



**UJI KARAKTERISTIK BATERAI *LITHIUM-ION*
TERHADAP VARIASI PEMBEBANAN**

SKRIPSI

Oleh :

RIZKY DWI PRAWIRA

NIM 141910201013

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**UJI KARAKTERISTIK BATERAI *LITHIUM-ION*
TERHADAP VARIASI PEMBEBANAN**

SKRIPSI

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

Oleh :

RIZKY DWI PRAWIRA

NIM 141910201013

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Atas berkat rahmat Allah Subhanahu Wa Ta'ala sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati saya persembahkan skripsi ini kepada.

1. Kedua orang tua, Bapak Mutaqin Lahili dan Ibu Rini Puspitaningsih;
2. Kakak Novellita Sicilia Anggraeni;
3. Guru-guru dan dosen sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
4. Almamater tercinta, Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
5. Tim Mobil Listrik "TITEN" Universitas Jember;

MOTTO

Tuhan tidak menuntut kita untuk sukses
Tuhan hanya menyuruh kita berjuang tanpa henti
(Emha Ainun Nadjib)

The real mood booster is Responsibility
Tanggung jawab terhadap komitmen, Tanggung jawab terhadap diri sendiri,
Tanggung jawab terhadap profesi dan Tanggung jawab kepada mereka yang kita
cintai
(Erik Soekamti)

Perjuangkanlah apa yang seharusnya menjadi hakmu dan lakukanlah apa yang
seharusnya menjadi kewajibanmu.
(Rizky Dwi Prawira)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rizky Dwi Prawira

NIM : 141910201013

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Uji Karakteristi Baterai *Lithium-Ion* Terhadap Variasi Pembebanan” 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 dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Oktober 2018

Yang menyatakan

Rizky Dwi Prawira

NIM 141910201013

SKRIPSI

UJI KARAKTERISTIK BATERAI *LITHIUM-ION* TERHADAP VARIASI PEMBEBANAN

Oleh :

Rizky Dwi Prawira

NIM 141910201013

Pembimbing :

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Uji Karakteristik Baterai *Lithium-Ion* Terhadap Variasi Pembebanan" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari : Senin

Tanggal : 01 Oktober 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.

NIP 197106141997021001

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

NIP 197104022003121001

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP 197008261997021001

Supriyadi Prasetyono, S.T., M.T.

NIP 197004041996011001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.

NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Uji Karakteristik Baterai *Lithium-Ion* Terhadap Variasi Pembebanan; Rizky Dwi Prawira; 141910201013; 2018; 43 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Electric Vehicle (EV) merupakan kendaraan masa depan yang ramah lingkungan dan mampu menjawab problem kelangkaan cadangan minyak bumi di masa yang akan datang. Sistem penyimpanan energi merupakan unit utama pada *Electric Vehicle* (EV) dan baterai adalah pilihan utama untuk sistem penyimpanan energi. Pengembangan sistem penyimpanan energi pada *Electric Vehicle* (EV) sudah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai macam jenis baterai. Pemilihan baterai pada *Electric Vehicle* (EV) harus memiliki karakteristik yang khusus salah satunya memiliki *power density* yang besar. Diantara teknologi baterai yang digunakan pada *Electric Vehicle* (EV) kandidat yang paling menjanjikan yaitu baterai *lithium-ion*, yang juga pada era ini dianggap sebagai pilihan yang paling cocok untuk pengembangan *Electric Vehicle* (EV). Baterai jenis *lithium-ion* kini dipilih sebagai penyimpanan energi pada *Electric Vehicle* (EV) dikarenakan *power density* dan *energy density* yang lebih besar dibandingkan baterai jenis lain.

Pengembangan *Electric Vehicle* (EV) dengan menggunakan baterai *lithium-ion* terus dilakukan saat ini tanpa mempertimbangkan kapasitas *real* pada baterai *lithium-ion* yang ada di pasaran. Pengujian pada baterai *lithium-ion* yang akan digunakan pada *Electric Vehicle* (EV) perlu dilakukan karena untuk penyesuaian kondisi baterai secara *real* dengan *Electric Vehicle* (EV) yang akan dikembangkan. Dari permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian tentang karakteristik baterai guna mengetahui kapasitas *real* pada baterai yang digunakan. Penelitian tersebut diperlukan untuk mendapatkan karakteristik baterai yang akan digunakan pada *Electric Vehicle* (EV).

Tahapan yang dilakukan pada penelitian kali ini yaitu yang pertama membuat baterai pack yang akan diuji dengan kapasitas 3Ah, 6Ah dan 9Ah dengan tegangan nominal 18,5 volt setiap pack. Selanjutnya membuat data logger sistem monitoring dengan interface menggunakan software Visual Basic. Mempersiapkan beban yang digunakan dalam pengujian baterai dengan menggunakan kawat niklin 1 meter (0,7mm). Selanjutnya membuat relay pemutus sebagai proteksi saat over voltage dan under voltage dan yang terakhir membuat sistem charging untuk mengisi baterai setelah proses pengujian dilakukan.

