

**PEMODELAN DAN ANALISIS BATERAI LITHIUM ION 3,2V
LiFePO₄ SINGLE CELLS**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



NADIA ALIFIA HADIYATI
NIM. 135060301111048

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN
PEMODELAN DAN ANALISIS BATERAI LITHIUM ION 3,2V
LiFePO₄ SINGLE CELLS

SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



NADIA ALIFIA HADIYATI
NIM. 135060301111048

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 12 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Eka Maulana, ST, MT, M.Eng

NIK. 2012018411301001

Dosen Pembimbing II

Dr. Ing. Onny Setyawati, ST, MT, MSc

NIP. 197404172000032007

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Hadi Suyono, S.T, M.T., Ph.D.

NIP. 19730520 200801 1 013

JUDUL SKRIPSI:

PEMODELAN DAN ANALISIS BATERAI LITHIUM ION 3,2V LiFePO₄
SINGLE CELLS

Nama Mahasiswa : Nadia Alifia Hadiyati

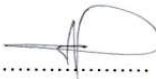
NIM : 135060301111048

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Elektronika

Komisi Pembimbing :

Ketua : Eka Maulana, ST, MT, M.Eng



Anggota : Dr. Ing. Onny Setyawati, ST, MT, MSc



Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Ir. Nurussa'adah, M.T.



Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.



Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M. Eng. Sc.



Tanggal Ujian : 12 Januari 2018

SK Penguji : 19/UN10.F07/SK/2018

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan ditulis di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apalagi ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 12 Januari 2018

Mahasiswa,



Nadia Alifia Hadiyati

NIM. 135060301111048

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

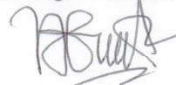
Nama Lengkap : Nadia Alifia Hadiyati
Tempat, tanggal lahir : Bandung, 8 Oktober 1994
Jenis Kelamin : Perempuan
Kewarganegaraan : Indonesia
Agama : Islam
Status : Belum menikah
Alamat : RT 01/RW 01 No. 23 Dsn. Panjangrum Ds.
Pandan Arum Kec. Pacet Kab. Mojokerto
No. HP : 085855542778
Email : nadiaalifia63@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

1. SDN Pandan : 2001 – 2007
2. SMPN 1 Pacet : 2007 – 2010
3. SMAN 1 Gondang : 2010 – 2013
4. S1 Teknik Elektro Universitas Brawijaya : 2013 – 2018

Demikian riwayat hidup ini saya buat dengan sebenarnya.

Malang, 18 Januari 2018



Nadia Alifia Hadiyati

Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada:

Ayah dan Mama tercinta

RINGKASAN

Nadia Alifia Hadiyati, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2018, **Pemodelan Dan Analisis Baterai Lithium Ion 3,2V LiFePO₄ Single Cells**, Dosen Pembimbing: Eka Maulana, Onny Setyawati.

