



ESTIMASI *STATE OF CHARGE* PADA BATERAI VRLA (*VALVE-REGULATED LEAD ACID*) DENGAN METODE *POLYNOMIAL REGRESSION*

SKRIPSI

Oleh :
Isnaini Nur Mufidah
NIM 141910201004

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



ESTIMASI *STATE OF CHARGE* PADA BATERAI VRLA (*VALVE-REGULATED LEAD ACID*) DENGAN METODE *POLYNOMIAL REGRESSION*

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :
Isnaini Nur Mufidah
NIM 141910201004

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT atas segala karunia dan rahmat-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan langkah awal untuk mencapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Maka dari itu, dengan segala kerendahan hati saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT atas pertolongan, petunjuk serta berkah rahmat-Nya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Junjunganku Nabi Muhammad SAW atas ajaran, syafaat dan cinta kasih sayang kepada umatnya.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Abdul Kholiq dan Ibu Himyatul Amanah serta Adikku Alvina Nur Diana atas kasih sayang, pengorbanan, dan kesabaran yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai.
3. Guru – guru mulai SD Negeri 1 Pasrepan, SMP Negeri 1 Gondangwetan, SMA Negeri 1 Gondangwetan dan dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Jember. Terima kasih untuk ilmu dan pengalaman yang telah diajarkan selama ini.
4. Sahabatku Aldianto Wahyu Ramadhan dan Kevinaldo Barevan yang telah membantu, menyemangati serta memberi motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini

MOTTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang berilmu beberapa derajat. Dan Allah maha mengetahui apa yang kamu kerjakan.

(QS. Al-Mujadalah: 11)

“Barangsiapa yang mempermudah urusan orang yang mengalami kesulitan, maka Allah akan mempermudah urusannya di dunia dan di akhirat”

(HR. Ibnu Majah).

“Sesuatu yang belum dikerjakan, seringkali tampak mustahil kita baru yakin kalau kita telah berhasil melakukannya dengan baik”

(Evelyn Underhill)

“To be a good professional engineer, always start to study late for exams. Because it teaches you how to manage time and tackle emergencies.”

(Bill Gates)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Isnaini Nur Mufidah

NIM : 141910201004

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” ESTIMASI *STATE OF CHARGE* PADA BATERAI VRLA (*VALVE-REGULATED LEAD ACID*) DENGAN METODE *POLYNOMIAL REGRESSION*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 22 Maret 2019

Yang menyatakan,

Isnaini Nur Mufidah

NIM 141910201004

SKRIPSI

**ESTIMASI *STATE OF CHARGE* PADA BATERAI VRLA (*VALVE-REGULATED LEAD ACID*) DENGAN METODE
*POLYNOMIAL REGRESSION***

Isnaini Nur Mufidah
NIM 141910201004

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Azmi Saleh, S.T. M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T. M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul ” *ESTIMASI STATE OF CHARGE PADA BATERAI VRLA (VALVE-REGULATED LEAD ACID) DENGAN METODE POLYNOMIAL REGRESSION*” Telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Jum'at

Tanggal : 22 Maret 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP 19710614 199702 1 001

Suprihadi Prasetyono S.T., M.T.
NIP 1700404 199601 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT
NIP 19700826 199702 1 001

Samsul Bachri M, S.T., M.MT.
NIP 19640317 199802 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,

Dr.Ir. Entin Hidayah M.U.M
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Estimasi State Of Charge Pada Baterai VRLA (Valve-Regulated Lead Acid) dengan Metode Polynomial Regression; Isnaini Nur Mufidah, 141910201004; 2019; 57 halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang berperan penting dalam kemajuan peradaban manusia. Selama ini persediaan energi listrik umumnya dipasok dari sumber-sumber energi fosil. Namun demikian, dengan terjadinya krisis energi listrik banyak pihak yang mencari alternatif baru dalam penyediaan sumber energi terutama berasal dari sumber energi terbarukan. Untuk mendukung penyedia energi tersebut, penyimpanan energi menjadi sangat penting untuk menyediakan pasokan yang handal dan kontinu dalam waktu yang relatif lama, salah satunya adalah baterai.

Jenis baterai yang digunakan pada kehidupan sehari-hari bermacam-macam, seperti baterai *Lead Acid*, *lithium ion*, *nikel cadmium*, *nikel metal hydride* dan lain-lain. Jenis baterai sangat berpengaruh pada kapasitas energinya karena perbedaan karakteristik yang dimiliki oleh baterai. Baterai mempunyai kapasitas yang terbatas sehingga harus dilakukan pengisian ulang agar bisa berfungsi dengan baik. Oleh karena itu diperlukan peramalan kapasitas baterai agar diketahui kapan waktunya untuk mengisi ulang baterai atau bahkan menggantinya.

Operasi baterai yang efisien berkorelasi langsung dengan keakuratan estimasi *State of Charge (SOC)*. *State of Charge (SOC)* didefinisikan sebagai presentase sisa kapasitas baterai yang tersisa. Banyak penelitian yang bekerja terus menerus untuk meningkatkan masa hidup dengan perkiraan kapasitas baterai yang akurat.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengestimasi state of charge pada baterai VRLA serta mengetahui perbandingan hasil estimasi SOC pengukuran dengan perhitungan pada baterai VRLA. Untuk software mencari polynomial

regression yaitu menggunakan software matlab dengan input nilai tegangan dan perhitungan SOC.

Dari penelitian yang telah dilakukan pada baterai VRLA berkapasitas 3 Ah, 5 Ah dan 7 Ah dapat diketahui bahwa nilai estimasi SOC pada baterai VRLA didapatkan dari hasil pengukuran dan perhitungan, sehingga diperoleh nilai SOC terhadap waktu. Pada baterai 3 Ah dengan kondisi SOC baterai sebesar 80% dapat bertahan 5.2 jam, dengan kapasitas yang tertera pada name plate sebesar 3 Ah dan kapasitas riil baterai sebesar 2,05 sehingga kapasitas baterai mengalami penurunan sekitar 31,97%. Pada baterai 5 Ah dengan kondisi SOC baterai sebesar 80% dapat bertahan 6.45 jam, dengan kapasitas yang tertera pada name plate sebesar 5 Ah dan kapasitas riil baterai sebesar 4,21 Ah sehingga kapasitas baterai mengalami penurunan sekitar 15,8%. Dan pada baterai 7 Ah dengan kondisi SOC baterai sebesar 80% dapat bertahan 7.2 jam, dengan kapasitas yang tertera pada name plate sebesar 7 Ah dan kapasitas riil baterai sebesar 6,55 Ah sehingga kapasitas baterai mengalami penurunan sekitar 6,43%.

Dari penelitian juga diketahui bahwa performa dari fungsi *polynomial regression* jika dilakukan secara terpisah memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan cara digabungkan, karena batas tegangan maksimum pada setiap baterai yang berberda sehingga hasil SOC juga berbeda. Ketika penggabungan ketiga baterai diperoleh *polynomial regression* dengan nilai error persen sebesar 12,02%, sedangkan *polynomial regression* kapasitas baterai 3 Ah, 5 Ah dan 7 Ah masing-masing memiliki nilai error persen sebesar 1,38%, 1,60% dan 1,06%.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ESTIMASI STATE OF CHARGE PADA BATERAI VRLA (VALVE-REGULATED LEAD ACID) DENGAN METODE POLYNOMIAL REGRESSION”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rizki dan rahmat-Nya serta memberi kelancaran dan kemudahan atas seglanya, sehingga dapat terselesaikan proyek akhir ini.
2. Nabi Muhammad SAW, yang telah menuntun kita kepada peradaban manusia yang lebih baik.
3. Ibu Dr.Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Supriyadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah rela meluangkan waktu, pikiran serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT., selaku dosen penguji utama dan Bapak Samsul Bachri Masmachofari, S.T. M.MT., selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa.
7. Para dosen beserta seluruh staf karyawan Fakultas Teknik Universitas Jember, terimakasih atas segala bantuan dan dukungannya selama ini.

