

Desain Dan Implementasi Penyeimbang Baterai Lithium Polymer Berbasis *Dual Inductor*

Darus Setyo Widiyanto, Heri Suryoatmojo, dan Soediby

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: darus13@mhs.ee.its.ac.id; suryomgt@ee.its.ac.id; dibyosoe@gmail.com

Abstrak - Baterai *Lithium Polymer* merupakan baterai yang banyak digunakan pada saat ini, baterai *Lithium Polymer* dapat mensuplai dengan arus yang tinggi hingga mencapai dua puluh kali kapasitasnya. Selain itu desain baterai *Lithium Polymer* lebih kecil dibanding dengan baterai *Lead Acid* maupun *Ni-CD* dengan kapasitas yang sama. Akan tetapi baterai *Lithium Polymer* mempunyai beberapa kelemahan. Salah satunya yaitu dapat rusak jika *overcharging* dan *over discharging*. Pada alat – alat tertentu sel baterai *Lithium Polymer* disusun secara seri untuk menaikkan tegangannya. Penyusunan sel baterai secara seri membuat perbedaan tegangan saat *charging* maupun *discharging* pada masing – sel baterai. Perbedaan tegangan tersebut menyebabkan sel baterai tidak terisi penuh secara bersamaan sehingga menyebabkan *overcharging* pada sebagian sel baterai. Hal ini menyebabkan rusaknya sel baterai dan bisa menyebabkan baterai meledak.

Pada penelitian ini akan didesain dan diimplementasikan Penyeimbang Baterai *Lithium Polymer* Berbasis *Dual Inductor*. Penyeimbang ini merupakan pengembangan dari *Buck-boost converter* dengan penambahan induktor dan *flying capacitor*.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa penyeimbang baterai dapat menyeimbangkan tegangan tiga sel baterai dengan perbedaan tegangan yang tinggi. Disamping itu desain alat ini lebih sederhana dibandingkan dengan metode lain sehingga mudah untuk diaplikasikan.

Kata Kunci : *Lithium Polymer*, *Dual Inductor*, Penyeimbang Baterai

I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN baterai *lithium polymer* semakin tinggi karena mempunyai banyak kelebihan seperti tegangan yang tinggi, kapasitas besar dengan ukuran fisik kecil, tidak ada efek memori, dan minim polusi. Umumnya pada peralatan berkapasitas besar dibutuhkan lebih dari satu baterai untuk catu dayanya. Baterai tersebut disusun secara seri atau paralel pada sebuah wadah khusus yang disebut *battery pack*.

Setiap sel baterai pada *battery pack* mempunyai karakteristik yang berbeda. Hal ini menyebabkan perbedaan waktu pengisian maupun pengosongan pada tiap sel baterai sehingga baterai tidak terisi penuh secara bersamaan. Jika ketidak seimbangan tersebut tidak dikontrol maka, akan berpotensi membahayakan sel baterai tersebut.

Untuk memperpanjang umur baterai dan sebagai pengaman baterai dibutuhkan alat penyeimbang (*balancer*) yang berfungsi untuk menyeimbangkan tegangan tiap sel baterai sehingga sel baterai terhindar dari *overcharging*. Berdasarkan aliran energi yang melalui sel baterai, proses penyeimbangan baterai dikategorikan dalam dua jenis, yaitu penyeimbang