Baterai merupakan alat penyimpan energi yang sedang mengalami banyak perkembangan. Dari berbagai jenis baterai yang telah dikembangkan, salah satunya adalah baterai lithium ion. Baterai lithium ion termasuk jenis baterai sekunder (*rechargeable battery*) yang memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan baterai sekunder yang lain. Salah satunya adalah tidak adanya efek memori, sehingga menyebabkan proses *charge* maupun *discharge* menjadi lebih praktis. Software *Simulink* Matlab akan digunakan sebagai simulator pemodelan baterai. Hasil penelitian ini disajikan dalam grafik karakteristik arus *discharge* berdasarkan kapasitas baterai dan waktu operasinya, serta grafik tegangan dari keluaran simulasi rangkaian, grafik *SOC (State Of Charge)*, grafik kecepatan beban motor dan grafik arus angker. Selain itu ada hasil simulasi yang berkaitan dengan variasi arus dan tegangan baterai serta pengaruh suhu dalam maupun suhu luar baterai pada hal tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai tegangan yang diberikan, maka rentang waktu siklus *charge* bernilai tetap yaitu 3% dan pada siklus *discharge* terjadi penurunan nilai dengan rata-rata 16%. Semakin tinggi arus maka rentang waktu siklus *charge* dan *discharge* yang terjadi akan semakin cepat dengan rata-rata nilai 18% dan 35%. Semakin tinggi suhu T_a maka grafik kurva kecepatan beban motor pada siklus pertama akan mengalami dua proses, pada suhu -10°C menuju suhu 10°C akan mengalami peningkatan dari 4320rad/s menjadi 5830rad/s, sedangkan pada suhu 10°C menuju suhu 50°C mengalami penurunan dari 5830rad/s menjadi 4686rad/s. Sementara pada kurva siklus kedua mengalami tiga proses, pada suhu -10°C menuju suhu 10°C akan mengalami penurunan dari 4100rad/s menjadi 3777rad/s, pada suhu 25°C menuju suhu 30°C mengalami peningkatan dari 4520rad/s menjadi 4630rad/s dikarenakan gangguan, dan pada suhu 40°C menuju suhu 50°C akan mengalami penurunan dari 3688,8rad/s menjadi 3677rad/s. Sedangkan semakin tinggi suhu T_a maka grafik kurva arus angker pada siklus pertama akan mengalami dua proses, pada suhu -10°C menuju suhu 10°C akan mengalami peningkatan dari -832,3A menjadi 1664A, sedangkan pada suhu 10°C menuju suhu 50°C mengalami penurunan dari -1216A menjadi -997,5A. Sementara pada kurva siklus kedua mengalami tiga proses, pada suhu -10°C menuju suhu 10°C akan mengalami penurunan dari -732,5A menjadi -637,23A, pada suhu 25°C menuju suhu 30°C mengalami peningkatan dari -892,3A menjadi -940A dikarenakan gangguan, dan pada suhu 40°C menuju suhu 50°C akan mengalami penurunan dari -604,27A menjadi -600A. Semakin tinggi suhu T_a maka grafik kurva kecepatan beban motor pada siklus pertama akan mengalami peningkatan dari 5150rad/s menjadi 5688,5rad/s, sedangkan pada siklus kedua akan mengalami dua proses, pada suhu 15°C menuju 25°C akan mengalami peningkatan dari 4500rad/s menjadi 4540rad/s dan pada suhu 35°C menuju suhu 65°C mengalami penurunan dari 4500rad/s menjadi 4428rad/s. Sementara semakin tinggi suhu T_a pada arus angker maka siklus pertama akan meningkat dari -1216A menjadi -1562A, sementara pada siklus kedua akan mengalami dua proses, pada suhu 15°C menuju 25°C akan mengalami peningkatan dari -892,28A menjadi -905,2A dan pada suhu 35°C menuju suhu 65°C mengalami penurunan dari -892A menjadi -860A.

Kata Kunci: Lithium Ion, *Charge*, *Discharge*, Grafik SOC, Arus, Tegangan, Suhu

SUMMARY

Nadia Alifia Hadiyati, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Brawijaya University, January 2018, Modelling and Analysis Lithium Ion Battery LiFePO₄ Single Cells, Academic Supervisor: Eka Maulana, Onny Setyawati.

Battery is an energy storage device that is undergoing a lot of development. Of the various types of batteries that have been developed, one of which is a lithium ion battery. Lithium ion batteries include a type of secondary battery (rechargeable battery) which has many advantages compared to other secondary batteries. One of them is Lithium Ion battery that does not have a memory effect, thus the charging and discharging process will be easier. Simulink Matlab software is used for modeling and characterization of Lithium Ion LiFePO₄ battery. The results of this research are presented in a graph of discharge current characteristics based on the battery's capacity and its operating time, and a voltage graph of the circuit simulation's output, a SOC (State Of Charge) graph, a motor load's velocity graph and an armature current graph. In addition, a test related to the variations of battery's current and voltage as well as the influence of the temperature inside and outside the battery are conducted.