8. Kedua orang tua tercinta, Bapak Abdul Kholiq dan Ibu Himyatul Amanah serta Adikku Alvina Nur Diana atas kasih sayang dan kesabaran yang tiada tara serta selalu mendoakan saya.
9. Sahabatku Aldianto Wahyu Ramadhan, Kevinaldo Barevan, Dwie Putri Donnaro, Rifqi Bagus Prabowo, Muhammad Haidlir Zulkarnain yang telah saling membantu satu sama lain.
10. Mas Cries Avian yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini
11. Purwadiharja, Galih Septian Rivaldi dan Muhammad Lukman Hakim yang telah memberi semangat, membantu dan menemani dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Mbak Fitri Zainati, Mas Joni, Mas Sandi Firdaus, Mas Arifin R yang telah memberi semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2014 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, selama ini telah memberikan pengalaman hidup selama penulis menjadi keluarga Fakultas Teknik Universitas Jember.
14. Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Universitas Negeri Jember yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
15. Keluarga Besar UKM ROBOTIKA Universitas Negeri jember yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
16. Ani Rohani yang telah memberi semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
17. Rekan-rekan satu DPU dan DPA yang selalu menemani saya berjuang mulai awal pengerjaan skripsi hingga selesai.
18. Keluarga kelompok KKN 63 yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
19. Serta seluruh pihak yang telah membantu dalam mengerjakan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan pengetahuan dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro, kritik dan saran diharapkan terus mengalir agar dapat lebih menyempurnakan skripsi ini dan diharapkan dapat dikembangkan kedepannya untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, 22 Maret 2019

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	v
PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Baterai <i>Lead Acid</i>	4
2.1.1 <i>Starting Battery</i>	4
2.1.2 <i>Deep Cycle Battery</i>	5
2.1.3 <i>Flooded Lead Acid Battery</i>	6
2.1.4 <i>Valve-Regulated Lead Acid Battery (VLRA)</i>	6
2.2 Arduino UNO R3	7
2.3 <i>Inter Integrated Circuit</i>.....	9
2.4 Sensor Tegangan	10

2.5 Regresi Polynomial	10
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	12
3.1 Tempat dan waktu Penelitian	12
3.1.1 Tempat Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.2.1 Baterai <i>Lead Acid</i> 3 Ah.....	12
3.2.2 Baterai <i>Lead Acid</i> 5 Ah.....	12
3.2.3 Baterai <i>Lead Acid</i> 7 Ah.....	13
3.2.4 Sensor Tegangan.....	13
3.2.5 Mikrokontroler.....	14
3.3 Tahapan Penelitian	15
3.4 Perancangan Sistem.....	16
3.4.1 <i>Hardware</i>	16
3.4.2 <i>Software</i>	18
3.4.3 Sistem Pengujian Kapasitas Baterai dengan Kondisi <i>Discharge</i>	19
3.5 Tahap Pengambilan Data.....	19
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Pengujian Sensor.....	22
4.1.1 Pengujian Sensor Tegangan.....	22
4.2 Pengujian baterai	23
4.2.1 Hasil Pengujian <i>Discharge</i>	23
4.3 Perhitungan SOC	30
4.3.1 Perhitungan SOC Pada Baterai 3Ah	31
4.3.2 Perhitungan SOC Pada Baterai 5Ah	34
4.3.3 Perhitungan SOC Pada Baterai 7Ah	36
4.4 Perbandingan SOC Terhadap Waktu.....	39
4.4.1 Perbandingan SOC Terhadap Waktu Pada Baterai 3Ah.....	39
4.4.2 Perbandingan SOC Terhadap Waktu Pada Baterai 5Ah.....	40
4.4.3 Perbandingan SOC Terhadap Waktu Pada Baterai 7Ah.....	40
4.4.4 Perbandingan SOC Terhadap Waktu	41

4.5 Perbandingan SOC Pengujian dan SOC <i>Polynomial</i>	42
4.5.1 Regresi <i>Polynomial</i> Pada Baterai 3 Ah.....	42
4.5.2 Regresi <i>Polynomial</i> Pada Baterai 5 Ah.....	45
4.5.3 Regresi <i>Polynomial</i> Pada Baterai 7 Ah.....	46
4.5.4 Regresi <i>Polynomial</i> Pada Baterai 3Ah, 5Ah dan 7 Ah	48
BAB 5. PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jenis-jenis Aki	4
Gambar 2.2 <i>Starting Battery</i>	5
Gambar 2.3 <i>Deep Cycle Battery</i>	5
Gambar 2.4 Arduino Uno R3	8
Gambar 2.5 Komponen I ² C.....	9
Gambar 2.6 Sensor Tegangan DCT-Elektronik	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.2 Perancangan Alat.....	16
Gambar 3.3 Rangkaian Alat Pada Arduino.....	17
Gambar 3.4 Diagram Alir Perancangan <i>Software</i>	18
Gambar 3.5 Sistem Pengujian dengan Kondisi <i>Discharge</i>	19
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan SOC dan Waktu pada Baterai 3 Ah	39
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan SOC dan Waktu pada Baterai 5 Ah	40
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan SOC dan Waktu pada Baterai 7 Ah	41
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan SOC dan Waktu	42
Gambar 4.5 Tampilan MATLAB.....	43
Gambar 4.6 Regresi Polynomial pada Baterai 3 Ah	44
Gambar 4.7 Regresi Polynomial pada Baterai 5 Ah	45
Gambar 4.8 Regresi Polynomial pada Baterai 7 Ah	47
Gambar 4.9 <i>Polynomial Regression</i> pengujian 3Ah, 5Ah, dan 7 Ah	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno R3	9
Tabel 3.1 Spesifikasi baterai VRLA kapasitas 3 Ah.....	12
Tabel 3.2 Spesifikasi baterai VRLA kapasitas 5 Ah.....	13
Tabel 3.3 Spesifikasi baterai VRLA kapasitas 7 Ah.....	13
Tabel 3.4 Spesifikasi Sensor Tegangan	13
Tabel 3.5 Spesifikasi Arduino Uno R3	14
Tabel 4.1 Pengujian Sensor Tegangan	23
Tabel 4.2 Pengujian <i>Discharge</i> baterai 3 Ah	24
Tabel 4.3 Pengujian <i>Discharge</i> baterai 5 Ah	26
Tabel 4.4 Pengujian <i>Discharge</i> baterai 7 Ah	28
Tabel 4.5 Perhitungan SOC pada baterai 3 Ah	32
Tabel 4.6 Perhitungan SOC pada baterai 5 Ah	34
Tabel 4.7 Perhitungan SOC pada baterai 7 Ah	36
Tabel 4.8 Perbandingan penurunan kapasitas baterai	42
Tabel 4.9 Perbandingan SOC Perhitungan Dan Pengukuran pada baterai 3 Ah ..	44
Tabel 4.10 Perbandingan SOC Perhitungan Dan Pengukuran pada baterai 5 Ah	46
Tabel 4.11 Perbandingan SOC Perhitungan Dan Pengukuran pada baterai 7 Ah	47
Tabel 4.12 Hasil dan Perbandingan Ah dengan <i>Polynomial Regression</i>	48

DAFTAR LAMPIRAN

- A. Tampilan pengujian *Discharge*
- B. *Listing* Program Arduino Uno



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang berperan penting dalam kemajuan peradaban manusia. Selama ini persediaan energi listrik umumnya dipasok dari sumber-sumber energi fosil. Namun demikian, dengan terjadinya krisis minyak banyak pihak yang mencari alternatif baru dalam penyediaan sumber energi terutama berasal dari sumber energi terbarukan. Untuk mendukung penyedia energi tersebut, penyimpanan energi menjadi sangat penting untuk menyediakan pasokan yang handal dan kontinu dalam waktu yang relatif lama, salah satunya adalah baterai.

Jenis baterai yang digunakan pada kehidupan sehari-hari bermacam-macam, seperti baterai *Lead Acid*, *lithium ion*, *nikel cadmium*, *nikel metal hydride* dan lain-lain. Jenis baterai sangat berpengaruh pada kapasitas energinya karena perbedaan karakteristik yang dimiliki oleh baterai. Baterai mempunyai kapasitas yang terbatas sehingga harus dilakukan pengisian ulang agar bisa berfungsi dengan baik. Keadaan ini bila tidak segera diatasi bisa menyebabkan kerusakan. Tentu hal ini membuat cemas. Oleh karena itu diperlukan peramalan kapasitas baterai agar diketahui kapan waktunya untuk mengisi ulang baterai atau bahkan menggantinya.

