

PERANCANGAN DAN REALISASI PENGISI BATERAI CEPAT DENGAN METODE PENGISIAN ARUS KONSTAN LIMA TAHAP

Oh, Braga Geofano Wintora

NRP : 1622004

e-mail : braga_geofano@yahoo.com

ABSTRAK

Pengisi baterai dengan menggunakan metode *Constant Current-Constant Voltage* (CC-CV) sangat sering digunakan, beberapa alasannya adalah mudah diimplementasikan dan biaya pembuatannya terjangkau. Diluar dari kelebihannya, salah satu kekurangannya adalah lamanya waktu pengisian baterai dengan metode CC-CV, untuk mempersingkat waktu pengisian baterai, dapat digunakan *Multistage Constant-Current Charging Method* (MCCCCM).

Prinsip kerja dari metode pengisian arus konstan banyak tahap atau *multistage constant-current charging method* (MCCCCM) adalah dengan menurunkan atau menaikkan nilai arus pengisian secara bertahap. Untuk mencari pola pengisian optimal dari MCCCCM pada baterai lithium ion, baterai lithium ion dimodelkan dengan rangkaian R-C sederhana. Dalam Tugas Akhir ini, digunakan 5 tahap pengisian, sehingga pada setiap tahap akan memiliki nilai arus pengisian yang berbeda dan nilai arus pengisian pada setiap tahap dibatasi menjadi lebih rendah daripada tahap sebelumnya. Karena menggunakan 5 tahap pengisian, maka nilai arus pertama dan kelima harus ditentukan terlebih dahulu, kemudian nilai arus kedua, ketiga, dan keempat didapatkan melalui perhitungan.

Pengisi baterai dengan metode pengisian arus konstan lima tahap memiliki rata-rata laju pengisian yang lebih besar daripada pengisi baterai dengan metode pengisian CC-CV, sehingga pengisian pada baterai dengan metode pengisian arus konstan lima tahap memiliki waktu pengisian yang lebih singkat. Pengisi baterai lithium ion dengan metode pengisian arus konstan lima tahap hanya mampu mengisi baterai maksimal 60%. Waktu pengisian baterai dengan metode pengisian arus konstan lima tahap akan lebih singkat, jika arus pengisian diperbesar, tetapi efisiensi pengisian akan menurun.

Kata kunci: *multistage constant-current charging method, constant current-constant voltage method, lithium ion battery, fast charging*

DESIGN AND REALIZATION OF FAST BATTERY CHARGER WITH FIVE STAGES CONSTANT CURRENT CHARGING METHOD

Oh, Braga Geofano Wintora

NRP : 1622004

e-mail : braga_geofano@yahoo.com

ABSTRACT

Constant current-constant voltage (CC-CV) method is commonly used for battery charging, the reasons are easy to implement and affordable cost production. One of the disadvantages of CC-CV method, i.e. the battery charging time. A multistage constant-current charging method (MCCCCM) is used to reduce the battery charging time.

Principle of MCCCCM is decreasing or increasing current charging value gradually. To get optimal charge pattern from MCCCCM on lithium ion battery, a lithium ion battery is modeled with simple R-C circuit. This final project uses five stages charging, so on each stage will have different current charging value and current charging value on each stage is lower than previous stage.

The realized battery charger with five stages constant current charging method has greater average charging rate than charger with CC-CV charging method, so using five stages constant current charging method, charger has shorter charging time. The capacity of battery that is charged using five stages constant current charging method is only able to charge maximum 60% of the battery capacity. The charging time for the battery with the five stages constant current charging method will be shorter, if the charging current is increased, but the charging efficiency will decrease.

Keywords: multistage constant-current charging method, constant current-constant voltage method, lithium ion battery, fast charging

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
SURAT PERNYATAAN	
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI LAPORAN TUGAS AKHIR	
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	1
I.3 Tujuan	2
I.4 Batasan Masalah.....	2
I.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II LANDASAN TEORI	4
II.1 <i>Bipolar Junction Transistor</i> Sebagai Sakelar Elektronik.....	4
II.2 Komparator Tegangan.....	5
II.3 Sumber Arus	5
II.4 <i>Monostable Multivibrator</i>	6
II.5 Metode Pengisian Arus Konstan Banyak Tahap Berdasarkan Model Rangkaian Ekivalen dari Baterai Li-Ion	9
BAB III PERANCANGAN dan realisasi SISTEM	13