Penelitian ini dilakukan beberapa pengujian antara lain pengujian sensor tegangan, pengujian sensor arus, pengujian sensor suhu dan pengujian relay pemutus. Hasil dari pengujian sensor sendiri didapatkan error persen yang rendah sehingga dapat dikatakan bahwa sensor memiliki keakuratan yang tinggi. Pada pengujian baterai sendiri beban yang digunakan berupa arus dengan besar beban 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% pada setiap kapasitas yang diuji. Selain pengujian variasi pembebanan yang dilakukan pada baterai kapasitas 3Ah pack 1 dilakukan pengujian kinerja baterai dengan cara dilakukan pengujian ulang pada setiap pembebanan. Hasil dari pengujian variasi pembebanan didapatkan bahwa semakin besar beban yang diberikan maka kapasitas baterai yang digunakan semakin kecil pada baterai kapasitas 3Ah kapasitas terpakai pada beban 10% sebesar 1,419 Ah dan pada beban 50% kapasitas yang terpakai sebesar 0,778Ah. Pada kapasitas 6Ah beban 30% kapasitas terpakai sebesar 1,965Ah dan beban 40% kapasitas terpakai sebesar 1,503Ah. Pengujian kinerja baterai didapatkan pada pengulangan pemakaian berpengaruh terhadap kapasitas terpakai baterai pada beban 20% kapasitas terpakai pada pengujian 1 sebesar 1,491Ah dan pada pengujian 2 sebesar 1,351Ah. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa kapasitas spesifikasi baterai tidak sama dengan spesifikasi real pada proses pengujian.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Bambang Srikaloko, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T dan bapak Dr. Bambang Srikaloko, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan kritik serta saran yang membangun dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Bapak Nur Qoyim selaku pembimbing dalam berjalannya penelitian ini serta teman-teman yang sudah membantu dalam proyek penelitian ini
6. Kedua Orang tua saya Bapak Mutaqin Lahili dan Ibu Rini Puspitaningsih, yang telah memberikan dukungan baik dukungan psikis maupun dukungan materil.
7. Kakak tercinta Novellita Sicilia Anggraeni yang selalu memberi semangat serta mendukung pekerjaan yang saya lakukan.
8. Keluarga besar Tim Mobil Listrik "TITEN" Universitas Jember yang telah memberikan arti sesungguhnya sebagai mahasiswa. Terus berkarya tunjukkan bahwa Universitas Jember BISA.

9. Agung, Ihsan, Agil, Helmi, Aji, Apik, Arip, Yoga dan Iqbal yang telah menjadi saudara seperjuangan, tetap berjuang dan tetaplah menjadi "Anak Sholeh" yang berguna bagi orang tua dan negaramu.
10. Kharis, Faza, Mahe, Kukuh, Thofiq, Andre dan Andri yang telah menjadi teman bertukar pendapat dan beradu argumen.
11. Keluarga besar Teknik Elektro 2014 yang telah banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
12. Keluarga KKN 32 Desa Clarak Leces. Terimakasih atas pengalaman yang telah diberikan serta semangat yang diberikan secara tidak langsung, semoga kekeluargaan ini masih bisa terjalin sampai nanti.
13. Faiqotul Azmi sebagai orang terdekat saya yang selalu memberi dukungan dan motivasi serta meluangkan waktu untuk membantu saya.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya;

Jember, 01 Oktober 2018

Penulis

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
SKRIPSI.....	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	17
1.1 Latar Belakang	17
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Baterai Lithium-Ion.....	6
2.1.1 Karakteristik Baterai <i>Lithium-ion</i>	6

2.1.2 Perbandingan Baterai <i>Lithium-ion</i> dengan Jenis Lain	6
2.2 Arduino Uno R3	7
2.3 RTC	9
2.4 Sensor Arus ACS 712	9
2.5 Sensor Tegangan	10
2.6 Negative Temperature Coefficient	11
2.7 <i>Relay</i>	12
2.8 Data Logger.....	13
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN	15
3.1 Tahapan Penelitian	15
3.2 Perancangan Sistem.....	16
3.2.1 Sistem Pengujian <i>Charge</i>	16
3.2.2 Sistem Pengujian <i>Discharge</i>	17
3.3 Perancangan Baterai	18
3.4 Perancangan Alat.....	21
3.4.1 <i>Data Logger</i>	21
3.4.2 <i>Relay</i> Pemutus.....	22
3.5 Perancangan Beban	23
3.6 Tahap Pengujian	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Pengujian Sensor	25
4.1.1 Pengujian Sensor Arus ACS712	25
4.1.2 Pengujian Sensor Tegangan.....	27
4.1.3 Pengujian Sensor Suhu NTC	30
4.2 Pengujian <i>Relay</i> Proteksi / <i>auto cut off</i>	31

4.3	Pengujian Baterai	32
4.3.1	Hasil Perhitungan Kapasitas <i>Discharge</i>	33
4.3.2	Hasil Perhitungan Kapasitas <i>Charge</i>	38
4.3.3	Analisa Pengujian <i>Charge-Discharge</i>	41
4.3.4	Analisa Kapasitas Baterai	42
4.3.5	Pengujian Kinerja Baterai	43
BAB 5.	PENUTUP	45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran.....	46
DAFTAR	PUSTAKA	47
LAMPIRAN	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur baterai <i>Lithium-ion</i> [3]	6
Gambar 2.2 Bentuk Fisik Arduino Uno R3 (www.Arduino.cc)	7
Gambar 2.3 Modul RTC (<i>Realtime clock</i>) DS3231	9
Gambar 2.4 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712	10
Gambar 2.5 Sensor Tegangan DCT-Elektronik	10
Gambar 2.6 <i>Negative Temperature Coefisien</i>	11
Gambar 2.7 Karakteristik <i>Negative Temperature Coefisien</i>	12
Gambar 2.8 Rangkaian <i>Negative Temperature Coefisien</i>	12
Gambar 2.9 Modul <i>Relay</i>	13
Gambar 2.10 Data Logger (Sumber : Setiaji, 2016)	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.2 Diagram Blog Pengujian <i>Charge</i>	16
Gambar 3.3 Diagram Blog Pengujian <i>Discharge</i>	17
Gambar 3.4 Baterai Kapasitas 3 Ah	19
Gambar 3.5 Baterai Kapasitas 6 Ah	20
Gambar 3.6 Baterai Kapasitas 9 Ah	20
Gambar 3.7 Data Logger	21
Gambar 3.8 Tampilan Monitoring	22
Gambar 3.9 <i>Relay</i> Pemutus	22
Gambar 3.10 Beban Heater	23
Gambar 4.1 Grafik Pengujian Sensor Arus	26
Gambar 4.2 Proses Pengujian Sensor Arus	27
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Sensor Tegangan	29
Gambar 4.4 Proses Pengujian Sensor Tegangan	29
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Sensor Suhu	30
Gambar 4.6 Peletakan Sensor Suhu Pada Proses Penelitian	31
Gambar 4.7 Proses Pengujian Baterai	33