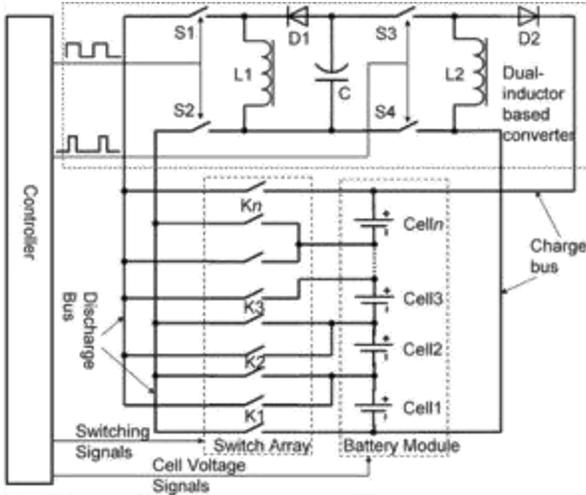
pasif dan penyeimbang aktif. Penyeimbangan secara pasif dilakukan dengan membuang muatan dari baterai yang bertegangan paling tinggi menggunakan resistor dan transistor. Penyeimbang secara pasif mempunyai efisiensi nol, karena energi dari kelebihan muatan pada baterai diserap oleh resistor. Sedangkan pada penyeimbang aktif, energi dari baterai yang bertegangan lebih tinggi dapat dialirkan menuju baterai yang mempunyai tegangan lebih rendah, sehingga dapat meningkatkan efisiensi.

Penyeimbang Baterai *Lithium Polymer* Berbasis *Dual Inductor* merupakan penyeimbang aktif yang terdiri dari dua buah induktor, satu kapasitor, tiga diode, empat saklar frekuensi tinggi, dan sebuah switch array untuk mengalirkan energi dari sel baterai yang bertegangan lebih tinggi menuju baterai dengan tegangan yang lebih rendah. Sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan mempersingkat waktu penyeimbangan karena energi dari sel yang bertegangan paling tinggi dapat dialirkan secara langsung menuju baterai yang mempunyai tegangan lebih rendah.

II. URAIAN PENELITIAN

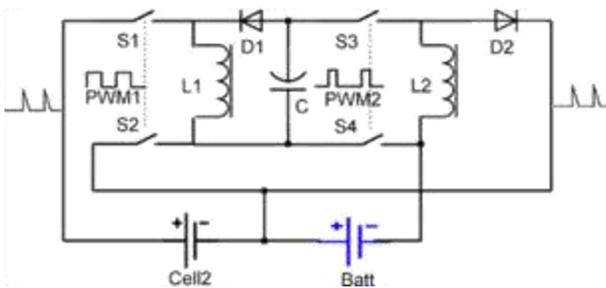
Penyeimbang Baterai Berbasis *Dual Inductor* adalah sebuah alat penyeimbang (*balancer*) tegangan baterai jenis *cell to pack* yang terdiri dari dua buah induktor, empat saklar frekuensi tinggi, diode serta sebuah *flying capacitor* yang berfungsi untuk mentransfer energi dari satu sel baterai menuju ke seluruh sel baterai dalam satu modul[2].

Rangkaian dari Penyeimbang Baterai Berbasis *Dual Inductor* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Penyeimbang Baterai Berbasis *Dual Inductor*

Komponen utama pada alat ini adalah converter berbasis *dual induktor*. Untuk mempermudah, rangkaian dari converter berbasis *dual induktor* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 converter berbasis *dual induktor*

Prinsip kerja dari adalah converter berbasis *dual induktor* dibagi menjadi empat fase[1].

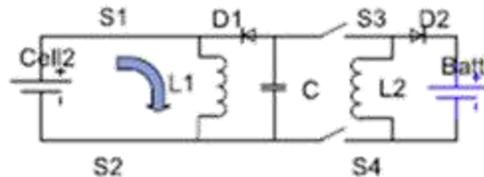
1. Fase I

Arah aliran arus fase pertama dapat dilihat pada Gambar 3. Pada fase pertama ($0 \sim t_{on1}$) S1 dan S2 on sehingga sel 2 mengisi induktor L1 besarnya arus pada fase pertama dapat dihitung dengan persamaan

$$I_1(t) = \frac{V_{sel2}}{R_1} (1 - e^{-\frac{R_1}{L_1}t}) \tag{2.6}$$

Dimana V_{sel2} adalah terminal dari sel2, R_1 adalah resistansi dari induktor dan L_1 adalah induktansi dari L1. Dalam keadaan normal, nilai R_1 sangat kecil sehingga dapat diabaikan menjadi[1].