Operasi baterai yang efisien berkorelasi langsung dengan keakuratan estimasi *State of Charge (SOC)*. *State of Charge (SOC)* didefinisikan sebagai kapasitas baterai yang tersisa dan dinyatakan dalam satuan kapasitas pengenalnya. Banyak penelitian yang bekerja terus menerus untuk meningkatkan masa hidup dengan perkiraan kapasitas baterai yang akurat. *State of Charge (SOC)* dari baterai bergantung pada banyak parameter seperti suhu, voltase dan arus, tingkat pengisian dan pemakaian. perkiraan yang tepat mengenai keadaan yang harus di keluarkan untuk mencegah pengisian daya dan pemakaian daya baterai yang berlebihan.

Peramalan kapasitas baterai yang sebelumnya telah diteliti dengan metode penghitungan *coulomb*. Metode ini salah satu cara untuk estimasi keadaan baterai *lithium-ion* dengan efisiensi pengisian dan pengeluaran tinggi. Karakteristik pengisian dan pemakaian diselidiki dan mengungkapkan bahwa metode

penghitungan *coulomb* nyaman dan akurat untuk memperkirakan SOC baterai *lithium-ion*. Metode estimasi cerdas berdasarkan penghitungan *coulomb* diusulkan untuk meningkatkan akurasi estimasi. Koreksi dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi pengisian dan pengoperasian. Lebih lanjut, status kesehatan (SOH) dievaluasi dengan kapasitas maksimum yang dapat dirilis. Melalui eksperimen yang meniru operasi praktis, metode estimasi SOC diverifikasi untuk menunjukkan efektivitas dan akurasi. Namun dalam peramalannya hanya menggunakan simulasi secara kisaran dinamis tanpa menggunakan kecerdasan buatan (Ng, 2009).

Penelitian yang akan saya lakukan adalah menghitung SOC (*State of Charge*) menggunakan teknik *polynomial regression*. *Polynomial regression* adalah alternatif baru untuk prediksi *State of Charge*. Teori ini membahas masalah menemukan fungsi prediksi berdasarkan data empiris. Tujuannya adalah untuk mempelajari aturan umum yang memetakan variabel *input* ke *output*. Dalam penelitian ini, teknik *polynomial regression* diterapkan untuk memperkirakan *state of charge* dengan pengujian yang dilakukan pada baterai *Lead Acid*. Hal yang didapatkan nantinya dapat dijadikan referensi untuk mengetahui kapasitas baterai dengan berbagai kondisi beban. Pengujian yang akan dilakukan dengan mendesain sensor tegangan yang dihubungkan dengan baterai *Lead Acid* berkapasitas 3 Ah, 5 Ah, dan 7 Ah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan maka pada tugas akhir ini dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengestimasi SOC pada baterai VRLA?
2. Bagaimana perbandingan hasil estimasi SOC pengukuran dengan perhitungan pada baterai VRLA?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan tujuan penelitian maka penulis memberi batasan masalah rencana penelitian ini. Adapun yang menjadi batasan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan baterai *Lead Acid* dengan kapasitas 3 Ah, 5 Ah dan 7 Ah.
2. Pengujian ini tidak membahas sistem pengujian kapasitas baterai dengan pengujian *charge*.
3. Pengujian *discharge* dilakukan dengan menggunakan metode konstan *current*.
4. Menggunakan metode *polynomial regression*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui estimasi SOC pada baterai VRLA.
2. Membandingkan hasil estimasi SOC pengukuran dengan perhitungan pada baterai VRLA.

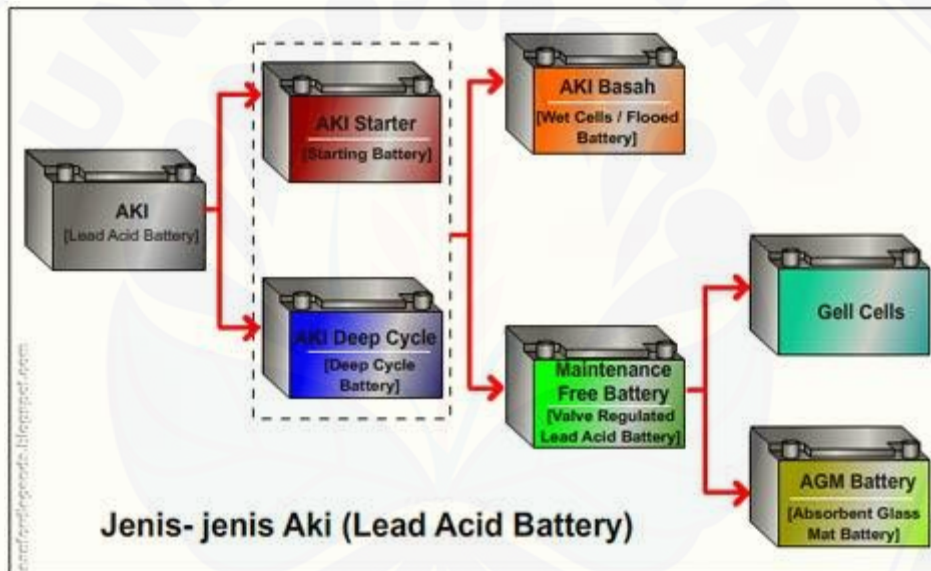
1.5 Manfaat Penelitian

Dapat mengestimasi SOC pada baterai VRLA, dapat mengetahui seberapa lama waktu kapasitas baterai akan habis, dan mengetahui waktu baterai harus diisi atau diganti.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai *Lead Acid*

Aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan Asam Timbal (*Lead Acid*) sebagai bahan kimianya. Aki banyak sekali jenisnya seiring banyaknya penemuan-penemuan baru baik dari jenis bahan kimianya maupun konstruksinya, sehingga penggunaannya pun berbeda-beda. Jika kita salah dalam penerapannya berakibat perangkat kita tidak berfungsi dengan baik, bisa jadi lebih fatal, dapat merusak aki itu sendiri dan perangkat kita juga rusak karenanya.



Gambar 2.1 Jenis-jenis Aki

Sebagai contoh, aki buat mobil tidak bisa kita gunakan untuk menggantikan aki buat kursi roda elektrik atau sebaliknya. Karena aki untuk mobil berbeda fungsi dan karakteristiknya dengan aki untuk kursi roda elektrik walau mungkin tegangannya sama. Secara umum ada dua jenis aki (*Lead Acid Battery*), yaitu:

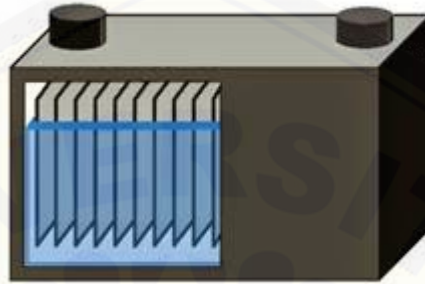
2.1.1 *Starting Battery*.

Merupakan jenis aki yang dirancang mampu menghasilkan energi (arus listrik) yang tinggi dalam waktu singkat sehingga dapat menyalakan mesin seperti mesin kendaraan. Dengan kata lain untuk menghidupkan mesin dibutuhkan arus

listrik yang tinggi. Setelah mesin hidup aki istirahat sambil dicas kembali oleh dinamo (alternator). Jadi aki akan selalu penuh terisi arus listrik tidak pernah sampai



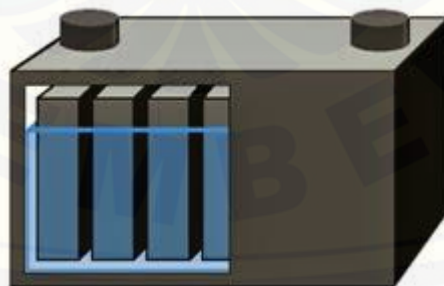
habis. Jika aki sering terpakai sampai habis aki jenis ini akan cepat rusak. Konstruksinya menggunakan banyak pelat tipis secara paralel agar resistansinya rendah dengan permukaan yang lebih luas agar dapat melepas arus listrik yang tinggi saat dibutuhkan. Aki jenis ini banyak digunakan pada kendaraan untuk menyalakan mesin.