Gambar 4.8 Grafik Karakteristik Kapasitas Baterai	43
Gambar 4.9 Grafik Pengulangan Pengujian.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koponen dan reaksi dalam baterai lithium-ion [3]	6
Tabel 2.2	Perbandingan Baterai <i>Lithium-ion</i> dengan Jenis Lain [3].....	7
Tabel 2.3	Spesifikasi Arduino Uno.....	8
Tabel 3.1	Spesifikasi Baterai <i>Lithium-Ion</i>	18
Tabel 3.2	Spesifikasi Baterai Pack.....	18
Tabel 3.3	Beban Pengujian	24
Tabel 4.1	Pengujian Sensor Arus	26
Tabel 4.2	Pengujian Sensor Tegangan.....	28
Tabel 4.3	Pengujian Sensor Suhu	30
Tabel 4.4	Pengujian <i>Relay</i> Proteksi	32
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan <i>Discharge</i> 3Ah	37
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan <i>Discharge</i> 6Ah	37
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan <i>Discharge</i> 9Ah	37
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan <i>Charge</i> 3Ah.....	40
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan <i>Charge</i> 6Ah.....	40
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan <i>Charge</i> 9Ah.....	40
Tabel 4.11	Perbandingan Pengujian Kapasitas 3Ah	41
Tabel 4.12	Perbandingan Pengujian Kapasitas 6Ah	42
Tabel 4.13	Perbandingan Pengujian Kapasitas 9Ah	42
Tabel 4.14	Data Pengulangan Pengujian	43

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Electric Vehicle (EV) merupakan kendaraan masa depan yang ramah lingkungan dan mampu menjawab problem kelangkaan cadangan minyak bumi di masa yang akan datang. Sistem penyimpanan energi merupakan unit utama pada *Electric Vehicle* (EV) dan baterai adalah pilihan utama untuk sistem penyimpanan energi [1]. Pengembangan sistem penyimpanan energi pada *Electric Vehicle* (EV) sudah banyak dilakukan dengan menggunakan berbagai macam jenis baterai. Pemilihan baterai pada *Electric Vehicle* (EV) harus memiliki karakteristik yang khusus salah satunya memiliki *power density* yang besar.

Diantara teknologi baterai yang digunakan pada *Electric Vehicle* (EV) kandidat yang paling menjanjikan yaitu baterai *lithium-ion*, yang juga pada era ini dianggap sebagai pilihan yang paling cocok untuk pengembangan *Electric Vehicle* (EV). Baterai jenis *lithium-ion* kini dipilih sebagai penyimpanan energi pada *Electric Vehicle* (EV) dikarenakan *power density* dan *energy density* yang lebih besar dibandingkan baterai jenis lain [2]. Baterai *lithium-ion* lebih unggul dalam hal nilai efisiensi dan daya densitas yang tinggi, yang memungkinkan untuk dirancang lebih ringan dan lebih kecil dalam hal ukuran serta berat. Dengan keuntungan lainnya dari baterai *lithium-ion* antara lain dapat dioperasikan dalam berbagai macam suhu, kemampuan *charge* cepat, tidak memiliki efek memori, siklus hidup yang relatif panjang dan tingkat *self-discharge* rendah [3].

Sisi lain dari keunggulan baterai *lithium-ion* yang digunakan pada *Electric Vehicle* (EV), baterai *lithium-ion* memiliki harga yang cukup mahal. Hal tersebut tidak menghambat para pengembang *Electric Vehicle* (EV) untuk terus berkarya. Kelebihan yang dimiliki baterai *lithium-ion* masih menjadikannya pilihan utama sebagai sistem penyimpanan energi pada EV dibandingkan baterai jenis *lead acid* yang lebih murah. Kondisi tersebut di manfaatkan para produsen baterai *lithium-ion* untuk terus men-*supply* baterai *lithium-ion* ke pasaran.

Pengembangan *Electric Vehicle* (EV) dengan menggunakan baterai *lithium-ion* terus dilakukan saat ini tanpa mempertimbangkan kapasitas *real* pada baterai *lithium-ion* yang ada di pasaran. Baterai yang digunakan untuk kendaraan listrik harus memiliki karakteristik listrik dan karakteristik kerja. Karakteristik listrik meliputi kapasitas baterai, arus baterai/laju *discharge*, pengisian *state of charge*, pemakaian baterai, efisiensi, daya dan energi suatu baterai [4]. Pengujian pada baterai *lithium-ion* yang akan digunakan pada *Electric Vehicle* (EV) perlu dilakukan karena untuk penyesuaian kondisi baterai secara *real* dengan *Electric Vehicle* (EV) yang akan dikembangkan. Kapasitas awal setiap sel (baterai) harus minimal 90% dari kapasitas dinilai (IEEE std. 450).

