangan dari baterai litium ion.

Baterai dapat disusun seri, paralel atau kombinasi keduanya untuk mendapatkan tegangan dan arus sesuai keinginan. Jika ingin menaikkan nilai tegangan, maka baterai disusun secara seri. Dan jika ingin menaikkan nilai arus atau kapasitas, maka betarai disusun secara paralel. Dan untuk menaikkan nilai tegangan dan arus, maka baterai disusun secara kombinasional antar seri dan paralel.

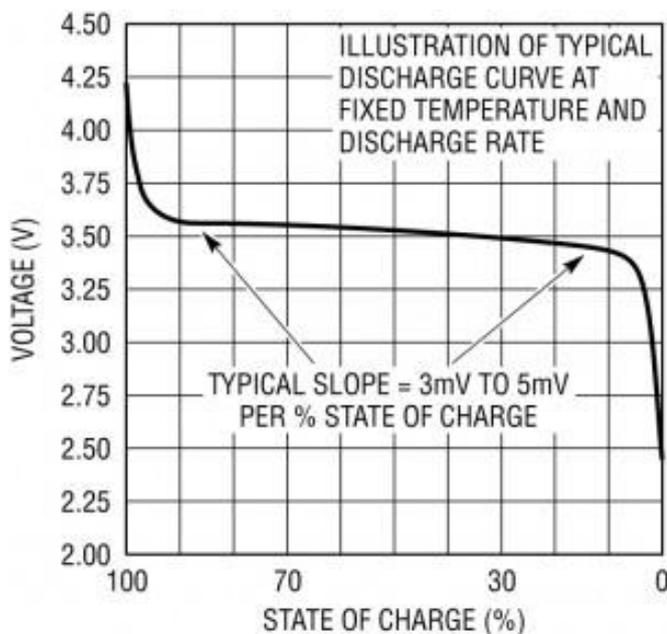
Tabel 2.1 *Tabel Kelebihan dan Kekurangan Baterai Litium Ion*

Kelebihan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rapat energi yang tinggi</li> <li>2. Siklus hidup panjang dengan perawatan yang sederhana</li> <li>3. Kapasitas besar, Resistansi internal kecil, efisiensi coloumb bagus</li> <li>4. Algoritma pengisian mudah dan cepat</li> <li>5. <i>Self discharge</i> rendah</li> </ol>
Kekurangan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memerlukan rangkaian proteksi panas</li> <li>2. Penurunan kemampuan pada suhu tinggi dan kondisi tegangan tinggi saat disimpan</li> <li>3. Tidak bisa pengisian secara cepat pada suhu beku (&lt;0°C)</li> <li>4. Perlu perlakuan khusus saat distribusi baterai</li> </ol>

Sumber: [www.batteryuniversity.com](http://www.batteryuniversity.com) (2016)

*State of charge* (SoC) merupakan suatu nilai yang merepresentasikan kapasitas baterai, bisa dalam satuan *ampere hour* (Ah), *watt hour* (wh), atau dalam bentuk persen (0-100%). Secara garis besar terdapat dua metode yaitu *white box system* dan *black box system*. Metode *open circuit voltage* (OCV), *impedance spectroscopy*, *coulombmetric*, *book-keeping*, *kalman filter*, dan *integral observer* dikategorikan sebagai *white box system* karena membutuhkan model matematis dari sel baterai, sedangkan *artificial neural network*, *fuzzy logic*, dan *learning algorithm* digolongkan sebagai *black box system* karena tidak membutuhkan model matematis baterai (Christopher D, 2013).