The result of this research shows that the higher the applied voltage value, the duration of the charge cycle tends to be constant with an average of 3%, meanwhile there is a decreased with an average value 16% in the discharge cycle. The higher the current, the duration of charge and discharge cycles are getting faster with an average value of 18% and 35%, respectively. The higher T_a temperature then the graph of the motor load velocity curve in the first cycle will undergo two processes, at a temperature of -10°C to 10°C tends to increase from 4320rad/s to 5830rad/s , while at 10°C to 50°C is decreased from 5830rad/s to 4686rad/s . While on the second cycle curve undergoes three processes, at a temperature of -10°C to 10°C tends to decrease from 4100rad/s to 3777rad/s , at 25°C to 30°C is increased from 4520rad/s to 4630rad/s due to interference, and at temperature 40°C to 50°C tends to decrease from 3688.8rad/s to 3677rad/s . While the higher T_a temperature then the graph of the armature curve in the first cycle will undergo two processes, at a temperature of -10°C to 10°C tends to increase from -832.3A to 1664A , while at 10°C to 50°C is decreased from -1216A to -997.5A . While on the second cycle curve undergoes three processes, at a temperature of -10°C to 10°C tends to decrease from -732.5A to -637.23A , at 25°C to 30°C is increased from -892.3A to -940A due to interference, and at 40°C to 50°C tends to decrease from $-604,27\text{A}$ to -600A . The higher T_a temperature then the graph of the motor load velocity curve in the first cycle tends to increase from 5150rad/s to 5688.5rad/s , while in the second cycle will undergo two processes, at 15°C to 25°C tends to increase from 4500rad/s to 4540rad/s and at 35°C to 65°C is decreased from 4500rad/s to 4428rad/s . While the higher T_a temperature then the graph of the armature current, the first cycle tends to increase from -1216A to -1562A , while in the second cycle will undergo two processes, at 15°C to 25°C tends to increase from -892.28A to -905.2A and at 35°C to 65°C is decreased from -892A to -860A .

Keywords: Lithium Ion, Charging, Discharging, SOC graph, Current, Voltage, Temperature

PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat rahmat dan hidayat-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul “Pemodelan Dan Analisis Baterai Lithium Ion 3,2V LifePO₄ *Single Cells*”. Laporan ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari banyak hambatan yang dihadapi dalam penyusunan laporan ini, namun berkat bantuan, motivasi, dan bimbingan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Ir. Hadi Suntoro dan Ir. Suwarti serta adik-adik tercinta, Fauzi, Farid dan Habibi atas pengorbanan, motivasi, dan doa restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
2. Yang terhormat Bapak Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Yang terhormat Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya sekaligus Dosen Pembimbing Akademik atas motivasi dan dorongan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini
4. Yang terhormat Bapak Raden Arief Setyawan, S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Yang terhormat Bapak Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng selaku dosen pembimbing 1 dan Ibu Dr-Ing Onny Setyawati, S.T., M.T., M.Sc selaku dosen pembimbing 2 yang selalu memberikan bimbingan, arahan dan solusi dalam penelitian maupun penulisan.
6. Yana Wahyuna, yang selalu memberikan semangat, motivasi dan dukungan moral lainnya kepada penulis
7. Teman-teman Laboratorium Sistem Digital 2013, Esti, Machfud, Chandra, Dicka, Alec, Arsyil, Abyan, Mukti, Fatah, Doni.
8. Adik-adik Laboratorium Sistem Digital, Upik, Fath, Arby, Rifki, Enggar, Hasan, Ilham, Lele, Muis, Dion, Ipeh, Ester dll
9. Seluruh teman-teman Paket B Konsentrasi Teknik Elektronika dan teman-teman SPECTRUM 2013 atas dukungan moral dan semangatnya.
10. Itsna dan Hani, untuk segala semangat, motivasi dan tempat berkeluh kesah.
11. *PowerPuff Girl*, Rinda dan Sherly, untuk segala motivasi dalam suka maupun duka.