Performa baterai akan diketahui dengan baik saat mendapatkan beban yang statis dengan arus yang konstan, disisi lain penggunaan baterai pada *Electric Vehicle* (EV) menimbulkan keadaan beban yang bervariasi. Dari hal tersebut baterai yang digunakan pada *Electric Vehicle* (EV) mengalami kondisi beban yang bervariasi atau dengan arus yang tidak stabil sehingga performa baterai yang digunakan pada *Electric Vehicle* (EV) tidak dapat diketahui dengan baik. Sebuah tes kinerja di modifikasi adalah tes kapasitas baterai menggunakan arus konstan dimodifikasi dengan meningkatkan arus ke arus terikat dalam siklus (IEEE std. 450).

Baterai yang akan diterapkan pada *Electric Vehicle* (EV), perlu diketahui bagaimana karakteristik baterai yang akan di digunakan secara *real* sebagai penyesuaian pada *Electric Vehicle* (EV) yang akan dikembangkan. Dari permasalahan tersebut perlu dilakukan penelitian tentang karakteristik baterai guna mengetahui kapasitas *real* pada baterai yang digunakan. Penelitian tersebut diperlukan untuk mendapatkan karakteristik baterai yang akan digunakan pada *Electric Vehicle* (EV).

Pada penelitian ini akan melakukan pengujian pada baterai *lithium-ion* untuk mengetahui karakteristik baterai *lithium-ion* yang akan digunakan pada pengembangan *Electric Vehicle* (EV). Pengujian yang akan dilakukan menggunakan metode *time-adjusted* yang di rekomendasikan oleh IEEE std. 450 dengan sedikit modifikasi yang dilakukan. Kelebihan metode yang dilakukan

yaitu dapat mengetahui secara akurat karakteristik baterai *lithium-ion* yang akan di gunakan pada *Electric Vehicle* (EV). Sedikit penambahan pada metode ini yaitu dengan menambahkan variasi pembebanan pada proses *discharge* pada baterai *lithium-ion* sebagai data penyesuaian pada pengembangan *Electric Vehicle* (EV).

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi rumusan masalah diantaranya :

1. Bagaimana karakteristik baterai *lithium-ion* terhadap variasi pembebanan pada proses *discharge* baterai *lithium-ion*?
2. Bagaimana kapasitas *real* baterai *lithium-ion* terhadap variasi pembebanan?
3. Bagaimana kinerja baterai *lithium-ion* terhadap penggunaan yang berulang?

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 *lithium-ion* 3.7V 3000mAh 40A.
2. Menggunakan rangkaian baterai dengan tegangan 18.5V
3. Kapasitas yang diuji 3Ah, 6Ah dan 9Ah
4. Pembahasan dititik beratkan pada pengujian baterai *lithium-ion* dengan mengamati performa baterai *lithium-ion* saat *charge* dan *discharge* tentang daya pada baterai dan kapasitas *real* pada baterai.
5. Menggunakan beban RL yang berupa kawat niklin dengan panjang 1 meter (0.7 mm)
6. Menggunakan kontrol PWM pabrikan untuk mengatur arus keluaran *charger* saat proses pengisian dan arus keluaran baterai pada proses *discharge*.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki beberapa tujuan untuk dicapai sebagai pencapaian akhir sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik baterai lithium-ion terhadap variasi pembebanan pada proses *discharge*.
2. Mengetahui kapasitas real baterai *lithium-ion* terhadap variasi pembebanan
3. Mengetahui performa baterai *lithium-ion* terhadap pengulangan penggunaan