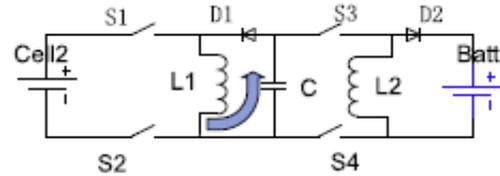
$$I_1(t) = \frac{V_{sel2}}{L_1} t \tag{2.7}$$



Gambar 3 Arah aliran arus fase pertama

2. Fase II

Fase II adalah periode saat $t_{on1} \sim (t_{on1} + t_D)$ dimana semua saklar off sedangkan arus I_1 menuju ke kapasitor C seperti pada Gambar 4. Diode D1 digunakan untuk menghindari kondisi resonansi dari C dan L1[1].



Gambar 4 Fase II

3. Fase III

Fase ketiga terjadi pada saat $(t_{on1} + t_D)$ sampai dengan $(t_{on1} + t_D + t_{on2})$. Pada fase ini saklar S3 dan S4 off. Pada fase ketiga kapasitor akan mengalirkan energi ke L2 sehingga terjadi resonansi antara C dengan L2[1]. Periode dari resonansi LC dapat dihitung dengan persamaan.

$$T_{LC2} = 2\pi\sqrt{L_2C} \tag{2.8}$$

Agar C bekerja pada mode *non zero current*, maka

$$T_{LC2} / 4 > t_{on2} \tag{2.9}$$

Sehingga nilai minimum kapasitor adalah

$$C_{min} \geq \frac{4t_{on2}^2}{\pi^2 L_2} \tag{2.10}$$

Jika kapasitas C terlalu besar maka pada L1 akan terjadi saturasi magnetik sehingga mengurangi efisiensi[1]. Untuk menghindari hal tersebut maka nilai C_{max} ditentukan dengan persamaan

$$T_{LC1} / 4 < (2t_D + t_{on2}) \tag{2.11}$$

Dimana

$$T_{LC1} = 2\pi\sqrt{L_1C} \tag{2.12}$$

Sehingga didapatkan

$$C_{max} < \frac{4(2t_D + t_{on2})^2}{\pi^2 L_1} \tag{2.13}$$

4. Fase IV

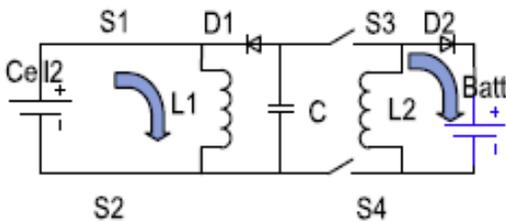
Fase keempat berlangsung pada saat $(t_{on1} + t_D + t_{on2})$ hingga T . Pada fase ini S3 dan S4 off sementara S1 dan S2 on. Aliran arus dapat dilihat pada Gambar 5. L2 mengisi modul baterai

sementara sel 2 kembali mengisi L1. Arus pengisian dari L2 ke modul baterai adalah

$$I_2(t) = -\frac{V_{batt}}{R_2} + e^{\frac{R_2 t}{L_2}} (I_{M2} + \frac{V_{batt}}{R_2}) \quad (2.14)$$

Dimana V_{batt} adalah tegangan terminal dari modul baterai, L_2 adalah induktansi L_2 , R_2 adalah resistansi dari induktor L_2 dan I_{M2} adalah arus L_2 saat $(t_{on1} + t_D + t_{on2})$. Dalam keadaan normal, resistansi dari induktor L_2 sangat kecil sedangkan nilai L_1 sama dengan nilai L_2 sehingga persamaan (2.14) dapat disederhanakan menjadi[1].