Gambar 2.2 *Starting Battery*

2.1.2 *Deep Cycle Battery.*

Kebalikan dari jenis *Starting Battery*, *Deep Cycle Battery* dirancang untuk menghasilkan energi (arus listrik) yang stabil (tidak sebesar *Starting Battery*) namun dalam waktu yang lama. Aki jenis ini tahan terhadap siklus pengisian - pengosongan aki yang berulang-ulang (*Deep Cycle*) karenanya konstruksinya menggunakan pelat yang lebih tebal seperti terlihat pada gambar. Aki *Deep Cycle* banyak digunakan pada peralatan yang menggunakan motor listrik seperti kursi roda, forklift, mobil golf.



Gambar 2.3 *Deep Cycle Battery*

Jenis ini juga banyak digunakan pada proyek energi alternatif untuk menyimpan arus listrik seperti pada pembangkit listrik tenaga surya, pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga air. Terlepas dari dua jenis aki di atas, aki juga digolongkan sebagai berikut:

2.1.3 Flooded Lead Acid Battery (FLA).

Jenis ini disebut juga *Wet Cell* atau *Flooded Battery*. Di pasaran, aki ini dikenal dengan aki basah. Maksudnya sel-sel di dalam aki harus terendam cairan elektrolit dan jika level cairannya kurang harus ditambah. Ciri-cirinya setiap sel ada katup untuk pengisian cairan elektrolitnya. Jenis ini paling banyak di sekitar kita.

2.1.4 Valve-Regulated Lead Acid Battery (VRLA).

Jenis ini sering juga disebut *Sealed Lead Acid* battery atau *Sealed Maintenance Free* battery. Secara fisik aki jenis ini terlindung / tertutup rapat, yang nampak dari luar hanya terminal (+) positif dan (-) negatif. Didesain agar cairan elektrolit tidak berkurang karena bocor atau penguapan. Aki jenis ini memiliki katup ventilasi yang hanya terbuka pada tekanan yang ekstrem untuk pembuangan gas hasil reaksi kimianya. Tidak ada katup untuk isi ulang cairan elektrolitnya, karenanya dikenal dengan aki bebas perawatan (*Maintenance Free Battery*). Aki VRLA dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan konstruksi internalnya, yaitu:

a. Gel Cells.

Aki jenis ini, cairan elektrolitnya dicampur dengan pasir silica sehingga menjadi kental seperti jelly (agar-agar atau puding). Kemudian jelly ini berfungsi seperti halnya cairan elektrolit. Aki jenis ini sebaiknya jangan digunakan pada perangkat yang membutuhkan suplai arus listrik yang tinggi (*discharging*) atau di cas dengan arus yang tinggi pula (*charging*). Kalau tidak jelly-nya akan cepat robek atau rusak sehingga aki tidak dapat digunakan lagi.

b. Absorbent Glass Mat Battery (AGM).

Aki jenis ini memiliki separator (pemisah) yang terdiri dari fiberglass yang diletakkan di antara pelat-pelat selnya yang bertujuan menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori *fiberglass*. Fungsi *fiberglass* ini mirip seperti handuk yang menyerap air ketika salah satu ujung handuknya dicelupkan ke dalam ember yang berisi air. Diantara kelebihan AGM battery adalah:

- Hampir semua aki AGM sistim pengemasannya sama seperti pengelasan aki pada umumnya. Tidak memerlukan syarat-syarat dan alat pengecas (*charger*) yang khusus.

- Dapat disimpan untuk waktu yang lama tanpa harus dicas ulang karena *self-discharge* nya sangat rendah (1% - 3% per bulan). (*Self-discharge* = penurunan kapasitas / tegangan aki pada kondisi tanpa beban karena adanya resistansi internal).
- Karena resistansi internal-nya sangat rendah, aki tidak akan kepanasan walau digunakan pada beban yang membutuhkan arus yang besar atau saat di-cas ulang dengan arus listrik yang tinggi.

Bebas perawatan, anti penguapan, anti bocor dan tetap beroperasi walaupun dalam cuaca sangat dingin, bahkan walau casing akinya retak atau pecah akan tetap beroperasi dengan baik.

2.2 Arduino Uno R3

Arduino Uno adalah modul mikrokontroler berbasis ATmega 328. Modul ini memiliki empat belas pin *input-output* (14 I/O) di mana enam diantaranya dapat digunakan sebagai *output pulse width modulation* (PWM), enam *input* analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, tombol *reset* dan koneksi ke catu daya. Kontroler ini semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler. “Uno” berarti satu dalam bahasa Itali dan hal ini untuk menandai versi pertama (Arduino 1.0) yang akan menjadi versi acuan bagi Arduino berikutnya. Uno adalah seri terakhir dari seri papan atau modul USB Arduino. Uno tidak lagi menggunakan *chip* FTDI USB-to-serial tetapi menggunakan Atmega 8U2 sebagai konverter USB ke serial. Masing-masing pin I/O dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Masing-masing pin ini beroperasi pada tegangan 5 volt dan dapat menerima arus 40 mA serta sudah memiliki *pull-up* resistor 20-50 k Ω yang secara *default* tidak tersambung (*disconnected*). Beberapa pin pada Arduino UNO memiliki fungsi khusus :

- a. Serial, terdiri dari 2 pin : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX) yang digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data serial.
- b. *External Interrupts*, yaitu pin 2 dan pin 3. Kedua pin tersebut dapat digunakan untuk mengaktifkan *interrupts*. Gunakan fungsi *attachInterrupt()*

- c. PWM: Pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 menyediakan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi *analogWrite()*
- d. SPI : Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), dan 13 (SCK) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan *SPI Library*
- e. LED : Pin 13. Pada pin 13 terhubung *built-in led* yang dikendalikan oleh digital pin no 13.
- f. TWI : Pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan *Wire Library*.



Gambar 2.4 Arduino Uno R3

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno R3

No	Kriteria	Spesifikasi
1.	<i>Type</i>	<i>Microcontroller</i>
2.	<i>Model Type</i>	ATmega328
3.	Tegangan Operasi	5 V
4.	Tegangan <i>input</i>	7 – 12 VDC
5.	<i>Digital Input – Output</i>	14 Pins
6.	<i>Analog Input</i>	6 Pins
7.	<i>Flash Memory</i>	32 KB
8.	<i>SRAM</i>	2 KB
9.	<i>EEPROM</i>	1 KB
10.	<i>Clock</i>	16 MHz

2.3 I²C (Inter Integrated Circuit)

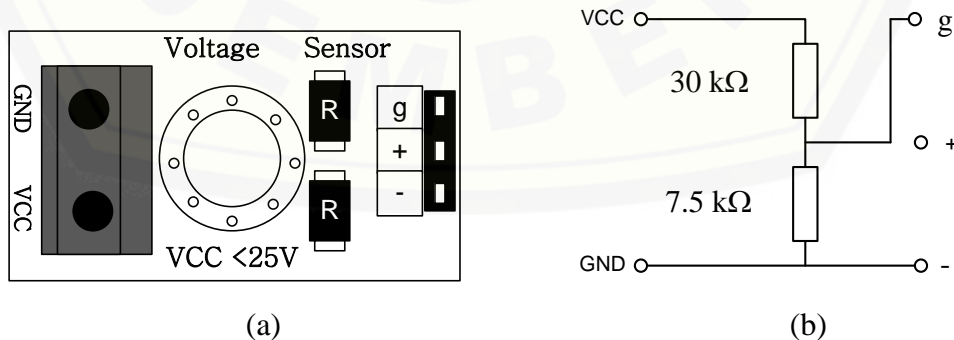
Inter Integrated Circuit atau sering disebut I²C adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang didisain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I²C terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I²C dengan pengontrolnya. Piranti yang dihubungkan dengan sistem I²C Bus dapat dioperasikan sebagai *Master* dan *Slave*. *Master* adalah piranti yang memulai *transfer* data pada I²C Bus dengan membentuk sinyal *Start*, mengakhiri *transfer* data dengan membentuk sinyal *Stop*, dan membangkitkan sinyal *clock*. *Slave* adalah piranti yang dialamati *master*.