Salah satu metode estimasi SoC yang cukup mudah diimplementasikan dan paling banyak digunakan adalah metode *coloumb counting* (CC). Prinsip dasar metode *coloumb counting* adalah melakukan pejumlahan secara akumulatif (proses integrasi) terhadap arus listrik yang masuk ataupun keluar dari baterai (Vairamohan B, 2002). Berdasarkan penelitian Rijanto, hambatan dalam baterai akan mengalami perubahan seiring dengan perubahan nilai SoC. Hal ini dapat menimbulkan derau pada sensor arus saat dilakukan pencuplikan data arus pengisian/pengosongan baterai, selain itu kelemahan metode *coloumb counting* adalah akumulasi galat pembacaan SoC saat awal penentuan SoC. Dalam gambar 2.1 dijelaskan hubungan antara SoC terhadap tegangan baterai, tegangan baterai litium-ion relatif konstan sesuai tegangan nominalnya pada kapasitas antara 10-90%.



Gambar 2.1 Grafik SoC terhadap tegangan baterai litium ion secara umum  
Sumber : Bruno Scrosati et all (2002)

Pada umumnya proses pengisian baterai litium ion bisa menggunakan metode *constant voltage* (CV), *constant current* (CC), atau keduanya *constant voltage/constant current* (CCCV). Nilai tegangan pengisian sesuai dengan karakteristik baterai tersebut, baterai litium ion 18650 memiliki tegangan pengisian sebesar  $4,2 \pm 0,005$  V, sedangkan arus pengisian standar sebesar 0,3C-1C yang berarti arus pengisian 0,3 – 1 kali kapasitas baterai.

Dan untuk proses pengosongan baterai terdapat batas maksimal arus sesuai dengan yang ada pada *datasheet* baterai tersebut, sehingga diperlukan rangkai proteksi *overcurrent*. Parameter tegangan minimal pengosongan / *depth of discharge* (DOD) harus diperhatikan, karena jika baterai digunakan terus menerus hingga tegangannya dibawah nilai tegangan minimal, maka dapat mengakibatkan kerusakan permanen pada baterai. Contoh spesifikasi baterai litium-ion dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Datasheet Baterai Samsung Litium Ion ICR18650*

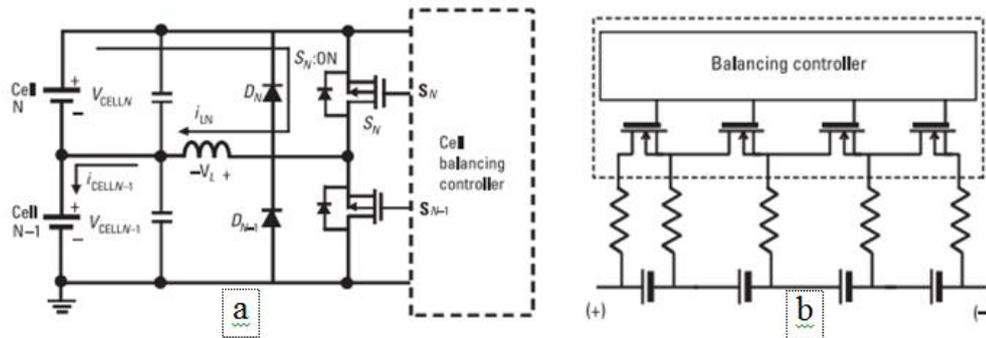
ITEM	SPECIFICATION
Nominal Capacity	2600 mAh
Charging Voltage	$4,2 \pm 0,05$ V
Nominal Voltage	3,7 V
Charging Current	Standard: 1300mA; Rapid: 2600mA
Charging Time	Standard: 3 hours; Rapid: 2,5 hours
Max. Charge Current	2600 mA
Max. Discharge Current	5200 mA
Discharge Cut-off Voltage	2,75 V
Cell Weight	47 gram max
Cell Dimension	Diameter: 18,4 mm; Height: 65 mm
Operating Temperature	Charge: 0 to 45°C Discharge: -20 to 60 °C

Sumber: Samsung (2009)