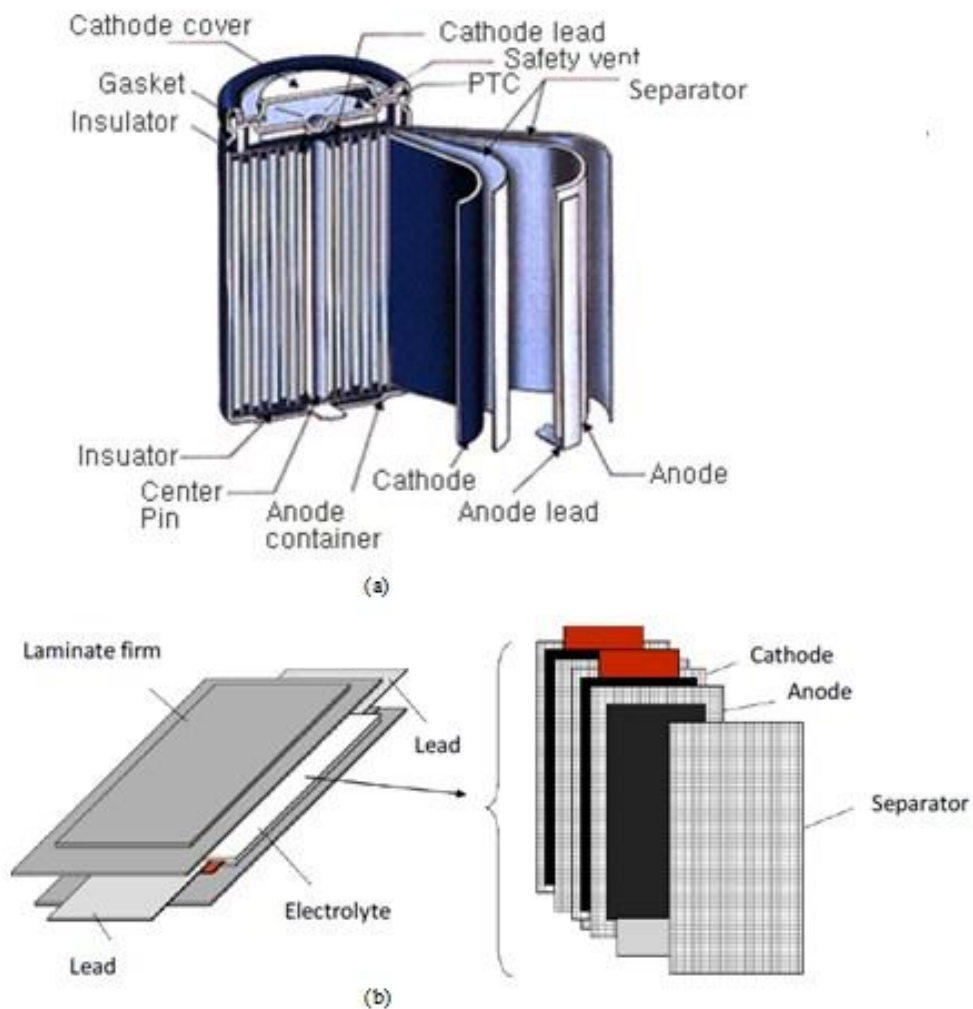
1.5 Manfaat Penelitian

Mengetahui karakteristik baterai *lithium-ion* yang ada di pasaran secara *real* sebelum digunakan pada pengembangan *Electric Vehicle* (EV). Dapat mengetahui penggunaan beban yang sesuai pada proses *discharge* baterai *lithium-ion*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai Lithium-Ion

Baterai *lithium-ion* merupakan salah satu jenis baterai yang banyak digunakan. Elektrode aktif pada baterai *lithium-ion* merupakan *lithium metal oxide* untuk elektrode positif sedangkan *carbon* pada elektrode negatif. Material ini menganut arus kolektor logam dengan bahan pengikat, berupa *polivinilidena flourida* (PVDF) atau *kopolimer polivinilidena flourida-hexafluoropropylene* (PVDF-HFP) dan penencer konduktif [2].



Gambar 2.1 Struktur baterai *Lithium-ion* [3]

2.1.1 Karakteristik Baterai *Lithium-ion*

Sel-sel baterai *lithium-ion* terdiri dari empat komponen utama: katoda, anoda, elektrolit dan pemisah. Tabel 1 menggambarkan komponen-komponen penting dengan fungsi dan bahan umum dan prinsip kerja reaksi elektrokimia dalam baterai *lithium-ion*. Bahan elektroda dalam baterai *lithium-ion* adalah *lithium metal oxide* untuk bahan katoda yang memiliki sebuah struktur terowongan pada arus kolektor aluminium dan *lithiated graphite* untuk bahan anoda yang memiliki struktur berlapis pada tembaga arus kolektor.

Tabel 2.1 Koponen dan reaksi dalam baterai lithium-ion [3]

Components	Operations	Materials
Cathode	Lithium ions enter the cathode when the battery discharges and leave when the battery charges	Lithium metal oxide powder
Anode	Lithium ions leave the anode when the battery discharges and enter the anode when the battery charges	Graphitic carbon powder
Electrolyte	The electrolyte allows transport of lithium ions between cathode and anode but not electrons	Lithium salts and organic solvents
Separator	The separator prevents short circuit between cathode and anode and only pass lithium ions through pores	Micro-porous membranes
Electrochemical reactions		
Cathode:	$\text{LiMO}_2 \xrightleftharpoons[\text{discharge}]{\text{charge}} \text{Li}_{1-x}\text{MO}_2 + x\text{Li}^+ + xe^-$	
Anode:	$\text{C} + x\text{Li}^+ + xe^- \xrightleftharpoons[\text{discharge}]{\text{charge}} \text{Li}_x\text{C}$	
Overall:	$\text{LiMO}_2 + \text{C} \xrightleftharpoons[\text{discharge}]{\text{charge}} \text{Li}_x\text{C} + \text{Li}_{1-x}\text{MO}_2$	

Dalam proses *discharge*, *lithium* di anoda terionisasi dan dipancarkan ke elektrolit. *Ion lithium* bergerak melalui pemisah dan kemudian masuk ke dalam lubang berukuran atom di katoda *lithium metal oxide*. Pada saat yang sama, elektron dilepaskan dari anoda. Hal ini menjadi perjalanan arus listrik ke beban eksternal. Selama pengisian siklus, *ion lithium* pergi dari katoda ke anoda melalui separator. Oleh karena itu, sel *lithium ion* dapat diisi ulang berdasarkan reaksi *reversible* yang terjadi.

2.1.2 Perbandingan Baterai *Lithium-ion* dengan Jenis Lain

Baterai *lithium-ion* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan jenis lain yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Perbandingan Baterai *Lithium-ion* dengan Jenis Lain [3]

Battery type	Lead-acid	Ni-Cd	Ni-MH	Lithium-ion
Energy density ^a (W/kg)	30-50	45 – 80	60-120	110-160
Power density ^b	180	150	250 – 1000	1800
Nominal voltage	2V	1.25V	1.25V	3.6V
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Very low
Self-discharge	Low	Moderate	High	Very low
Operating temperature	-20-60°C	-40-60°C	-20-60°C	-20-60°C
Cycle life ^c	200-300	1500	300-500	500-1000

a: Chargeable electric energy per weight of battery pack

b: Proportion of dischargeable electric energy to charged energy

c: The number of charging/discharging cycles in battery's entire life

2.2 Arduino Uno R3

Arduino uno merupakan perangkat elektronik dengan sistem *open source*. Arduino memiliki 14 pin *input/output* yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM, 6 *analog input*, *crystal osilator* 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, dan tombol *reset*.