12. *My Roommate* Alfi, untuk waktu, jalan-jalan dan motivasinya selama 1 semester terakhir.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak sehingga skripsi ini terselesaikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Penulis senantiasa terbuka menerima kritik dan saran untuk perbaikan agar dapat menjadi lebih baik dan memberikan manfaat bagi kita semua. Aamiin, sekian dan terima kasih.

Malang, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	3
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Baterai Lithium Ion	6
2.1.1 Struktur Baterai Lithium Ion.....	6
2.1.2 LiFePO_4	6
2.2 Karakterisasi Sel Baterai	7
2.2.1 Proses <i>Charge</i> dan <i>Discharge</i>	7
2.2.1.1 Kurva <i>Discharge</i>	9
2.2.1.2 Laju <i>Discharge</i>	10
2.2.1.3 Kimia Sel.....	11
2.2.1.4 Pengaruh Suhu.....	11
2.2.1.5 Beban Baterai	11
2.2.1.6 Impedansi Internal.....	12
2.3 Matlab.....	12
BAB III	15
METODE PENELITIAN	15
3.1 Spesifikasi Proses	15
3.2 Simulasi	16
3.2.1 Rangkaian Sistem Pada Simulink.....	17

3.2.1.1 <i>Battery</i>	17
3.2.1.2 <i>Bus Selector</i>	18
3.2.1.3 <i>Gain</i>	18
3.2.1.4 <i>Relay</i>	19
3.2.1.5 <i>Rate Limiter</i>	20
3.2.1.6 <i>Controlled Current Source</i>	20
3.2.1.7 <i>DC Machine</i>	21
3.2.1.8 <i>Scope</i>	22
3.2.1.10 Rangkaian Keseluruhan	23
3.2.2 <i>Flowchart</i>	23
3.2.3 Variabel Penelitian	25
BAB IV	27
PEMBAHASAN DAN HASIL	27
4.1 Pengujian Simulasi.....	27
4.1.1 Pengujian Simulasi Baterai Tanpa Pengaruh Suhu	27
4.1.1.1 Pengujian Sistem Simulasi Baterai	33
4.1.2 Pengujian Simulasi Baterai Dengan Pengaruh Suhu.....	38
4.1.2.1 Pengujian Sistem Simulasi Baterai	40
BAB V	47
KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51
Lampiran 1. Variasi Tegangan	51
Lampiran 2. Variasi Arus	53
Lampiran 3. Variasi Suhu T_d	57
Lampiran 4. Variasi Suhu T_a	60
Lampiran 5. Datasheet.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi katoda sel LiFePO_4	16
Tabel 3.2 Spesifikasi baterai tipe IFR32600P300	16

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses elektrokimia sel baterai saat charge (kiri) dan discharge (kanan).....	6
Gambar 2.2 Struktur baterai lithium ion	6
Gambar 2.3 Struktur kristal dari LiFePO_4	6
Gambar 2.4 Karakteristik kurva discharge.....	7
Gambar 2.5 Karakteristik charge	8
Gambar 2.6 Kurva discharge (discharging)	10
Gambar 2.7 Kurva discharge sel lithium ion.....	10
Gambar 2.8 Grafik penurunan kinerja baterai lithium ion saat suhu operasi turun	11
Gambar 3.1 Diagram Blok Simulasi Baterai LiFePO_4	15
Gambar 3.2 Baterai	17
Gambar 3.3 Pengaturan Simulink Pada Parameter Baterai	17
Gambar 3.4 Bus Selector.....	18
Gambar 3.5 Pengaturan Simulink Pada Parameter Bus Selector	18
Gambar 3.6 Gain	18
Gambar 3.7 Pengaturan Simulink Pada Gain.....	19
Gambar 3.8 Relay.....	19
Gambar 3.9 Pengaturan Simulink Pada <i>Relay</i>	19
Gambar 3.10 Rate Limiter.....	20
Gambar 3.11 Pengaturan Simulink Pada Parameter Rate Limiter	20
Gambar 3.12 Controlled Current Source.....	20
Gambar 3.13 Pengaturan Simulink Pada Parameter Controlled Current Source.....	21
Gambar 3.14 DC Machine	21
Gambar 3.15 Pengaturan Simulink Pada DC Machine	21
Gambar 3.16 Scope	22
Gambar 3.17 (a) Tampilan Scope	22
Gambar 3.18 Powergui.....	23
Gambar 3.19 Pengaturan Simulink Pada Powergui	23
Gambar 3.20 Rangkaian Keseluruhan Simulasi Baterai	23
Gambar 3.21 Diagram Alir Tahapan Simulasi.....	24
Gambar 4.1 Pengaturan pengujian baterai tanpa pengaruh suhu	27
Gambar 4.2 Pengaturan parameter discharge data default matlab	28