III.1	Perancangan Sistem	13
III.2	Perancangan Transistor Sebagai Sakelar Elektronik.....	18
III.3	Perancangan <i>Monostable Multivibrator</i>	19
III.4	Perancangan <i>Selector</i>	20
III.5	Perancangan Komparator Tegangan	21
III.6	Perancangan Sumber Arus	23
BAB IV DATA PENGAMATAN DAN ANALISIS		27
IV.1	Hasil Pengujian Komparator	27
IV.2	Hasil Pengujian <i>Counter</i> dan <i>Relay</i>	28
IV.3	Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	32
IV.4	Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	39
IV.5	Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$	45
IV.6	Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$	51
IV.7	Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$	57
IV.8	Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$	63

IV.9 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	69
IV.10 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	74
IV.11 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	80
IV.12 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	86
IV.13 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Current-Constant Voltage</i> dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai A dan B	91
IV.14 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ (Beban Pembuangan Energi Baterai Menggunakan Motor DC)	113
IV.15 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ (Beban Pembuangan Energi Baterai Menggunakan Motor DC)	115
IV.16 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	118
IV.17 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	122

IV.18 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	128
IV.19 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	132
IV.20 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode CC-CV dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai C.....	136
IV.21 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode CC-CV dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai D.....	143
IV.22 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$	153
IV.23 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$	157
IV.24 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$	163
IV.25 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$	167
IV.26 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	172
IV.27 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dan Pembuangan Energi Baterai untuk Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	176
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	191
V.1 Simpulan	191

V.2 Saran.....	193
DAFTAR REFERENSI	194
LAMPIRAN A RANGKAIAN PENGISI BATERAI.....	A-1



DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Contoh Rangkaian <i>Bipolar Junction Transistor</i> Sebagai Sakelar Elektronik.....	5
Gambar II.2 (a) Simbol Komparator Tegangan, (b) Kurva Transfer Komparator Tegangan.....	5
Gambar II.3 Pinout IC LM338.....	6
Gambar II.4 Rangkaian Skematik Sumber Arus.....	6
Gambar II.5 Rangkaian Skematik <i>Monostable Multivibrator</i>	8
Gambar II.6 Bentuk Gelombang Operasi <i>Monostable</i>	8
Gambar II.7 Baterai Li-Ion yang Dimodelkan dengan Rangkaian R-C Sederhana ^[8]	9
Gambar II.8 Bentuk Gelombang Tegangan Baterai dan Arus Pengisian pada MCCCCM Berdasarkan Baterai Li-Ion yang Dimodelkan dengan Rangkaian R-C Sederhana	11
Gambar III.1 Diagram Blok Sistem	15
Gambar III.2 Diagram Alir Rangkaian Pengisi.....	16
Gambar III.3 Modul <i>Battery Management System</i>	17
Gambar III.4 <i>Wiring Diagram</i> Modul <i>Battery Management System</i> pada <i>Battery Pack</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar III.5 Modul Pengisi dengan Metode Pengisian CC-CV	18
Gambar III.6 Rangkaian Skematik Transistor 0 hingga 5 Sebagai Sakelar Elektronik	19
Gambar III.7 Rangkaian Skematik <i>Monostable Multivibrator</i> dengan NE555	20
Gambar III.8 Rangkaian Skematik <i>Selector</i>	21
Gambar III.9 Rangkaian Skematik Komparator	23
Gambar III.10 Rangkaian Skematik Sumber Arus	24
Gambar IV.1 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	34
Gambar IV.2 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	40

Gambar IV.3 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$	46
Gambar IV.4 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$	52
Gambar IV.5 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$	59
Gambar IV.6 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$	64
Gambar IV.7 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	70
Gambar IV.8 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	76
Gambar IV.9 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	81
Gambar IV.10 Grafik Tegangan Baterai pada Saat Pengisian untuk Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	87

DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Tabel Hasil Perhitungan $I_{B,min}$, I_B , dan R_B	19
Tabel III.2 Tabel Kebenaran dari Rangkaian <i>Selector</i>	20
Tabel III.4 Hasil Perhitungan Nilai Resistor untuk $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,25A$	24
Tabel III.5 Hasil Perhitungan Nilai Resistor untuk $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,125A$	25
Tabel III.6 Hasil Perhitungan Nilai Resistor untuk $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,5A$	25
Tabel III.7 Hasil Perhitungan Nilai Resistor untuk $I_1 = 4A$ dan $I_5 = 0,25A$	25
Tabel III.8 Hasil Perhitungan Nilai Resistor untuk $I_1 = 1,5A$ dan $I_5 = 0,25A$	25
Tabel IV.1 Hasil Pengujian Komparator.....	27
Tabel IV.2 Hasil Pengujian <i>Counter</i> dan <i>Relay</i>	28
Tabel IV.3 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,25A$ untuk Baterai A	33
Tabel IV.4 Hasil Pembuangan Energi Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,25A$	34
Tabel IV.5 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,25A$ untuk Baterai A.....	39
Tabel IV.6 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,25A$ untuk Baterai B.....	39
Tabel IV.7 Hasil Pembuangan Energi Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,25A$	41
Tabel IV.8 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,25A$ untuk Baterai B	45
Tabel IV.9 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,125A$ untuk Baterai A	45
Tabel IV.10 Hasil Pembuangan Energi Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,125A$	47
Tabel IV.11 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,125A$ untuk Baterai A	51
Tabel IV.12 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,125A$ untuk Baterai B.....	51

Tabel IV.13 Hasil Pembuangan Energi Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,125A$	53
Tabel IV.14 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,125A$ untuk Baterai B	57
Tabel IV.15 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,5A$ untuk Baterai A	57
Tabel IV.16 Hasil Pembuangan Energi Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,5A$	59
Tabel IV.17 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisi dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,5A$ Menggunakan Baterai A	63
Tabel IV.18 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,5A$ untuk Baterai B	63
Tabel IV.19 Hasil Pembuangan Energi Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,5A$	65
Tabel IV.20 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6A$ dan $I_5 = 0,5A$ untuk Baterai B	68
Tabel IV.21 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 4A$ dan $I_5 = 0,25A$ untuk Baterai A	69
Tabel IV.22 Hasil Pembuangan Energi Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4A$ dan $I_5 = 0,25A$	71
Tabel IV.23 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4A$ dan $I_5 = 0,25A$ untuk Baterai A	74
Tabel IV.24 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 4A$ dan $I_5 = 0,25A$ untuk Baterai B	74
Tabel IV.25 Hasil Pembuangan Energi Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4A$ dan $I_5 = 0,25A$	76
Tabel IV.26 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4A$ dan $I_5 = 0,25A$ untuk Baterai B	80
Tabel IV.27 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 1,5A$ dan $I_5 = 0,25A$ untuk Baterai A	80
Tabel IV.28 Hasil Pembuangan Energi Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4A$ dan $I_5 = 0,25A$	82

Tabel IV.29 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_I = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai A	85
Tabel IV.30 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_I = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai B.....	86
Tabel IV.31 Hasil Pembuangan Energi Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_I = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	87
Tabel IV.32 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_I = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai B.....	91
Tabel IV.33 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Current-Constant Voltage</i> Menggunakan Baterai A	92
Tabel IV.34 Waktu Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Current-Constant Voltage</i> Menggunakan Baterai A	92
Tabel IV.35 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Current-Constant Voltage</i> Menggunakan Baterai B	93
Tabel IV.36 Waktu Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Current-Constant Voltage</i> Menggunakan Baterai B	93
Tabel IV.37 Nilai Arus pada Tahap <i>Constant Voltage</i> yang Diambil Setiap 60 detik Menggunakan Baterai A	94
Tabel IV.38 Nilai Arus pada Tahap <i>Constant Voltage</i> yang Diambil Setiap 60 detik Menggunakan Baterai B.....	98
Tabel IV.39 Hasil Pembuangan Energi Baterai Menggunakan Baterai A	103
Tabel IV.40 Hasil Pembuangan Energi Baterai Menggunakan Baterai B	107
Tabel IV.41 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian Menggunakan Baterai A....	112
Tabel IV.42 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian Menggunakan Baterai B	112
Tabel IV.43 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_I = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai A	113
Tabel IV.44 Hasil Pembuangan Energi Baterai A dengan Nilai Arus Pengisian $I_I = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	114
Tabel IV.45 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_I = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai A	115
Tabel IV.46 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_I = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai B.....	116