$$I_2(t) = I_{M2} - \frac{V_{batt}}{L} t \quad (2.15)$$

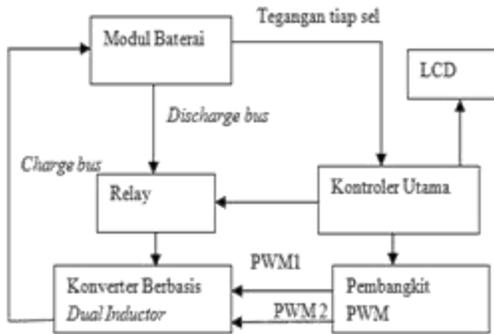


Gambar 5 Aliran arus pada fase IV

III. DESAIN, SIMULASI DAN IMPLEMENTASI

A. Blok Diagram

Perancangan dan pembuatan penyeimbang baterai berbasis *dual induktor* menggunakan mikrokontroler ATMEGA8 sebagai kontroler utama dan pembangkit pulsa PWM mengacu pada blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 6. Input dari alat ini adalah tegangan dari salah satu sel pada modul baterai yang dipilih oleh kontroler utama melalui relay. Tegangan tersebut dinaikkan oleh konverter *dual 274nduktor* menjadi setara dengan tegangan total dari modul baterai yang kemudian dimasukkan kembali ke modul baterai melalui *charge bus*.

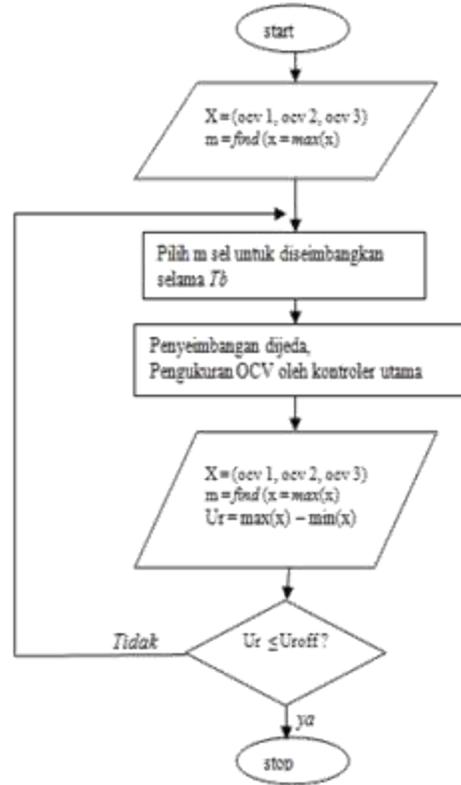


Gambar 6 Blok Diagram Sistem

B. Perancangan Kontroler Utama

Kontroler utama dari penyeimbang baterai terdiri dari mikrokontroler ATMEGA8, rangkaian pembagi tegangan dan LCD. Mikrokontroler akan memonitor tegangan tiap sel

baterai kemudian membandingkan sel yang lain sehingga didapatkan sebuah sel dengan tegangan tertinggi. *Flow Chart* dari kontroler dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Flow Chart Kontroler Utama

C. Perancangan Pembangkit Pulsa PWM

Pembangkit pulsa pwm terdiri dari sebuah mikrokontroler ATMEGA8 yang diprogram untuk membangkitkan pulsa PWM dengan *duty cycle* PWM 1 75% dan PWM 2 = 76% dimana PWM 2 adalah *inverting* dari PWM 1. Bentuk gelombang PWM1 dan PWM2 ditunjukkan pada Gambar 8. Frekuensi PWM ditentukan dengan persamaan

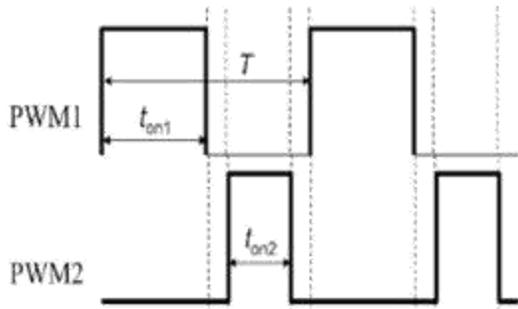
$$f_{PWM} = \frac{f_{clk}}{510 \times prescaler} \quad (3.2)$$