Gambar 2.5 Komponen I2C

2.4 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah modul pembagi tegangan yang digunakan untuk mengubah tegangan yang akan diukur untuk dapat diumpankan ke pin kontroler yang sudah memiliki konverter analog ke digital (ADC).



Gambar 2.6 Sensor Tegangan DCT-Elektronik

Gambar (a) adalah modul sensor pembagi tegangan, sedangkan Gambar (b) adalah diagram skematik dari sensor tersebut. Kaki VCC dan GND adalah kaki-kaki untuk menempatkan terminal tegangan yang akan diukur sedangkan pin g, + dan - adalah pin untuk dihubungkan dengan kaki ADC kontroler (Autodesk.Inc,2015).

2.5 Regresi Polynomial

Metode regresi adalah suatu metode statistik untuk menyelidiki dan memodelkan hubungan antara variabel respon Y dan variabel prediktor X . Misalnya diberikan himpunan data $\{(X_i, Y_i)\}$, $i = 1, \dots, n$. Secara umum hubungan antara Y dan X dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y_i = m(X_i) + \varepsilon_i \dots \dots \dots (2-1)$$

Dengan $m(x)$ adalah suatu fungsi regresi yang belum diketahui dan ingin ditaksir, dan ε_i adalah suatu variabel acak yang menggambarkan variasi Y disekitar $m(x)$ (Hardle, 1990).

Penaksiran fungsi regresi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara parametrik dan nonparametrik. Pada regresi parametrik digunakan bentuk fungsi parametrik tertentu sebagai $m(x)$. $m(x)$ digambarkan oleh sejumlah hingga parameter yang harus ditaksir. Dalam regresi parametrik terdapat beberapa asumsi mengenai model, sehingga diperlukan pengecekan akan terpenuhinya asumsi tersebut. Contoh bentuk model regresi parametrik dengan satu variabel prediktor :

- a. Model regresi linier sederhana :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \dots \dots \dots (2-2)$$

Model dengan satu variabel prediktor yang hubungannya dengan variabel respon Y digambarkan oleh sebuah garis lurus.

- b. Model regresi polinomial order 2 (model kuadrat) :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \varepsilon \dots \dots \dots (2-3)$$

Kurva regresi digambarkan oleh kurva lengkung kuadrat.

- c. Model polinomial order ke-k :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_k X^k + \varepsilon \dots \dots \dots (2-4)$$

Pada model-model regresi tersebut parameter regresi biasanya ditaksir dengan menggunakan metode *least square*. Metode *least square* merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk menduga parameter-parameter regresi. Biasanya penduga *least square* ini diperoleh dengan meminimumkan jumlah kuadrat residual.

$$SSR = \sum_{i=1}^n \left(\begin{matrix} \varepsilon \\ 1 \end{matrix} \right)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Pada regresi nonparametrik, fungsi regresi ($m(x)$) ditaksir tanpa referensi bentuk kurva tertentu. Cara ini lebih fleksibel karena tidak memerlukan informasi apa-apa tentang fungsi regresinya, dan $m(x)$ akan mengikuti bentuk data.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian yang dilakukan ini, untuk memperoleh data dan hasil dari penelitian yang sesuai dengan tujuan, maka akan dilakukan beberapa tahapan-tahapan pada proses penelitian ini. Adapun kegiatan yang akan dilakukan sebagaimana dapat dijelaskan seperti berikut.

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

3.1.1 Tempat Penelitian

Skripsi yang berjudul tentang “Desain sensor *State Of Charge* pada baterai *Lead Acid*” Pelaksanaan pembuatan alat dan pengujian alat akan dilaksanakan di Laboratorium Sistem Tenaga, Fakultas Teknik, Universitas Jember yang beralamat di Jln. Slamet Riyadi no. 62 Patrang, Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Baterai Lead Acid 3 Ah

Baterai Lead yang digunakan dalam penelitian ini merupakan baterai kering/aki. Berikut ini merupakan spesifikasi dari Baterai yang digunakan.

Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai VRLA kapasitas 3 Ah

No	Kriteria	Spesifikasi
1.	<i>Merk</i>	<i>Kenika</i>
2.	<i>Model Type</i>	Lead Acid
3.	<i>Voltage Operation</i>	12 Volt
4.	<i>Capacity Operation</i>	3Ah

3.2.2 Baterai Lead Acid 5 Ah

Baterai Lead yang digunakan dalam penelitian ini merupakan baterai kering/aki. Berikut ini merupakan spesifikasi dari Baterai yang digunakan.

Tabel 3.2 Spesifikasi Baterai VRLA kapasitas 5 Ah

No	Kriteria	Spesifikasi
1.	<i>Merk</i>	<i>Kenika</i>
2.	<i>Model Type</i>	Lead Acid
3.	<i>Voltage Operation</i>	12 Volt
4.	<i>Capacity Operation</i>	5Ah

3.2.3 Baterai Lead Acid 7 Ah

Baterai Lead yang digunakan dalam penelitian ini merupakan baterai kering/aki. Berikut ini merupakan spesifikasi dari Baterai yang digunakan.

Tabel 3.3 Spesifikasi Baterai VRLA kapasitas 7 Ah

No	Kriteria	Spesifikasi
1.	<i>Merk</i>	<i>Kenika</i>
2.	<i>Model Type</i>	Lead Acid
3.	<i>Voltage Operation</i>	12 Volt
4.	<i>Capacity Operation</i>	7Ah

3.2.4 Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sensor tegangan AC. Berikut ini merupakan spesifikasi dari sensor tegangan AC yang digunakan.

Tabel 3.4 Spesifikasi tegangan DC

No	Kriteria	Spesifikasi
1.	<i>Model Type</i>	<i>DC Voltage</i>
2.	DC 0 – 25 Volt	DC 0 – 25 Volt

3.2.5 Arduino Uno

Arduino Uno adalah modul mikrokontroler berbasis ATmega 328. Modul ini memiliki empat belas pin *input-output* (14 I/O) di mana enam diantaranya dapat digunakan sebagai *output pulse width modulation* (PWM), enam *input* analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, tombol *reset* dan koneksi ke catu daya. Kontroler ini semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler. “Uno” berarti satu dalam bahasa Itali dan hal ini untuk menandai versi pertama (Arduino 1.0) yang akan menjadi versi acuan bagi Arduino berikutnya. Uno adalah seri terakhir dari seri papan atau modul USB Arduino. Uno tidak lagi menggunakan *chip* FTDI USB-to-serial tetapi menggunakan Atmega 8U2 sebagai konverter USB ke serial. Masing-masing pin I/O dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Masing-masing pin ini beroperasi pada tegangan 5 volt dan dapat menerima arus 40 mA serta sudah memiliki *pull-up* resistor 20-50 k Ω yang secara *default* tidak tersambung (*disconnected*). Beberapa pin pada Arduino UNO memiliki fungsi khusus :

- g. Serial, terdiri dari 2 pin : pin 0 (RX) dan pin 1 (TX) yang digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) data serial.
- h. *External Interrupts*, yaitu pin 2 dan pin 3. Kedua pin tersebut dapat digunakan untuk mengaktifkan *interrupts*. Gunakan fungsi *attachInterrupt()*

- i. PWM: Pin 3, 5, 6, 9, 10, dan 11 menyediakan output PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi *analogWrite()*
- j. SPI : Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), dan 13 (SCK) mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan *SPI Library*
- k. LED : Pin 13. Pada pin 13 terhubung *built-in led* yang dikendalikan oleh digital pin no 13.
- l. TWI : Pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan *Wire Library*.

