

HALAMAN PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI.....	v
CATATAN REVISI DOKUMEN	xi
RINGKASAN EKSEKUTIF	xiv
PENDAHULUAN	xvi
I. PROSES DESAIN DAN IMPLEMENTASI	1
A. PROSES IDENTIFIKASI PARAMETER BATERAI	2
A.1. Akuisisi Data Baterai.....	2
A.2. Pembuatan Kurva SOC-OCV	5
A.3. Penentuan Nilai Hambatan Dalam (R_s).....	7
B. PROSES IMPLEMENTASI PROGRAM ESTIMASI SOC	11
B.1. Estimasi <i>Open Circuit Voltage</i> (OCV).....	11
B.2. Estimasi SOC menggunakan <i>Polynomial Fit (Polyfit)</i> dan <i>Polynomial Value (Polyval)</i>	19
B.3. Pendekatan Fungsi Kurva SOC-OCV dengan <i>Linear Piecewise Function</i>	22
C. PROSES IMPLEMENTASI PROGRAM ESTIMASI ARUS	25
D. PROSES IMPLEMENTASI SKEMATIK VOLTAGE SENSING KE PCB.....	29
E. PROSES IMPLEMENTASI OLED <i>DISPLAY</i>	32
F. PROSES IMPLEMENTASI <i>SOFTWARE ACTIVE CELL BALANCING</i>	34
F.1. Simulasi <i>Active Cell Balancing</i>	34
F.2. Proses Pembuatan Program Pembangkitan Sinyal <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	46
G. PROSES IMPLEMENTASI <i>HARDWARE ACTIVE CELL BALANCING</i>	47
H. FINALISASI PERANGKAT	54
I. PERHITUNGAN BIAYA PEMBUATAN PERANGKAT	56
II. PENGUJIAN DAN ANALISIS KINERJA PRODUK	59
A. Pengujian Hasil Estimasi Data Baterai	59
B. Pengujian <i>Active Cell Balancing</i> secara <i>Real Time</i>	63
III. REVISI DESAIN	65
A. Perubahan dalam Penggunaan Mikrokontroler.....	65
B. Penggunaan Modul DC Converter LM2596 pengganti DC Converter LM317.....	66



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

KESIMPULAN

**DESAIN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM BERBASIS SENSORLESS CURRENT DENGAN FITUR
ACTIVE CELL BALANCING
MENGUNAKAN LOW-COST MICROCONTROLLER : Implementasi Estimasi SOC berbasis Current
Sensorless dalam**

Battery Management System untuk Baterai Lithium Polymer 3 sel

NAUFAL KRISNA AZHAR, Dr.Eng. Ir. Adha Imam Cahyadi, S.T., M.Eng., IPM.; Ir. Oyas Wahyunggoro, M.T., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2020 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

REFERENSI 69

LAMPIRAN..... L-2

Gambar I-1. Diagram Alir Pengerjaan BMS.....	1
Gambar I-2. Grafik tegangan pada sel 1 baterai hasil <i>pulse test</i> (a) durasi 120 menit (b) durasi 10 menit pertama.....	3
Gambar I-3. Grafik arus pada sel 1 baterai hasil <i>pulse test</i>	3
Gambar I-4. Visualisasi V_t dan OCV pada sel 1	4
Gambar I-5. Kurva SOC-OCV pada sel 1 baterai.....	5
Gambar I-6. Perbandingan Kurva SOC-OCV rata-rata dengan Kurva SOC-OCV sel baterai 6	
Gambar I-7. Grafik nilai R_s pada setiap sel dan R_s rata-rata.....	8
Gambar I-8. Grafik perubahan nilai V_t dalam rentang dua periode discharge terakhir.....	9
Gambar I-9. Grafik nilai R_s dengan pemotongan di SOC 20%.....	9
Gambar I-10. Rangkaian model baterai Rint	11
Gambar I-11. Kurva SOC-OCV menggunakan polyfit orde 12	13
Gambar I-12. Kurva SOC-OCV hasil pembatasan 10% terakhir menggunakan polyfit orde 10.....	13
Gambar I-13. Kurva SOC-OCV hasil pembatasan 20% terakhir menggunakan polyfit orde 11.....	14
Gambar I-14. Hasil simulasi estimasi OCV menggunakan kurva SOC-OCV.....	15
Gambar I-15 Hasil simulasi estimasi OCV menggunakan kurva SOC-OCV terpotong di 10%	15
Gambar I-16. Hasil simulasi estimasi OCV menggunakan kurva SOC-OCV terpotong di 20%	16
Gambar I-17. Hasil simulasi estimasi OCV ketiga sel baterai menggunakan kurva SOC- OCV terpotong di 10%	16
Gambar I-18. Perbandingan estimasi OCV pemotongan 10% (100%-10% SOC) dengan OCV actual (real).....	17
Gambar I-19 Hasil estimasi SOC dengan variasi pemotongan kurva SOC-OCV <i>polyfit</i>	19
Gambar I-20. Hasil Estimasi SOC pada setiap sel baterai serta SOC keseluruhan dengan menggunakan kurva <i>polyfit</i> 100%-10% SOC.....	20
Gambar I-21 Diagram alir estimasi SOC.....	21
Gambar I-22 Gambar Ilustrasi Kurva <i>Linear Piecewise</i>	22
Gambar I-23 Gambar Ilustrasi Operasi <i>Linear Piecewise</i>	23
Gambar I-24 Gambar Kurva <i>Linear Piecewise</i>	23