## 2.2 *Cell balancing*

Proses pengisian *battery pack* dengan susunan seri setiap selnya memiliki masalah yaitu tidak meratanya hasil pengisian pada setiap sel baterai. Rangkaian *balancing* merupakan rangkaian yang digunakan pada baterai tersusun seri untuk menjaga kapasitas atau tegangan baterai setiap sel sama. Seperti yang terdapat dalam gambar 2.2, terdapat dua jenis rangkaian *cell balancing* yaitu aktif dan pasif. Rangkaian *passive cell balancing* menggunakan prinsip membuang energi pada baterai dengan tegangan tertinggi melalui resistor hingga tegangan baterai tersebut turun sesuai dengan tegangan baterai terendah, hal ini tidak efisien. Dan rangkaian *active cell balancing* menggunakan prinsip membuang energi pada

baterai dengan tegangan lebih tinggi ke baterai dengan kapasitas lebih rendah, sehingga lebih efisien energi (Sihua, 2009).



Gambar 2.2 Rangkaian *cell balancing*, (a) Aktif, (b) Pasif  
Sumber : Barkusov dan Qian (2003)

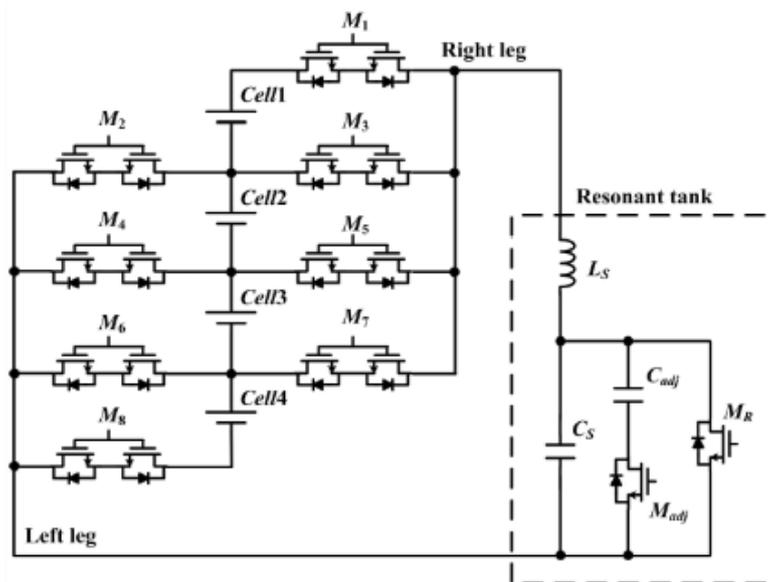
Menurut Barsukov dan Qian (2013) beberapa alasan mengapa diperlukan proses *balancing* pada *battery pack* tersusun seri adalah sebagai berikut :

1. Keselamatan, baterai litium ion biasanya memiliki tegangan maksimal 4,2 volt. Jika tegangan baterai melebihi beberapa ratus millivolt, maka akan menyebabkan baterai panas bahkan terbakar.
2. *Lifetime*, jika proses pengisian melebihi tegangan maximal baterai secara terus menerus, akan menyebabkan *lifetime* dan kapasitas baterai tersebut turun secara drastis.
3. Saat akan terjadi *overvoltage* dan *overdischarge* pada salah satu baterai dan protektor bekerja untuk mencegahnya dengan menghentikan proses pengisian atau pengosongan, maka akan ada beberapa baterai lain yang memiliki tegangan dibawah tegangan maksimal karena tidak terisi dengan penuh.
4. *Battery pack* tidak akan bisa dipakai ketika salah satu baterai berada pada kondisi depth of discharge, karena protector overdischarge akan menghentikan proses pengosongan baterai.