Dimana
 f_{PWM} = frekuensi pwm
 f_{clk} = frekuensi clock
 $prescaler$ = faktor pembagi

dengan frekuensi *clock* sebesar 12Mhz maka didapatkan frekuensi PWM sebesar

$$f_{PWM} = \frac{12000000}{510 \times 1}$$

$$f_{PWM} = 23,5 \text{ Khz}$$



Gambar 8 Pulsa PWM 1 dan PWM 2

D. Menghitung Nilai Induktor

Pada Konverter Berbasis *Dual Inductor*, nilai dari induktor 1 sama dengan nilai induktor 2 dimana

$$f_{switch} = 23,5kHz$$

$$T = 42,5\mu s$$

$$D1 = 75\%$$

$$T_{on1} = 31,87\mu s$$

$$I_{ml} = 1,5A$$

Dengan menggunakan persamaan (2,7) maka didapatkan

$$L = \frac{V_{sel}}{I_m} t_{on1}$$

$$L = \frac{4,2}{1,5} 31,8\mu s$$

$$L = 89,23 \mu H \approx 100\mu H$$

E. Menghitung nilai kapasitor

$$L = 100 \mu H$$

$$T_{on1} = 31,87 \mu s$$

$$2T_D + T_{ON2} = 42,5 - 31,87$$

$$2T_D + T_{ON2} = 10,63 \mu s$$

Dengan menggunakan rumus persamaan (2,13), maka nilai kapasitas kapasitor maksimum adalah

$$C_{max} = \frac{4(10,63\mu s)^2}{3,14^2 \times 100\mu H}$$

$$C_{max} = 0,46 \mu F \approx 0,47 \mu F$$

F. Perancangan Switich S1 dan S2

Saklar frekuensi tinggi S1 dan S2 pada rangkaian konverter ini beroperasi pada tegangan rendah yaitu 4V, sehingga mosfet tidak dapat digunakan karena tegangan *threshol* minimum dari mosfet tidak terpenuhi. Oleh karena itu saklar S1 dan S2 menggunakan transistor sebagai *switch* frekuensi tinggi karena transistor bekerja berdasarkan arus pada kaki basis.

$$I_b = \frac{I_c}{h_{fe}} \quad (3.3)$$

$$R_b = \frac{V_{ce}-0,6}{I_b} \quad (3.4)$$

Dimana

- I_b = Arus basis
- I_c = Arus collector
- R_b = Hambatan pada kaki basis
- V_{ce} = Tegangan collector – emitor
- h_{fe} = nilai penguatan arus DC

Transistor TIP 2955 dan TIP3055 mempunyai nilai h_{fe} minimum 20 sehingga nilai R_b

$$I_b = \frac{2}{20}$$

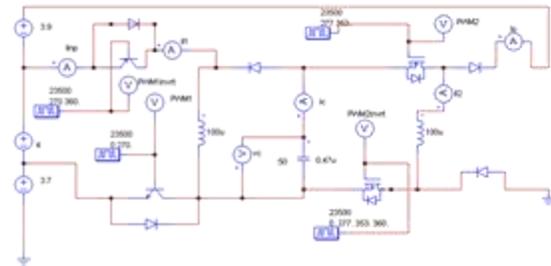
$$I_b = 0,1 A$$

$$R_b = \frac{4,2-0,6}{0,1}$$

$$R_b = 36\Omega \approx 33\Omega$$

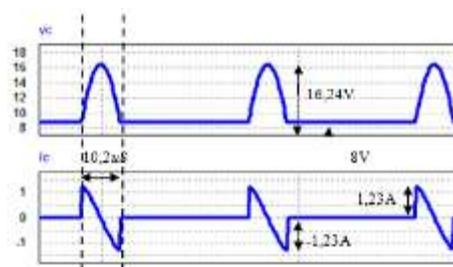
G. Simulasi Konverter Berbasis Dual Inductor