Gambar 2.2 Bentuk Fisik Arduino Uno R3 (www.Arduino.cc)

Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibanding *board* mikrokontroler yang lain selain bersifat *open source*, arduino juga mempunyai bahasa pemrogramannya sendiri yang berupa bahasa C. Selain itu dalam *board* arduino sendiri sudah terdapat *loader* yang berupa USB sehingga memudahkan kita ketika memprogram mikrokontroler di dalam arduino. Papan Arduino adalah papan mikrokontroler berdasarkan ATmega328. Berikut adalah spesifikasi dari Arduino Uno :

Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (disarankan)	7-12V
Tegangan input (batas)	6-20V
Digital I/O	14 pin (dimana 6 output PWM)
Input Analog	6 pin
Arus DC per I/O	Pin 40 Ma
Arus DC untuk 3.3V	Pin 50 mA
Memori flash 32KB (ATmega328)	0.5 KB digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EPROM	1 KB (ATmega328)
Kecepatan <i>clock</i>	16 MHz

Diterjemahkan dari (Arduino Uno)

ATmega328 adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (*Reduce Intruction Set Computer*) dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat daripada arsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*).

Mikrokontroler ini memiliki beberapa fitur antara lain sebagai berikut :

- a. 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus *clock*.
- b. 32 x 8-bit register serba guna.
- c. Kecepatan mencapai 16 Mbps dengan *clock* 16MHz.
- d. 32 KB *flash memory* dan pada arduino memiliki *bootloader* yang menggunakan 2 KB dari *flash memory* sebagai *bootloader*.
- e. Memiliki EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1 KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanen karena EEPROM tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.
- f. Memiliki SRAM (*Static Random Acces Memory*) sebesar 2KB.
- g. Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya PWM (*Pulse Width Modulation*) output.
- h. *Master / Slave SPI serial interface*.
- i. Tegangan operasi sekitar 1,8 V sampai dengan 5,5V.

2.3 RTC

Realtime clock adalah komponen IC penghitung yang dapat difungsikan sebagai sumber data waktu baik berupa data jam, hari, bulan maupun tahun. Komponen tipe DS3231 dilengkapi dengan komponen pendukung seperti *crystal* sebagai sumber *clock* dan *Battery External* 3,6 Volt sebagai sumber energi cadangan agar fungsi penghitung tidak berhenti. Bentuk komunikasi data dari IC RTC adalah I2C yang merupakan kepanjangan dari *Inter Integrated Circuit* kecepatan frekuensi (400kHz). Tegangan kerja +2,3 Volt sampai +5,5 Volt. *Timekeeping Accuracy* 5ppm (0,432 Second/Day). Media komunikasi menggunakan 2 jalur komunikasi yaitu SCL dan SDA. Operating Temperatur Range : -40°C sampai +85 °C. Gambar 1.8 menunjukkan *hardware* dari RTC.

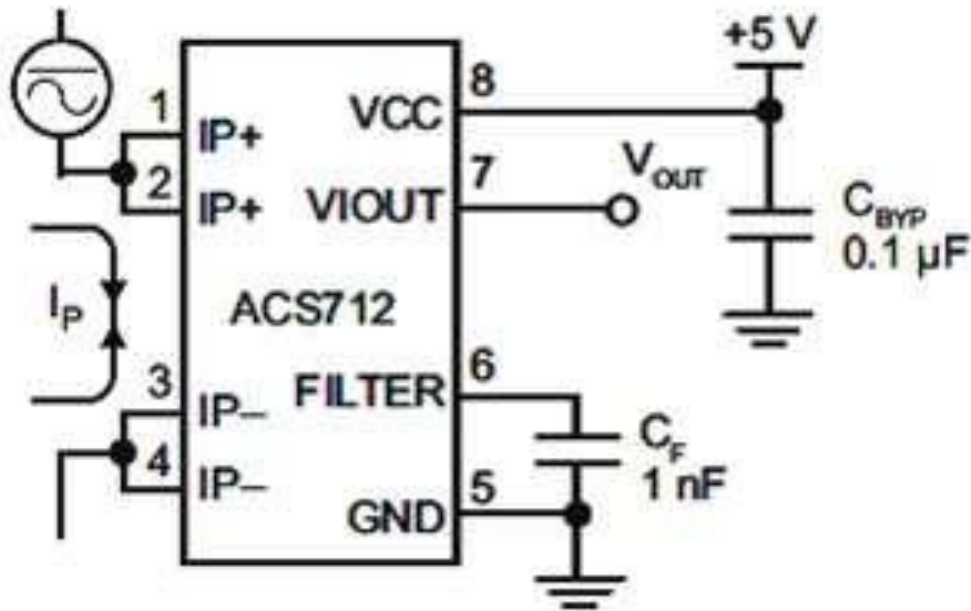


Gambar 2.3 Modul RTC (*Realtime clock*) DS3231

2.4 Sensor Arus ACS 712

ACS712 adalah sebuah modul sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ACS712 dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor arus ACS712 telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas untuk pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang relatif kecil. Sensor jenis ini juga sering digunakan pada aplikasi-aplikasi di bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi

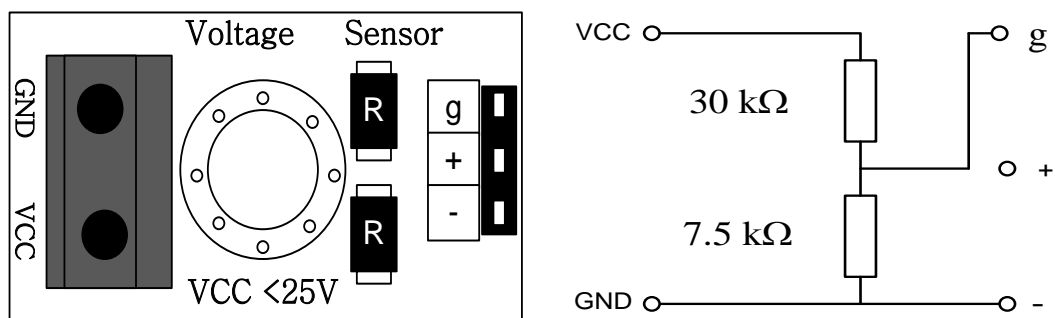
dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya.