Tabel IV.47 Hasil Pembuangan Energi Baterai B dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	116
Tabel IV.48 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai B.....	118
Tabel IV.49 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai C.....	118
Tabel IV.50 Hasil Pembuangan Energi Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	119
Tabel IV.51 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai C.....	122
Tabel IV.52 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai D.....	123
Tabel IV.53 Hasil Pembuangan Energi Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	124
Tabel IV.54 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai D	128
Tabel IV.55 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai C.....	128
Tabel IV.56 Hasil Pembuangan Energi Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	129
Tabel IV.57 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai C.....	131
Tabel IV.58 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai D	132
Tabel IV.59 Hasil Pembuangan Energi Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	133
Tabel IV.60 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 4\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai D	136
Tabel IV.61 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Current-Constant Voltage</i> Menggunakan Baterai C	136
Tabel IV.62 Waktu Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Current-Constant Voltage</i> Menggunakan Baterai C	137

Tabel IV.63 Nilai Arus pada Tahap <i>Constant Voltage</i> yang Diambil Setiap 60 detik Menggunakan Baterai C.....	137
Tabel IV.64 Hasil Pembuangan Energi Baterai Menggunakan Baterai C	139
Tabel IV.65 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian Menggunakan Baterai C	143
Tabel IV.66 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Current-Constant Voltage</i> Menggunakan Baterai D	143
Tabel IV.67 Waktu Pengisian Baterai dengan Metode <i>Constant Current-Constant Voltage</i> Menggunakan Baterai D	144
Tabel IV.68 Nilai Arus pada Tahap Constant Voltage yang Diambil Setiap 60 detik Menggunakan Baterai D	144
Tabel IV.69 Hasil Pembuangan Energi Baterai Menggunakan Baterai D	147
Tabel IV.70 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian Menggunakan Baterai D	153
Tabel IV.71 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$ untuk Baterai C.....	153
Tabel IV.72 Hasil Pembuangan Energi Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$	154
Tabel IV.73 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$ untuk Baterai C.....	157
Tabel IV.74 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$ untuk Baterai D	158
Tabel IV.75 Hasil Pembuangan Energi Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$	158
Tabel IV.76 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,125\text{A}$ untuk Baterai D	163
Tabel IV.77 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$ untuk Baterai C	163
Tabel IV.78 Hasil Pembuangan Energi Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$	164
Tabel IV.79 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$ untuk Baterai C	167
Tabel IV.80 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$ untuk Baterai D	167

Tabel IV.81 Hasil Pembuangan Energi Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$	168
Tabel IV.82 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 2,6\text{A}$ dan $I_5 = 0,5\text{A}$ untuk Baterai D	172
Tabel IV.83 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai C.....	172
Tabel IV.84 Hasil Pembuangan Energi Baterai C dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	173
Tabel IV.85 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai C.....	176
Tabel IV.86 Hasil Pengisian Baterai dengan Metode Arus Konstan Lima Tahap dengan Nilai Arus $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai D	176
Tabel IV.87 Hasil Pembuangan Energi Baterai D dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$	177
Tabel IV.88 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengisian dengan Nilai Arus Pengisian $I_1 = 1,5\text{A}$ dan $I_5 = 0,25\text{A}$ untuk Baterai D	181
Tabel IV.89 Rata-rata Waktu Pengisian dari Metode CC-CV dan Metode Arus Konstan Lima Tahap pada Baterai A	181
Tabel IV.90 Rata-rata Waktu Pengisian dari Metode CC-CV dan Metode Arus Konstan Lima Tahap pada Baterai B	181
Tabel IV.91 Rata-rata Waktu Pengisian dari Metode CC-CV dan Metode Arus Konstan Lima Tahap pada Baterai C	182
Tabel IV.92 Rata-rata Waktu Pengisian dari Metode CC-CV dan Metode Arus Konstan Lima Tahap pada Baterai D	182
Tabel IV.93 Rata-rata Efisiensi Pengisian dari Metode CC-CV dan Metode Arus Konstan Lima Tahap pada Baterai A	183
Tabel IV.94 Rata-rata Efisiensi Pengisian dari Metode CC-CV dan Metode Arus Konstan Lima Tahap pada Baterai B	183
Tabel IV.95 Rata-rata Efisiensi Pengisian dari Metode CC-CV dan Metode Arus Konstan Lima Tahap pada Baterai C	184
Tabel IV.96 Rata-rata Efisiensi Pengisian dari Metode CC-CV dan Metode Arus Konstan Lima Tahap pada Baterai D	184

Tabel IV.97 Hasil Perhitungan Rata-rata Laju Pengisian Baterai, Rata-rata Muatan Listrik Pengisian, dan Persentase Pengisian Baterai..... 187



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A RANGKAIAN PENGISI BATERAIA-1