Gambar 4.3 Kurva <i>discharge</i> berdasarkan kapasitas pada arus <i>discharge</i> nominal (atas) spesifikasi arus <i>discharge</i> (bawah).....	28
Gambar 4.4 Kurva <i>discharge</i> berdasarkan waktu pada arus <i>discharge</i> nominal (atas) spesifikasi arus <i>discharge</i> (bawah)	29
Gambar 4.5 Pengaturan parameter <i>discharge</i> variabel berdasarkan <i>datasheet</i>	30
Gambar 4.6 Kurva <i>discharge</i> variabel <i>datasheet</i> berdasarkan kapasitas pada arus <i>discharge</i> nominal (atas) spesifikasi arus <i>discharge</i> (bawah).....	31
Gambar 4.7 Kurva <i>discharge</i> variabel <i>datasheet</i> berdasarkan waktu pada arus <i>discharge</i> nominal (atas) spesifikasi arus <i>discharge</i> (bawah)	32
Gambar 4.8 Grafik variasi tegangan 3,2V pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban.....	33
Gambar 4.9 Pengujian keseluruhan variasi tegangan	34
Gambar 4.10 Grafik variasi arus 1,35A pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban.....	35
Gambar 4.11 Grafik variasi arus 43,2A pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban.....	36
Gambar 4.12 Grafik variasi arus 86,4A pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban.....	36
Gambar 4.13 Pengujian keseluruhan variasi arus.....	37
Gambar 4.14 Pengaturan pengujian baterai dengan pengaruh suhu.....	38
Gambar 4.15 Kurva <i>discharge</i> berdasarkan kapasitas dengan pengaruh suhu pada arus <i>discharge</i> nominal (atas) spesifikasi arus <i>discharge</i> (bawah).....	38
Gambar 4.16 Kurva <i>discharge</i> berdasarkan waktu dengan pengaruh suhu pada arus <i>discharge</i> nominal (atas) spesifikasi arus <i>discharge</i> (bawah).....	39
Gambar 4.17 Grafik variasi T_d 30°C pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban.....	41
Gambar 4.18 Gangguan pada T_d 30°C.....	41
Gambar 4.19 Pengujian variasi T_d terhadap kecepatan beban.....	42
Gambar 4.20 Pengujian variasi T_d terhadap arus anker/beban.....	43
Gambar 4.21 Grafik variasi T_a 45°C pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban.....	43
Gambar 4.22 Gangguan pada T_a 45°C.....	44
Gambar 4.23 Grafik variasi T_a 55°C pada (a) kurva tegangan (b) kurva SOC (c) kurva kecepatan beban (d) kurva arus beban.....	44

Gambar 4.24 Gangguan pada T_a 55°C.....	45
Gambar 4.25 Pengujian variasi T_a terhadap kecepatan beban	45
Gambar 4.26 Pengujian variasi T_a terhadap arus beban.....	46