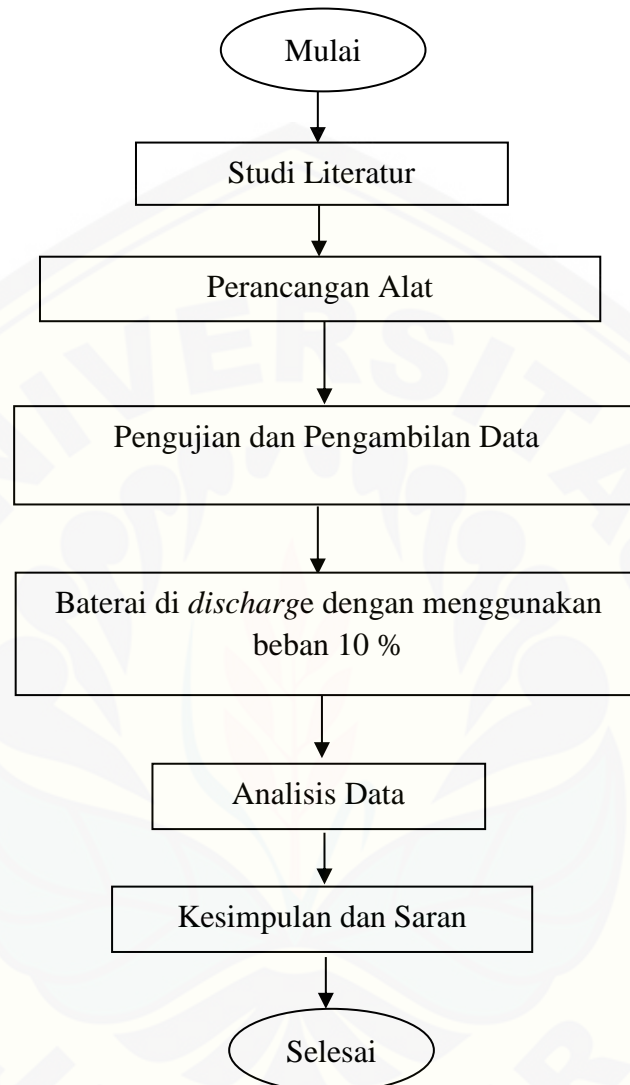


Gambar 3.1 Arduino Uno R3

Tabel 3.5 Spesifikasi Arduino Uno R3

No	Kriteria	Spesifikasi
1.	<i>Type</i>	<i>Microcontroller</i>
2.	<i>Model Type</i>	ATmega328
3.	Tegangan Operasi	5 V
4.	Tegangan <i>input</i>	7 – 12 VDC
5.	<i>Digital Input – Output</i>	14 Pins
6.	<i>Analog Input</i>	6 Pins
7.	<i>Flash Memory</i>	32 KB
8.	<i>SRAM</i>	2 KB
9.	<i>EEPROM</i>	1 KB
10.	<i>Clock</i>	16 MHz

3.3 Tahapan Penelitian



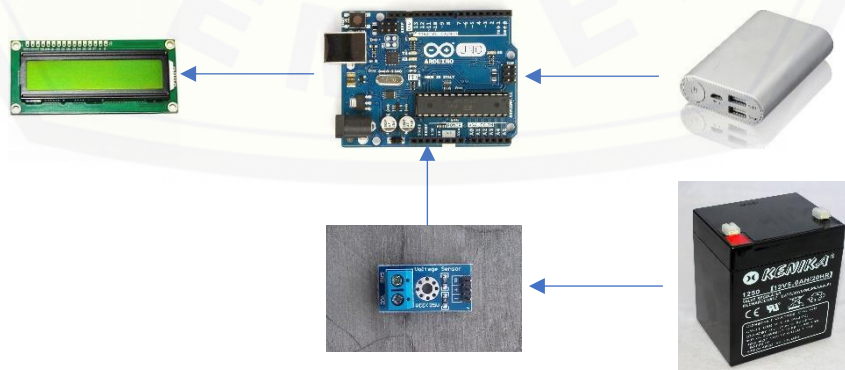
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melakukan perumusan masalah yang di lanjutkan dengan studi literatur terhadap topik penelitian, yakni mengenai bagaimana *state of charge* dan performa pada baterai *lead acid*. Kemudian tahap selanjutnya yaitu perancangan baterai yang akan di gunakan pada penelitian dengan kapasitas 3 Ah, 5 Ah, dan 7 Ah. Tahap selanjutnya yaitu perancangan alat yang akan di gunakan dalam penelitian ini yaitu sistem *discharging* baterai. Selanjutnya melakukan pengujian dan pengambilan data, yang mana data yang di peroleh akan di hitung untuk mencari nilai *state of charge* pada baterai. Dengan cara melakukan pengujian dengan memberikan variasi pembebanan saat proses *discharge* baterai. Tahap berikutnya yaitu menganalisa data yang di peroleh dan kemudian membuat kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan.

3.4 Perancangan Sistem

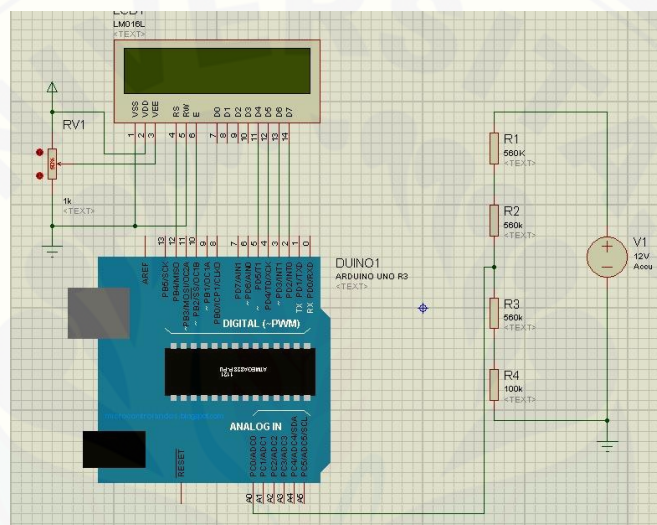
3.4.1 Hardware

Pada penelitian ini untuk mendapatkan data yang diinginkan dan sesuai dengan tujuan, maka disusun blok diagram sistem yang dapat dilihat pada Gambar 3.2. Alur dari diagram blok ini adalah alat tersebut menggunakan sumber tegangan atau catu daya sebesar 5V untuk menyuplai arduino, sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan. Hasil pembacaan sensor tegangan yang akan ditampilkan ke *Liquid Crystal Display (LCD)* sebagai *monitoring*. Arduino Uno sebagai pengontrolan sistem keseluruhan kerja alat. *Output* dari alat ini yaitu mengetahui nilai *state of charge* pada baterai.



Gambar 3.2 Perancangan alat

Pada perancangan sistem *hardware* dibutuhkan 3 buah komponen yaitu LCD, Arduino Uno, dan sensor tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Pada sensor tegangan, *input* dari sensor tegangan dihubungkan dengan Arduino pin A0 dan *output* dari sensor tegangan dihubungkan dengan Arduino pin GND (*Ground*). Kemudian pada komponen LCD, pin GND (*Ground*) dihubungkan dengan Arduino pin GND (*Ground*), pin VCC dihubungkan dengan Arduino pin 5V, pin SCL dihubungkan dengan Arduino pin A5, dan pin SDA dihubungkan dengan Arduino pin A4.