Gambar 2.4 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712

2.5 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).



(a)

(b)

Gambar 2.5 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).

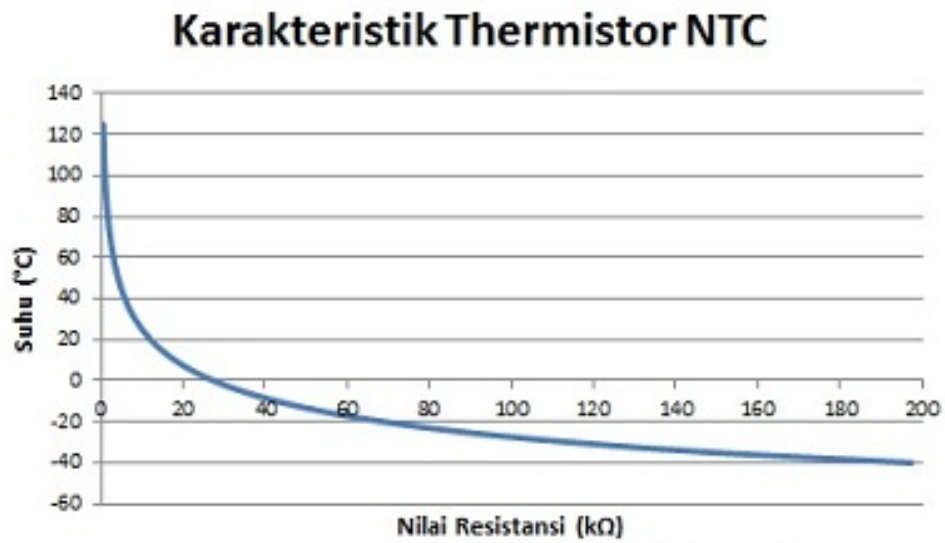
2.6 Negative Temperature Coefficient

NTC (*Negative Temperature Coefisien*) adalah resistor dengan koefisien temperatur negatif yang sangat tinggi. Termistor jenis ini dibuat dari oksida dari kelompok elemen transisi besi (misalnya FE_2O_3 , NiO CoO dan bahan NTC yang lain). Harga nominal biasanya ditetapkan pada temperatur 25 °C. Suhu yang dapat di deteksi dari *Negative Temperature Coefisien* antara -90°C sampai 130°C Perubahan resistansi yang diakibatkan oleh non linieritasnya ditunjukkan dalam bentuk diagram resistansi dengan temperature.

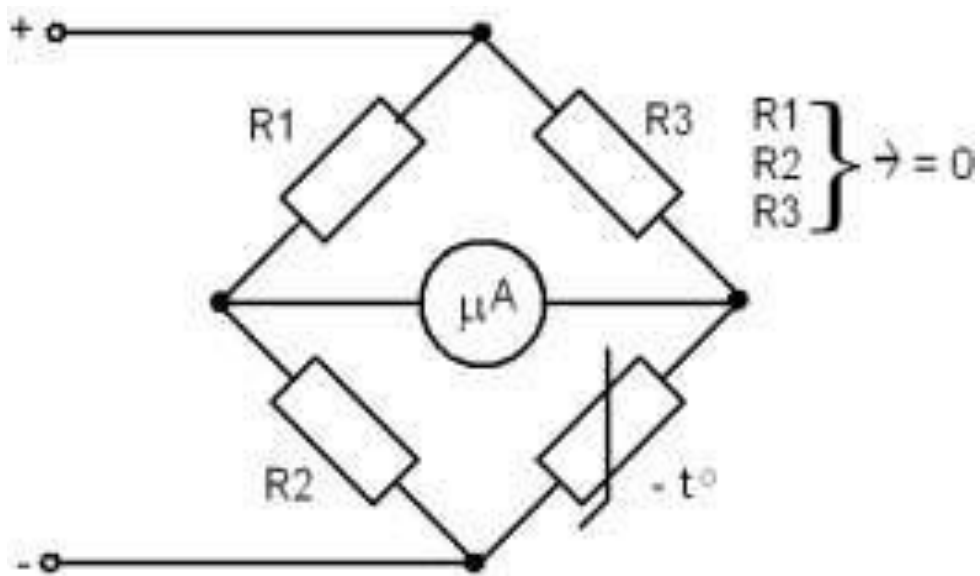


Gambar 2.6 *Negative Temperature Coefisien*

Negative Temperature Coefisien tersebut bernilai 10kΩ pada suhu ruangan (25°C), tetapi akan berubah seiring perubahan suhu disekitarnya. Pada -40°C nilai resistansinya akan menjadi 197.388kΩ, saat kondisi suhu di 0°C nilai resistansi NTC akan menurun menjadi 27.445kΩ, pada suhu 100°C akan menjadi 0.976kΩ dan pada suhu 125°C akan menurun menjadi 0.532kΩ. Karakteristik Thermistor NTC tersebut adalah seperti dibawah ini :



Gambar 2.7 Karakteristik *Negative Temperature Coefisien* (Sumber:Datasheet)



Gambar 2.8 Rangkaian *Negative Temperature Coefisien*

2.7 Relay

Relay adalah komponen elektronika yang berupa saklar atau switch elektrik yang dioperasikan menggunakan listrik. *Relay* juga biasa disebut sebagai komponen electromechanical atau elektromekanikal yang terdiri dari dua bagian utama yaitu coil atau elektromagnet dan kontak saklar atau mekanikal.