Metode *active cell balancing* dapat dibagi menjadi 3 berdasarkan cara transfer energinya, yaitu *pack to cell*, *cell to pack*, dan *cell to cell*. Metode *balancing pak-sel* dapat mengisi baterai yang lemah secara efisien tapi tidak efisien saat mengosongkan baterai yang kuat, sebaliknya *cell to pack* dapat mengosongkan baterai yang kuat secara efisien tapi tidak efisien saat mengisi baterai yang lemah, dan metode *cell to cell* dapat mengisi dan mengosongkan

baterai secara efisien tapi membutuhkan waktu yang lebih lama agar tegangan baterai seimbang. Beberapa contoh rangkaian sel-sel *active balancing* adalah *switched-capacitors*, *buck-boost converter*, *quasi-resonant buck-boost converter*, *flyback converter*, dan *inductor-capacitor series resonance* (LC resonan). Rangkaian LC resonan ini terdiri dari induktor dan kapasitor yang tersusun seri, LC resonan menjadi media penyimpanan energi sementara dari baterai bertegangan lebih tinggi ke baterai bertegangan lebih rendah melalui rangkaian *switching* dengan frekuensi resonansi sebagai frekuensi *switching* (Lee, K.M et al, 2015).

Gambar 2.3 merupakan salah satu rangkaian aktif balancing dengan menggunakan LC seri resonan sebagai media transfer energi. Rangkaian ini memiliki 3 mekanisme, yakni proses pengisian, pengosongan, dan *reset*.



Gambar 2.3 Rangkaian aktif balancing LC seri resonan  
Sumber : Sung, C et al (2013)

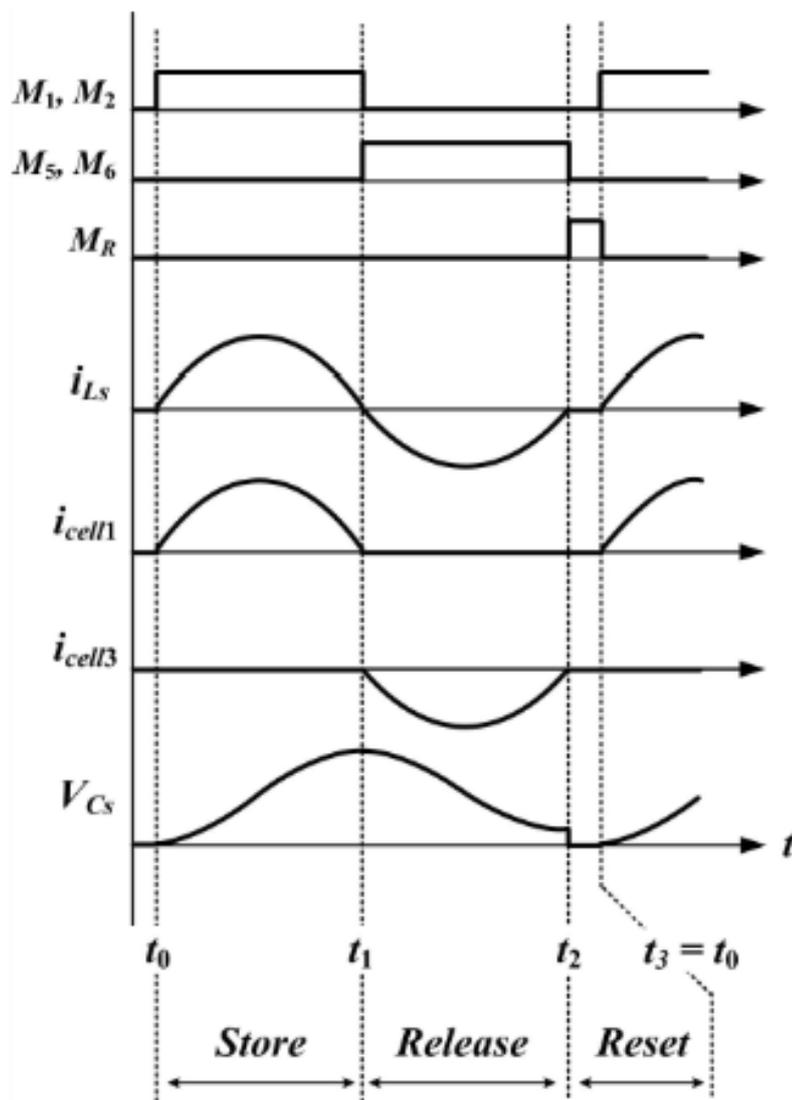
Sebagai contoh sel 1 sebagai baterai bertegangan lebih tinggi dan sel 3 sebagai baterai bertegangan lebih rendah. Saat proses pengisian *switch* M1 dan *switch* M2 diaktifkan, sehingga rangkaian LC seri resonan terhubung dengan sel 1, arus akan mengalir dari sel 1 ke rangkaian LC seri hingga tegangan pada kapasitor ( $C_s$ ) bertambah mendekati 2 kali tegangan sel 1. Ketika arusnya sudah nol, maka *switch* M1 dan *switch* M2 akan dimatikan.