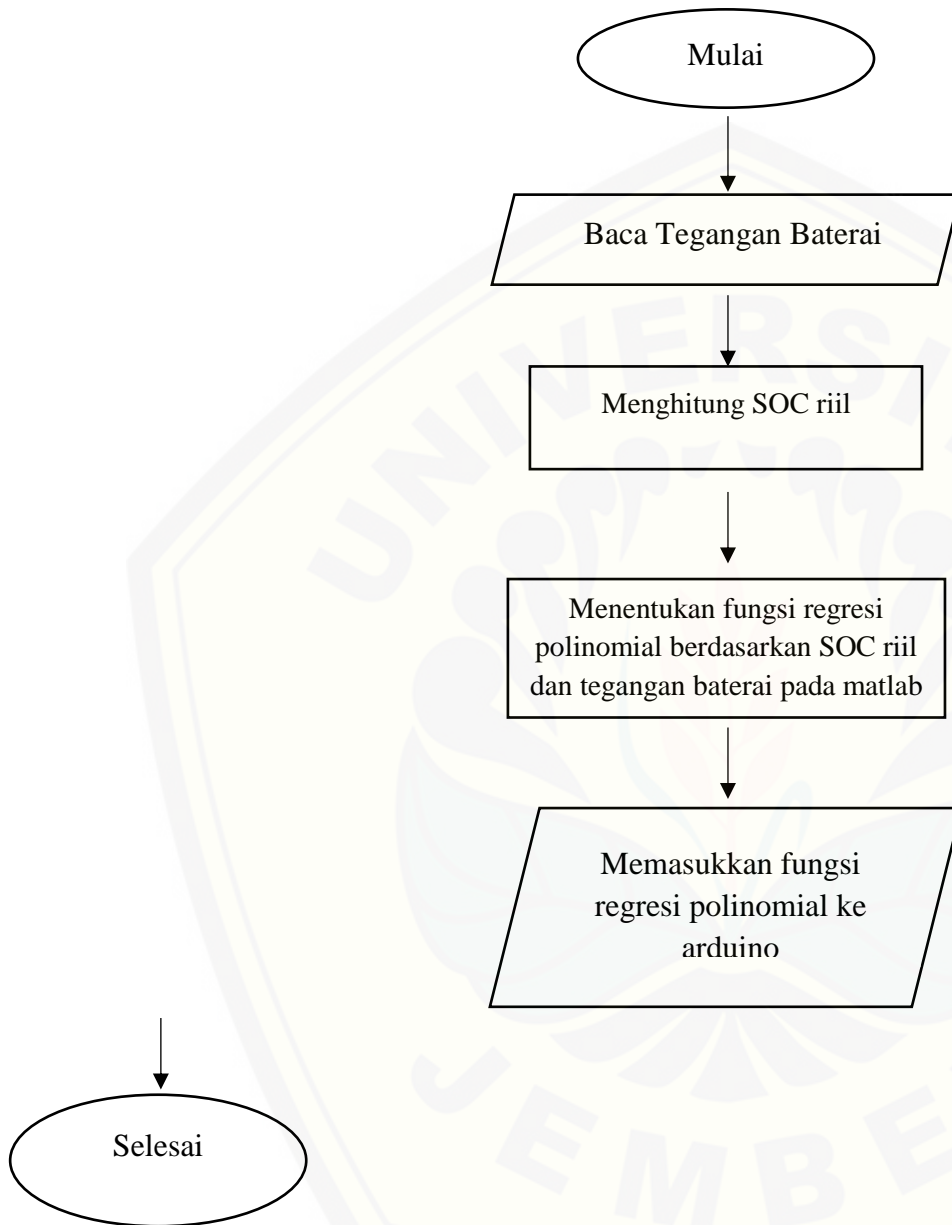
(a)



(b)

(a) Rancangan Pada Proteus (b) Rangkaian Pada Alat
Gambar 3.3 Rangkaian Alat Pada Arduino

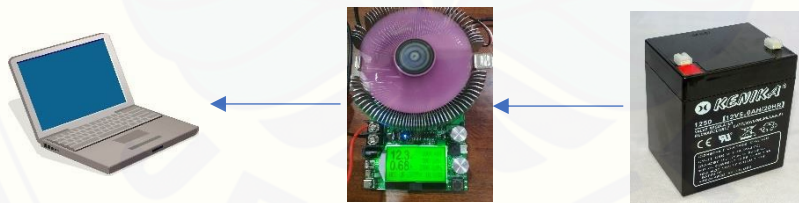
3.4.2 Software

Gambar 3.4 Diagram alir perancangan *software*

Dapat dilihat pada diagram alir yang ditunjukkan dalam Gambar 3.4 sistem penelitian diawali dengan pembacaan tegangan pada baterai VRLA, kemudian setelah didapatkan nilai tegangan pada kapasitas baterai 3 Ah, 5 Ah dan 7 Ah dilanjutkan dengan menghitung nilai SOC riil yang dapat digunakan untuk mendapatkan fungsi persamaan regresi polinomial. Penentuan regresi polinomial menggunakan perangkat lunak Matlab berdasarkan SOC riil dan tegangan pada baterai VRLA. Setelah mendapatkan fungsi regresi polinomial pada kapasitas baterai 3 Ah, 5 Ah dan 7 Ah, kemudian memasukkan ke fungsi regresi polinomial yang didapatkan dari program perangkat lunak Matlab ke dalam program Arduino. Dari proses yang dilakukan di dalam Arduino, maka nilai tegangan dan SOC pada kapasitas baterai 3 Ah, 5 Ah dan 7 Ah akan ditampilkan di dalam LCD.

3.4.3 Sistem Pengujian Kapasitas Baterai dengan Kondisi *Discharge*

Pengujian *discharge* menggunakan laptop sebagai media penyimpanan data dalam bentuk *excel*. Pada pengujian kondisi *discharge* ini menggunakan metode konstan *current*, dengan beban yang digunakan yaitu sebesar 10% dari kapasitas yang diuji. Batas tegangan pada pengujian ini sebesar 11,4 Volt.



Gambar 3.5 Sistem Pengujian dengan kondisi *discharge*

3.5 Tahap Pengambilan Data

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu kodengan melakukan pengujian pada baterai *lead acid* dengan menggunakan variasi pembebanan. Pembebanan yang dilakukan pada proses *discharge*, pembebanan yang dimaksudkan yaitu dengan menggunakan arus yang konstan saat proses *discharge*. Berikut perhitungan arus yang digunakan pada proses pengujian:

$$\text{Persentase pembebanan} \times \text{kapasitas baterai} = \text{Beban} \dots\dots\dots(3-1)$$

Pengujian pada baterai *lead acid* yang digunakan dengan keadaan awal baterai yang berbeda yaitu pada baterai 3 Ah sebesar 12,3 V, baterai 5 Ah sebesar 12,6 V dan baterai 7 Ah sebesar 12,4 V. Variasi kapasitas baterai juga di lakukan dalam pengujian ini, kapasitas yang digunakan yaitu 3 Ah, 5 Ah, dan 7 Ah.

Setelah diperoleh data tegangan dan arus saat pengujian, dilakukan perhitungan untuk mengetahui kapasitas terpakai (Ah) dan kapasitas riil baterai (Ah) serta mengetahui berapa lama kapasitas pada baterai tersebut habis. Perhitungan tersebut diperlukan untuk mengetahui *state of charge* pada baterai. Untuk energi yang dikeluarkan oleh baterai dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan:

$$E = P \times t \dots\dots\dots(3-2)$$

Keterangan :

E : Energi (Joule)

P : Daya (Watt)

t : Waktu (s)

Dari perhitungan energi yang telah diketahui maka dapat digunakan untuk mencari energi dalam satuan *watt-hour* (Wh) menggunakan persamaan :

$$E (Wh) = \frac{E (Joule)}{3600} \dots\dots\dots(3-3)$$

Dari perhitungan energi dalam satuan *watt-hour* (Wh) yang telah diketahui maka dapat digunakan untuk mencari energi atau kapasitas yang digunakan yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$E (Ah) = \frac{E (Wh)}{\text{Tegangan maksimal baterai}} \dots\dots\dots(3-4)$$

Keterangan : Tegangan maksimal baterai 12,3 Volt

Dari Ah riil yang telah di ketahui maka dapat menghitung nilai SOC. Dengan menggunakan persamaan:

$$SOC = \left(\frac{Ah \text{ riil} - Ah \text{ Nominal}}{Ah \text{ riil}} \times 100 \% \right) \dots\dots\dots(3-5)$$

Dari perhitungan SOC pada kapasitas baterai 3 Ah, 5 Ah dan 7 Ah tersebut akan dibuat grafik perbandingan antara nilai SOC terhadap waktu pada masing-

masing kapasitas baterai yang diuji, kemudian membuat grafik perbandingan antara nilai SOC terhadap waktu pada penggabungan dari ketiga kapasitas baterai VRLA yang diuji. Perbandingan antara nilai SOC terhadap waktu bertujuan untuk dapat mengetahui berapa lama kapasitas baterai tersebut akan habis. Selain itu juga membandingkan hasil dari SOC riil dengan SOC hasil dari regresi polinomial pada masing-masing kapasitas baterai 3 Ah, 5 Ah dan 7 Ah.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil data penelitian, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Estimasi SOC pada baterai VRLA didapatkan dari hasil pengukuran dan perhitungan, sehingga diperoleh nilai SOC terhadap waktu. Pada baterai 3 Ah dengan SOC baterai sebesar 80% dapat bertahan 5.2 jam, dengan kapasitas yang tertera pada name plate sebesar 3 Ah dan kapasitas riil baterai sebesar 2,05 sehingga kapasitas baterai mengalami penurunan sekitar 31,97%.
2. Performa dari *polynomial regression* jika dilakukan secara terpisah memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan cara digabungkan, karena batas tegangan maksimum pada setiap baterai yang berberda sehingga hasil SOC juga berbeda. Ketika penggabungan ketiga baterai diperoleh *polynomial regression* dengan nilai error persen sebesar 12,02%, sedangkan *polynomial regression* kapasitas baterai 3 Ah, 5 Ah dan 7 Ah masing-masing memiliki nilai error persen sebesar 1,38%, 1,60% dan 1,06%.