Karena keterbatasan *software* simulasi PSIM maka, simulasi hanya dapat dilakukan pada modul Konverter Berbasis *Dual Inductor* saja. Skema simulasi dari Konverter Berbasis *Dual Inductor* ditunjukkan pada Gambar 9

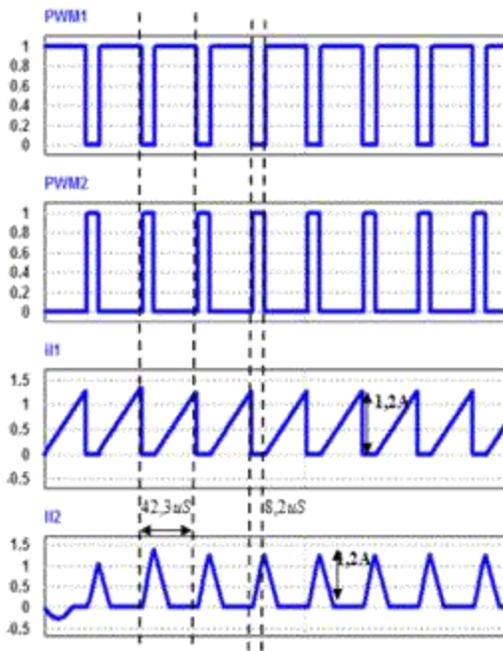


Gambar 9 Skema Simulasi Konverter Berbasis *Dual Inductor*

Antara PWM 1 dan PWM2 terdapat jeda waktu T_D sebesar 1 μs . Jeda waktu ini berfungsi untuk membuat *flying capacitor* berada pada mode *non zero current*. Dimana arah tegangan kapasitor tidak berubah sedangkan arus kapasitor tidak berhenti di titik nol seperti pada gambar10, sehingga kapasitor dapat bekerja sebagai *buffer* L1. Arus pada induktor L1 akan berpindah ke induktor L2. Hal ini menyebabkan arus *peak* dari induktor L1 sama dengan arus *peak* dari induktor L2. Bentuk gelombang hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 10 Arus dan Tegangan Kapasitor



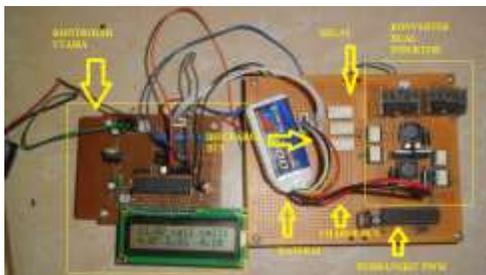
Gambar 11 Bentuk gelombang hasil simulasi

H. Implementasi Konverter Berbasis Dual Inductor

Implementasi dari Penyeimbang Baterai Berbasis Dual Inductor disesuaikan seperti pada Gambar 6. Implementasi dari Penyeimbang Baterai Berbasis Dual Inductor dapat dilihat pada gambar 12 sedangkan komponen yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1 Spesifikasi Komponen

Komponen	Nilai
Induktor L1	100uH
Induktor L2	100uH
Kapasitor	0,47uF
N-Mosfet	Irf 540
P-Mosfet	Irf 9830
Transistor PNP	TIP 2955
Transistor NPN	TIP 3055
Diode	1N5822
Driver Mosfet	TLP 250



Gambar 12 Implementasi dari Penyeimbang Baterai Berbasis Dual Inductor

IV. PENGUJIAN

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian, arus induktor L1, arus induktor L2, tegangan kapasitor, arus kapasitor, dan pengujian terhadap tiga kondisi baterai lithium