.....	24
Gambar I-26 Hasil simulasi estimasi arus menggunakan kurva SOC-OCV normal	26
Gambar I-27 Hasil simulasi estimasi arus menggunakan kurva SOC-OCV terpotong di 10%	27
.....	27
Gambar I-28 Hasil simulasi estimasi arus menggunakan kurva SOC-OCV terpotong di 20%	27
.....	29
Gambar I-29. Rangkaian <i>voltage sensing</i> menggunakan <i>differential amplifier</i>	29
Gambar I-30 Rangkaian <i>differential amplifier</i>	30
Gambar I-31 Diagram komunikasi OLED display	32
Gambar I-32 Ilustrasi tampilan OLED <i>display</i>	32
Gambar I-33. Alur Perancangan Aliran Transfer Energi	35
Gambar I-34. Sinyal <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	36
Gambar I-35. Proses Transfer Energi <i>Stage 1</i>	36
Gambar I-36. Rangkaian Ekuivalen <i>Stage 1</i>	37
Gambar I-37. Rangkaian Simulasi <i>Stage 1</i>	37
Gambar I-38. Proses Transfer Energi <i>Stage 2</i>	38
Gambar I-39. Rangkaian Ekuivalen <i>Stage 2</i>	38
Gambar I-40. Rangkaian Simulasi <i>Stage 2</i>	39
Gambar I-41. Proses Transfer Energi <i>Stage 1</i> Pada 3S Baterai <i>Lithium Polymer</i>	40
Gambar I-42. Proses Transfer Energi <i>Stage 2</i> Pada 3S Baterai <i>Lithium Polymer</i>	40
Gambar I-43. Rangkaian Simulasi <i>Stage 1</i> Pada 3S Baterai <i>Lithium Polymer</i>	41
Gambar I-44. Plot Sinyal Transfer Energi dari Sel Baterai 3 ke Sel Baterai 2	41
Gambar I-45. Plot Sinyal Transfer Energi dari Sel Baterai 2 ke Sel Baterai 1	43
Gambar I-46. Plot Sinyal Nilai SOC Akhir	44
Gambar I-47. <i>Flowchart</i> Pembangkitan Sinyal PWM	46
Gambar I-48. Blok Diagram Sistem <i>Balancing</i>	48
Gambar I-49. Skematik <i>Active Cell Balancing</i> Pada 3S Baterai <i>Lithium Polymer</i>	49
Gambar I-50. Skematik <i>Driver MOSFET</i>	50
Gambar I-51. Skematik <i>Active Cell Balancing</i> dengan <i>Driver MOSFET</i>	51
Gambar I-52. <i>Hardware Active Cell Balancing</i>	52
Gambar I-53. Board PCB <i>Power Distribution Board</i>	52
Gambar I-54. <i>Hardware Active Cell Balancing</i> secara Keseluruhan	54
Gambar I-55. Board PCB <i>Active Cell Balancing</i> secara Keseluruhan	55



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

**DESAIN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM BERBASIS SENSORLESS CURRENT DENGAN FITUR
ACTIVE CELL BALANCING
MENGUNAKAN LOW-COST MICROCONTROLLER : Implementasi Estimasi SOC berbasis Current
Sensorless dalam**

Battery Management System untuk Baterai Lithium Polymer 3 sel

NAUFAL KRISNA AZHAR, Dr.Eng, Ir. Adha Imam Cahyadi, S.T., M.Eng., IPM.; Ir. Oyas Wahyunggoro, M.T., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2020 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Gambar II-1. Grafik Tegangan V_t dan OCV Sel 1	59
Gambar II-2. Grafik Tegangan V_t dan OCV Sel 3	60
Gambar II-3. Grafik Tegangan V_t dan OCV Sel 2	60
Gambar II-4. Grafik SOC Sel 1	61
Gambar II-5. grafik SOC Sel 2	61
Gambar II-6. Grafik SOC Sel 3	61
Gambar II-7. Grafik Hasil Estimasi Arus Beban Pulsa	62
Gambar II-8. Grafik <i>Error</i> Estimasi Arus Beban Pulsa.....	62
Gambar II-9. Nilai Tegangan dan SOC dari Setiap Sel Baterai	63
Gambar II-10. Hasil <i>Active Cell Balancing</i> Pada 3S Baterai <i>Lithium Polymer</i>	64
Gambar III-1 (a) Mikrokontroller Arduino Due (b) Mikrokontroller PJRC Teensy 3.2	65
Gambar III-2 (a) Skematik regulator tegangan LM317 (b) Modul regulator tegangan LM2596.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel I-1. Tabel hasil perhitungan R_s setiap sel dan R_s rata-rata.....	7
Tabel I-2. Deskripsi Nilai R_s untuk setiap sel dan R_s rata-rata	10
Tabel I-3. Perbandingan Nilai Error (RMSE) pada Hasil Estimasi OCV.....	18
Tabel I-4. Perbandingan Nilai Error (RMSE) pada Hasil Estimasi SOC	20
Tabel I-5 Perbandingan nilai <i>error</i> pada estimasi arus	28
Tabel I-6. Hasil SOC Akhir	44
Tabel I-7. Biaya Pembuatan <i>Hardware Active Cell Balancing</i>	56
Tabel I-8. Biaya Pembuatan <i>Hardware Battery Management System</i> di Pasaran	57
Tabel II-1. Kondisi Pengujian Baterai	59
Tabel II-2. Nilai SOC Awal dan Akhir Pada Hasil Pengujian.....	80