5.2 Saran

Saran yang dianjurkan untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut ke depan dengan harapan mampu memperbaiki kekurangan dan mendapatkan hasil yang lebih maksimal ialah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian dengan siklus *charge* baterai
2. Menggunakan metode lain selain metode *polynomial regression*

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad Faiz Farizy, D. A. 2016. Desain Sistem Monitoring *State Of Charge* Baterai. *JURNAL TEKNIK ITS*. 5(2): 2301-921.

IEEE Standarts Association. “*IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationery Applications*”. IEEE std 450.2010.

Ng, K. S., C. S. Moo, Y. P. Chen, dan Y. C. Hsieh. 2009. Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries. *Applied Energy* 86. 1506–1511.

Nieto, P. J. G., E. García Gonzalo, dan J. C. Viera Pérez. 2015. A new predictive model for the state-of-charge of a high power lithium-ion cell based on a PSO optimized multivariate adaptive regression splines approach. *IEEE*. 1-12.

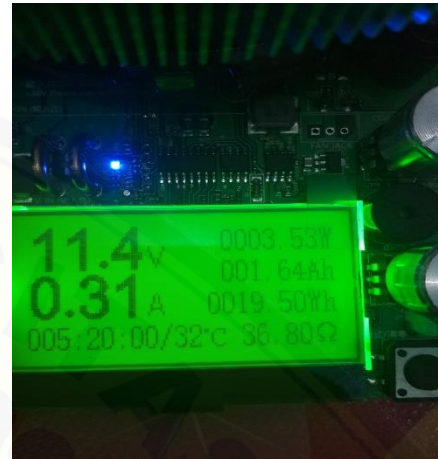
Nugraha, N. Regresi Polinomial Lokal. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.

Santhanapoongodi, R., dan Dr. V. Rajini. 2016. A New State of Charge Estimation Algorithm for Lead Acid Battery. International Conference on Computation of Power, Energy Information and Communication. *ICCPEIC*. 326-330.

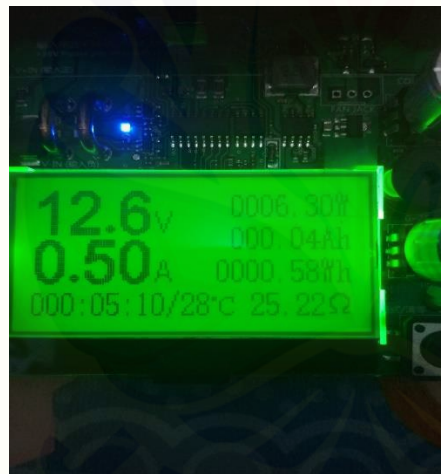
LAMPIRAN

A. Tampilan pengujian Discharge

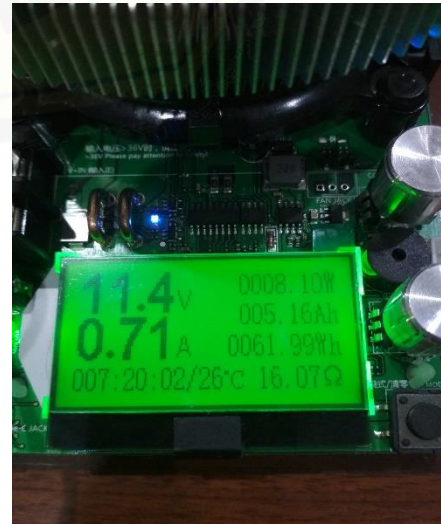
1. Kapasitas 3 Ah beban 10 %



2. Kapasitas 5 Ah Beban 10 %



3. Kapasitas 7 Ah beban 10%



B. Listing Program Arduino Uno

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <math.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); //LCD I2C dengan alamat 0x27, LCD
16x2

float Voltage = 0; //Variabel tegangan
float SOC = 0; //Variabel SOC
char msgShow1[21], msgShow2[21];
float dev = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  lcd.print("Starting");
  delay(200);
}

//Program utama
void loop()
{
  SVoltage(); //Baca program tegangan
  toSOC(); //Baca program SOC
  Show(); //Tampilkan data
}
```

```
//Program baca tegangan
void SVoltage() {
    Voltage = 0; //Reset variabel Voltage agar bernilai 0 sebelum digunakan
    kembali

    //Teknik kalibrasi dengan rata - rata. 1000 adalah nilai iterasi 1000 kali
    for (int a = 0; a <= 1000; a++) {
        Voltage = Voltage + (analogRead(A0));
    }

    Voltage = 0.0127 * (Voltage / 1000) + 0.0264; //Rumus kalibrasi,
    Voltage/1000, nilai 1000 adalah nilai iterasi
    Serial.print(Voltage); //Cetak nilai tegangan ke serial
    Serial.print("|"); //Cetak pembatas "|" ke serial
    dev = (Voltage - 11.9) / 0.3317;
    Serial.print(dev);
    Serial.print("|"); //Cetak pembatas "|" ke serial
}

//Program konversi Voltage to SOC
void toSOC() {
    //Keterangan :
    //untuk mengaktifkan rumus poly yang dipakai, hapus tanda "//" pada salah
    rumus yang diaktifkan dan berikan tanda "//" untuk menonaktifkan rumus

    //RUMUS (aktifkan salah satu)
    //SOC = -10.388 * pow(Voltage, 3) + 398.25 * pow(Voltage, 2) - 4986.3
    * Voltage + 20501;
    //Rumus regresi polynomial dari excel
```

```
//SOC = 0.01359 * pow(Voltage, 5) + (-0.3692) * pow(Voltage, 4) + 3.543
* pow(Voltage, 3) + (-14.23) * pow(Voltage, 2) + 22.7 * Voltage + (-10.31);
//Rumus poly5
//SOC = 0.0008617 * pow(Voltage, 6) + (-0.02117) * pow(Voltage, 5) +
0.1674 * pow(Voltage, 4) + (-0.3991) * pow(Voltage, 3) + (-0.3981) *
pow(Voltage, 2) + 2.852 * Voltage + (-4.29); //Rumus poly6
SOC = (-1.891) * pow(dev, 6) + (-0.8419) * pow(dev, 5) + 5.924 * pow(dev,
4) + 2.043 * pow(dev, 3) + -1.055 * pow(dev, 2) + 24.88 * dev +
55.61; //Rumus poly6 Baru
SOC = constrain(SOC, 0, 100); //Pembatas (konstrain) agar SOC tidak
lebih dari 100% dan tidak sampai minus apabila rumus regresi
menghasilkan <0
Serial.println(SOC); //Cetak nilai SOC ke serial
}

//Program cetak ke LCD
void Show() {
  lcd.setCursor(0, 0); //Set LCD ke titik 0,0 (paling atas)
  sprintf(msgShow1, "Volt: %d.%02d V", (int)Voltage, (int)(Voltage * 100)
% 100);
  lcd.print(msgShow1); //Untuk kode cetak tegangan ke LCD
  lcd.setCursor(0, 1); //Set LCD ke titik 0,1 (paling bawah)
  sprintf(msgShow2, "SOC : %d.%02d %%", (int)SOC, (int)(SOC * 100) %
100);
  lcd.print(msgShow2); //Untuk kode cetak SOC ke LCD
  delay(200);
}
```

1. Hasil percobaan persamaan polynomial pada baterai 7 Ah

