DESAIN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM BERBASIS SENSORLESS CURRENT DENGAN FITUR ACTIVE CELL BALANCING
MENGGUNAKAN 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/

DAFTAR ISI

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 (Rs) 7
B. PROSES IMPLEMENTASI PROGRAM ESTIMASI SOC 11
B.1. Estimasi *Open Circuit Voltage* (OCV) 11
B.2. Estimasi SOC menggunakan *Polynomial Fit* (*Polyfit*) dan *Polynomial Value* (*Polyval*) 19
B.3. Pendekatan Fungsi Kurva SOC-OCV dengan *Linear Piecewise Function* 22
C. PROSES IMPLEMENTASI PROGRAM ESTIMASI ARUS 25
D. PROSES IMPLEMENTASI SKEMATIK VOLTAGE SENSING KE PCB 29
E. PROSES IMPLEMENTASI OLED *DISPLAY* 32
F. PROSES IMPLEMENTASI *SOFTWARE ACTIVE CELL BALANCING* 34
F.1. Simulasi *Active Cell Balancing* 34
F.2. Proses Pembuatan Program Pembangkitan Sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) 46
G. PROSES IMPLEMENTASI *HARDWARE ACTIVE CELL BALANCING* 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 *Active Cell Balancing* secara *Real Time* 63
III. REVISI DESAIN 65
A. Perubahan dalam Penggunaan Mikrokontroller 65
B. Penggunaan Modul DC Converter LM2596 pengganti DC Converter LM317 66

DESAIN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM BERBASIS SENSORLESS CURRENT DENGAN FITUR ACTIVE CELL BALANCING
MENGGUNAKAN 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/

KESIMPULAN 67

REFERENSI 69

LAMPIRAN L-2

DESAIN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM BERBASIS SENSORLESS CURRENT DENGAN FITUR ACTIVE CELL BALANCING
MENGGUNAKAN 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/

DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1. Diagram Alir Pengerjaan BMS 1
Gambar I-2. Grafik tegangan pada sel 1 baterai hasil *pulse test* (a) durasi 120 menit (b) durasi 10 menit pertama 3
Gambar I-3. Grafik arus pada sel 1 baterai hasil *pulse test* 3
Gambar I-4. Visualisasi Vt 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 Rs pada setiap sel dan Rs rata-rata 8
Gambar I-8. Grafik perubahan nilai Vt dalam rentang dua periode discharge terakhir 9
Gambar I-9. Grafik nilai Rs 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 *polyfit* 19
Gambar I-20. Hasil Estimasi SOC pada setiap sel baterai serta SOC keseluruhan dengan menggunakan kurva *polyfit* 100%-10% SOC. 20
Gambar I-21 Diagram alir estimasi SOC 21
Gambar I-22 Gambar Ilustrasi Kurva *Linear Piecewise* 22
Gambar I-23 Gambar Ilustrasi Operasi *Linear Piecewise* 23
Gambar I-24 Gambar Kurva *Linear Piecewise* 23

UNIVERSITAS GADJAH MADA
DESAIN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM BERBASIS SENSORLESS CURRENT DENGAN FITUR ACTIVE CELL BALANCING
MENGGUNAKAN 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 I-25 Cuplikan program pada mikrokontroller yang berisikan fungsi *linear piecewise* 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
Gambar I-28 Hasil simulasi estimasi arus menggunakan kurva SOC-OCV terpotong di 20% 27
Gambar I-29. Rangkaian *voltage sensing* menggunakan *differential amplifier* 29
Gambar I-30 Rangkaian *differential amplifier* 30
Gambar I-31 Diagram komunikasi OLED display 32
Gambar I-32 Ilustrasi tampilan OLED *display* 32
Gambar I-33. Alur Perancangan Aliran Transfer Energi 35
Gambar I-34. Sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) 36
Gambar I-35. Proses Transfer Energi *Stage 1* 36
Gambar I-36. Rangkaian Ekuivalen *Stage 1* 37
Gambar I-37. Rangkaian Simulasi *Stage 1* 37
Gambar I-38. Proses Transfer Energi *Stage 2* 38
Gambar I-39. Rangkaian Ekuivalen *Stage 2* 38
Gambar I-40. Rangkaian Simulasi *Stage 2* 39
Gambar I-41. Proses Transfer Energi *Stage 1* Pada 3S Baterai *Lithium Polymer* 40
Gambar I-42. Proses Transfer Energi *Stage 2* Pada 3S Baterai *Lithium Polymer* 40
Gambar I-43. Rangkaian Simulasi *Stage 1* Pada 3S Baterai *Lithium Polymer* 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. *Flowchart* Pembangkitan Sinyal PWM 46
Gambar I-48. Blok Diagram Sistem *Balancing* 48
Gambar I-49. Skematik *Active Cell Balancing* Pada 3S Baterai *Lithium Polymer* 49
Gambar I-50. Skematik *Driver* MOSFET 50
Gambar I-51. Skematik *Active Cell Balancing* dengan *Driver* MOSFET 51
Gambar I-52. *Hardware Active Cell Balancing* 52
Gambar I-53. Board PCB *Power Distribution Board* 52
Gambar I-54. *Hardware Active Cell Balancing* secara Keseluruhan 54
Gambar I-55. Board PCB *Active Cell Balancing* secara Keseluruhan 55

DESAIN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM BERBASIS SENSORLESS CURRENT DENGAN FITUR ACTIVE CELL BALANCING
MENGGUNAKAN 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 *Error* Estimasi Arus Beban Pulsa..... 62
Gambar II-9. Nilai Tegangan dan SOC dari Setiap Sel Baterai 63
Gambar II-10. Hasil *Active Cell Balancing* Pada 3S Baterai *Lithium Polymer* 64
Gambar III-1 (a) Mikrokontroller Arduino Due (b) Mikrokontoller PJRC Teensy 3.2 65
Gambar III-2 (a) Skematik regulator tegangan LM317 (b) Modul regulator tegangan LM2596..... 66

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
DESAIN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM BERBASIS SENSORLESS CURRENT DENGAN FITUR ACTIVE CELL BALANCING MENGGUNAKAN 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/

DAFTAR TABEL

Tabel I-1. Tabel hasil perhitungan Rs setiap sel dan Rs rata-rata 7
Tabel I-2. Deskripsi Nilai Rs untuk setiap sel dan Rs 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 *error* pada estimasi arus 28
Tabel I-6. Hasil SOC Akhir 44
Tabel I-7. Biaya Pembuatan *Hardware Active Cell Balancing* 56
Tabel I-8. Biaya Pembuatan *Hardware Battery Management System* di Pasaran 57
Tabel II-1. Kondisi Pengujian Baterai 59
Tabel II-2. Nilai SOC Awal dan Akhir Pada Hasil Pengujian..... 80