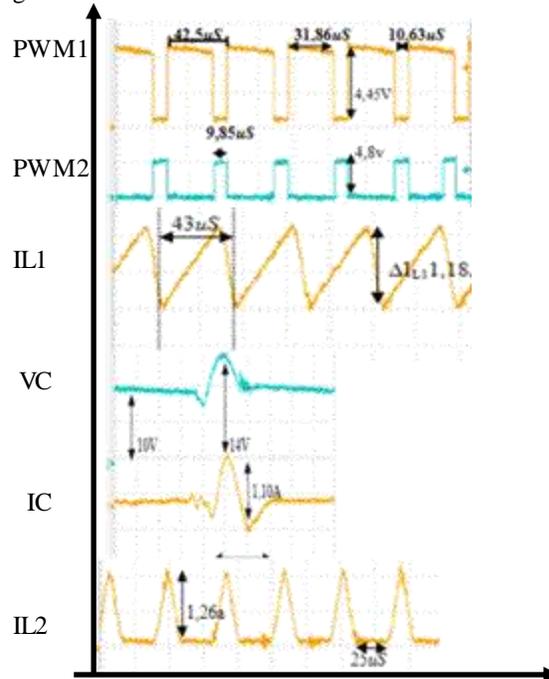
polymer yang berbeda. Pengujian dilakukan sebagaimana disebutkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Kondisi Pengujian Penyeimbang Baterai Berbasis Dual Inductor.

parameter	Kondisi
Frekuensi	23,53kHz
PWM1	75%
PWM2	24%
T_B	10S
Baterai	Li-Po 3 sel 1600mAh
Status sel	Sel1 : 3,93V; sel2 :4V ; sel3: 3,82V
Status balancer	Discharge bus terhubung ke sel 2

A. Pengujian Induktor PWM1, PWM2, IL1, IL2, VC, dan IC

Bentuk gelombang hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 13.

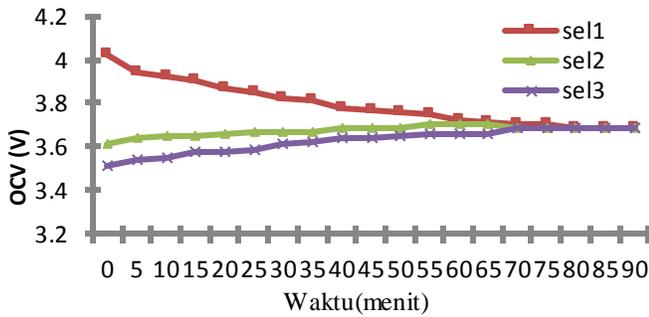


Gambar 13 Bentuk gelombang hasil pengujian

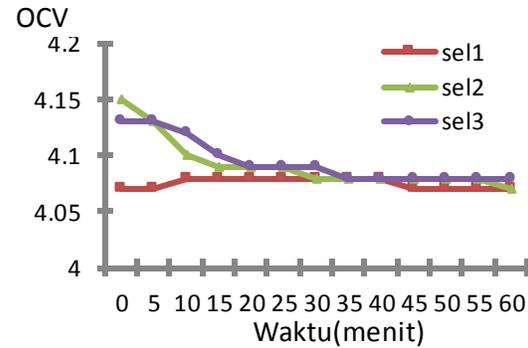
Di dalam simulasi, arus induktor L1 dapat menyentuh angka nol sedangkan pada implementasi arus induktor selalu lebih dari nol. Hal ini disebabkan karena dalam simulasi dan perhitungan, induktor diasumsikan ideal sedangkan pada implementasi komponen yang digunakan tidak ideal.. polaritas tegangan pada kapasitor tidak berubah, hal ini menunjukkan bahwa kapasitor bekerja pada mode *buffer*. Induktor L2 bekerja berdasarkan PWM2. Ketika t_2 pada PWM2 on, maka induktor L2 *charging*. Ketika t_2 off, maka induktor L2 mengisi baterai. Pada simulasi, Arus yang melalui induktor L2 sama dengan arus yang melalui induktor L1, sedangkan pada implementasi arus induktor L2 berbeda dengan arus pada L1. Hal ini dikarenakan komponen yang dipakai pada alat ini tidak ideal. Pengujian Terhadap Kondisi Baterai:

1. Kondisi dua baterai *under voltage*

Pengujian terhadap Kondisi dua baterai *undervoltage* dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14 Pengujian terhadap Kondisi dua baterai *under voltage*

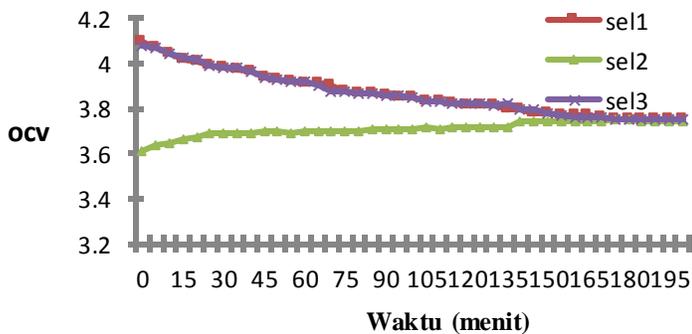


Gambar 16 Kondisi ketiga sel baterai normal

Diketahui bahwa untuk menyeimbangkan tegangan dari dua dari tiga sel yang *under voltage* dibutuhkan waktu 70 menit. Kedua sel baterai yang mempunyai OCV awal 3,61V dan 3,51V meningkat menjadi 3,69V sedangkan pada sel baterai yang mempunyai OCV awal 4,02V menurun menjadi 3,7V

2. Kondisi satu sel baterai *under voltage*

Pengujian terhadap Kondisi satu baterai *under voltage* dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15 Kondisi satu baterai *under voltage*

Dari Gambar 15 diketahui bahwa proses penyeimbangan pada kondisi kedua membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan proses penyeimbangan pada kondisi 1 dimana proses penyeimbangan membutuhkan waktu 175 menit. Tegangan sel 2 baterai awal 3,61 meningkat dengan cepat hingga 3,7v dalam waktu 40 menit. Kemudian peningkatan tegangan berjalan lebih lambat hingga mencapai 3,75V pada menit ke-175.

3. Kondisi ketiga sel baterai normal

Pengujian terhadap Kondisi ketiga sel baterai normal dapat dilihat pada gambar 16. Dari gambar 4.8 diketahui bahwa proses penyeimbangan memerlukan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan kondisi 1 dan kondisi 2. Hal ini dikarenakan perbedaan tegangan antar sel yang kecil sehingga ketiga sel baterai mempunyai tegangan yang seimbang dalam waktu 35 menit.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data, hasil simulasi dan pengujian implementasi alat Penyeimbang Baterai Berbasis *Dual Inductor*, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut

1. Penyeimbang Baterai Berbasis *Dual Inductor* dapat digunakan pada *battery pack* dengan tingkat ketidakseimbangan yang tinggi hingga 0,5V.
2. Waktu penyeimbangan tegangan OCV baterai tergantung dari perbedaan tegangan antar sel baterai. Semakin besar perbedaan tegangan antar sel baterai maka semakin lama proses penyeimbangannya.
3. Tegangan total dari *battery pack* setelah proses penyeimbangan lebih kecil dibandingkan dengan tegangan total dari *battery pack* sebelum proses penyeimbangan. Hal ini dikarenakan terjadi losses saat proses penyeimbangan dan akibat dari efisiensi pengisian dari baterai.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Dai, Haifeng., Wei, Xuezhe., Sun, Zechang., dan Wang, Daizhuang., "A novel dual-inductor based charge equalizer for traction battery cells of electric vehicles", *Electrical Power and Energy Systems*, Shanghai, 2014.

[2] Xu, Jun., Li, Siqu., Mi, Chris., Chen, Zheng dan Cao, Binggang., "SOC Based Battery Cell Balancing with a Novel Topology and Reduced Component Count", *energies* ISSN 1996-1073, 2013