Setelah proses pengisian, selanjutnya proses pengosongan. Saat proses pengosongan *switch* M5 dan *switch* M6 diaktifkan, sehingga rangkaian LC seri

resonan terhubung dengan sel 3, arus akan mengalir dari rangkaian LC seri ke sel 3 hingga tegangan pada kapasitor ( $C_s$ ) berkurang mendekati nol. Ketika arusnya sudah nol, maka *switch* M5 dan *switch* M6 akan dimatikan.

Dan proses terakhir dari mekanisme *balancing* ini adalah reset, *switch* MR diaktifkan sehingga terjadi pengosongan muatan kapasitor, hal ini bertujuan agar pada proses *balancing* selanjutnya tegangan pada kapasitor ( $C_s$ ) sudah nol. Ketiga proses pengisian, pengosongan, reset dilakukan berulang-kali hingga tegangan antara sel 1 dan sel 3 sama (Sung, C et al, 2013).

Gambar 2.4 menunjukkan respon gelombang dari mekanisme *balancing* rangkaian aktif *balancing* LC seri resonan pada gambar 2.3



Gambar 2.4 Respon gelombang rangkaian aktif balancing LC seri resonan  
Sumber : Sung, C et al (2013)

Rangkaian dalam gambar 2.3 memiliki kapasitor pengatur ( $C_{adj}$ ) yang tersusun paralel dengan kapasitor utama ( $C_s$ ) yang bertujuan untuk memperbesar nilai kapasitansi kapasitor pada rangkaian LC seri resonan, hal ini dilakukan karena terkait dengan daya, waktu, dan efisiensi dalam proses *balancing* tersebut. sesuai dengan yang ada pada persamaan (2-1), persamaan (2-2), dan persamaan (2-3). Semakin besar nilai kapasitor atau semakin kecil nilai induktor pada rangkaian LC seri resonan, maka dayanya akan semakin besar, dan waktu *balancing* akan semakin cepat, namun efisiensinya akan semakin kecil karna *power loss* pada resistansi parasit menjadi semakin besar (Sung, C et al, 2013).

$$E_s = \frac{1}{2} C_s V_c^2 = 2 C V_{sel}^2 \dots\dots\dots(2-1)$$

$$P_s = \frac{E_s}{T} = \frac{E_s}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} = \frac{V_{sel}^2}{\pi} \sqrt{\frac{C_s}{L_s}} \dots\dots\dots(2-2)$$

$$P_{loss} = \frac{1}{T} \int_0^T R_{path} i_L(t)^2 dt = \frac{C_s R_{path} V_{sel}^2}{4L} = \frac{\pi^2 R_{path} P_s^2}{4V_{sel}^2} \dots\dots(2-3)$$

### 2.3 Sensor suhu LM35

Sensor suhu LM35 adalah sensor suhu dengan nilai keluaran terlinier dengan suhu celcius. LM35 hanya menyerap arus 60 uA dari *powself-heating* sangat rendah yaitu kurang dari 0.1 ° C. Sensor LM35 dapat digunakan pada *Power Supplies* dan *Battery Management* (Texas Instrument, 2016).

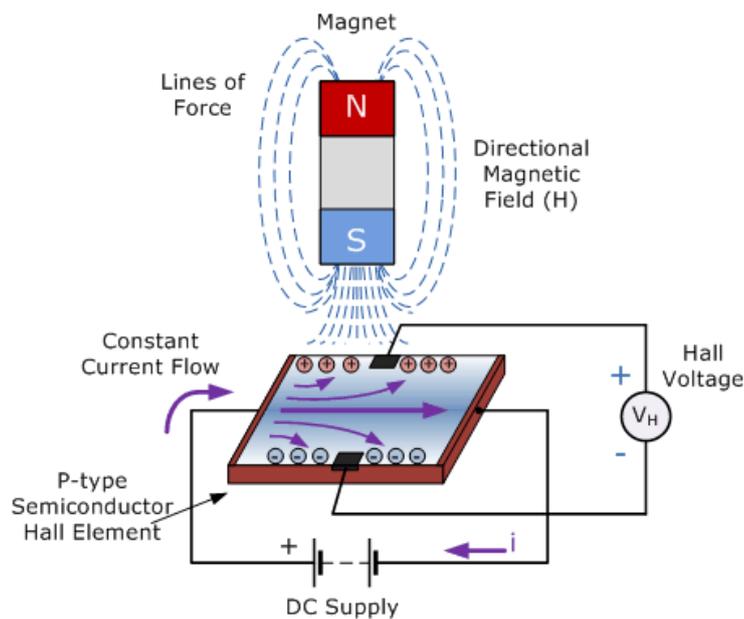
Sensor suhu LM35 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Faktor skala Linear + 10 mV/°C
- Akurasi 0.5°C (pada 25°C)
- Jarak pengukuran suhu -55°C sampai 150°C
- Non-Linearitas hanya ±¼°C

### 2.4 Sensor Arus ACS712

ACS712-30A merupakan sensor arus yang dapat membaca arus AC atau DC, bekerja dengan prinsip *Hall effect*, yang terdiri dari *integrated circuit* (IC) *Hall* sebagai transduser dan tembaga sebagai konduktor arus. Ketika arus mengalir melewati jalur konduksi yang berada di dalam sensor, maka akan menghasilkan sebuah medan magnet yang akan diubah oleh IC *Hall* menjadi tegangan yang proporsional (Allegro microsystem, 2012).

Seperti dalam Gambar 2.5, sensor *Hall effect* terdiri dari potongan tipis semikonduktor tipe P berbentuk persegi panjang yang dialiri arus listrik secara berkesinambungan, dengan menggunakan prinsip gaya *Lorentz* ketika didekatkan dengan medan magnet garis fluks magnet akan memberikan gaya sehingga *electron* dan *hole* akan bergerak ke kedua sisi plat semikonduktor tersebut. Karena *electron* dan *hole* bergerak ke kedua sisi semikonduktor, maka akan timbul perbedaan potensial diantara kedua sisiplat semikonduktor.



Gambar 2.5 Prinsi kerja *Hall effect sensor*

Sumber : Anonym (2012)

Keluaran sensor ACS712 memiliki slope positif ( $>V_{IOUT(Q)}$ ) ketika terjadi peningkatan arus yang melewati jalur konduksi utama. Spesifikasi sensor arus ACS712-30A ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakteristik Sensor ACS712-30A

Karakteristik	Simbol	Nilai	Satuan
Tegangan suplai	$V_{CC}$	4.5 – 5.5	V
Suhu Operasi	$T_A$	-40 – 85	$^{\circ}C$
Sensitivitas	V/A	66	mV/A
Rentang pengukuran optimal	$I_p$	-30 – 30	A
Arus Suplai	$I_{CC}$	10 – 13	mA
Tanggapan waktu	$t_R$	3.5	$\mu s$
Non Linieritas	$E_{LIN}$	1.5	%

Sumber : Allegro microsystem (2012)