Komponen *relay* menggunakan prinsip elektromagnetik sebagai penggerak kontak saklar, terdapat dua kondisi awal saklar NC (*Normaly Close*) akan terhubung ketika coil mendapatkan arus listrik maka akan terputus berubah menjadi NO (*normaly open*) dan saklar kondisi awal NO (*Normaly Open*) ketika coil mendapatkan arus listrik maka akan terputus berubah menjadi NC (*normaly close*). sehingga dengan menggunakan arus listrik yang kecil atau *low power*, dapat menghantarkan arus listrik yang memiliki tegangan lebih tinggi. Berikut adalah gambar dan juga simbol dari komponen *relay* (Elektronika, 2016).



Gambar 2.9 Modul *Relay*

2.8 Data Logger

Data logger merupakan sistem yang berfungsi untuk merekam data ke dalam media penyimpanan data. Data logger memiliki kapasitas penyimpanan yang cukup besar sehingga data yang terekam dapat ditampilkan dalam grafik dengan durasi yang cukup lama. Sistem data logger ini dibangun dari modul arduino sebagai pengendalinya dan menggunakan SD Card sebagai media simpannya. Dengan media ini kita dapat menyimpan data yang sangat besar, layaknya sebuah hardisk yang diisi file teks / txt file. Kapasitas SD Card dalam data logger ini dapat menyimpan data selama 738 hari yang menyimpan data

perdetik melalui pembacaan data suatu sensor, mikrokontroler digunakan untuk pengendalian sistem kerja dari rangkaian (Setiaji, 2016).

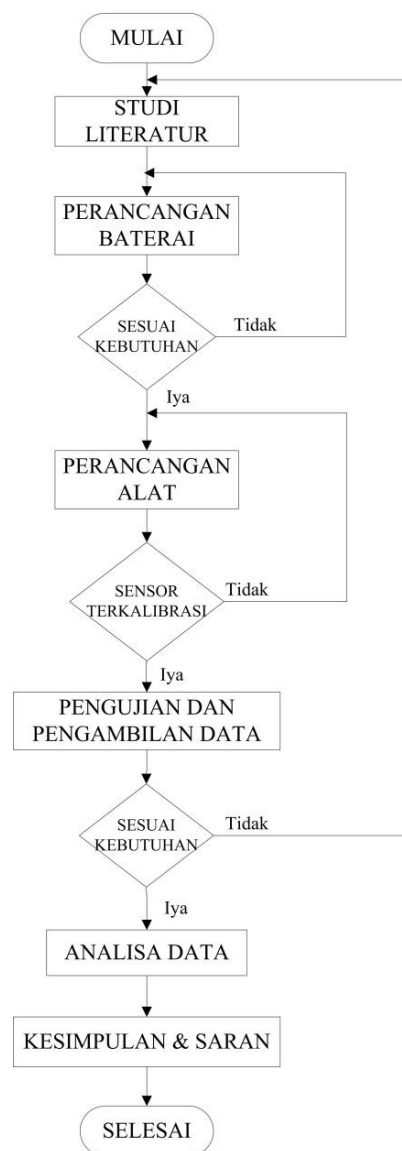


Gambar 2.10 Data Logger (Sumber : [Setiaji](#), 2016)

BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian ini, akan dijelaskan tentang tahapan penelitian, perancangan sistem, perancangan baterai, perancangan alat dan tahap pengujian.

3.1 Tahapan Penelitian



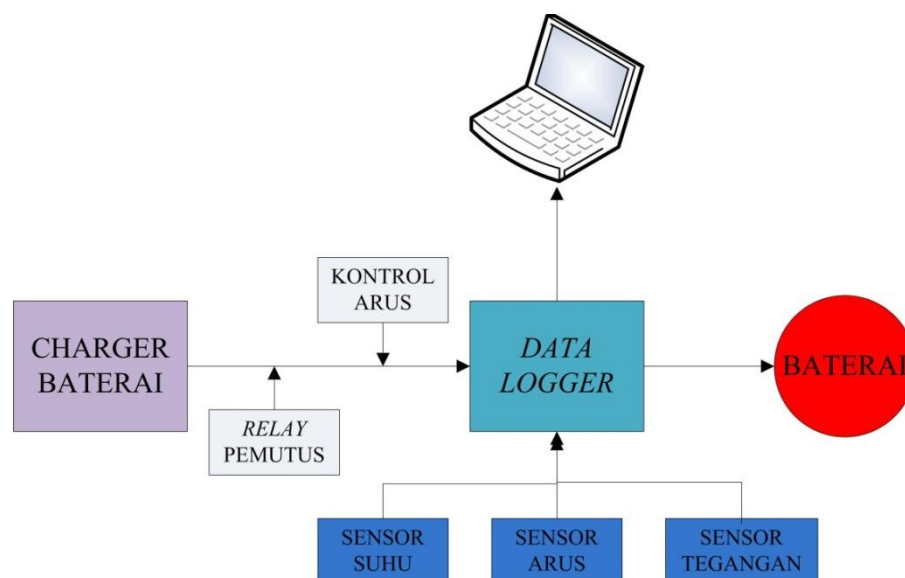
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melakukan perumasan masalah yang dilanjutkan dengan studi literatur terhadap topik penelitian, yakni mengenai karakteristik baterai *lithium-ion*. Kemudian tahap selanjutnya yaitu perancangan baterai yang akan digunakan pada penelitian dengan kapasitas 3 Ah, 6Ah dan 9Ah. Tahap selanjutnya yaitu perancangan alat, alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *data logger*, *relay* pemutus dan sistem *charging* baterai. Selanjutnya yaitu melakukan pengujian dan pengambilan data yang mana data yang diperoleh akan dihitung untuk mencari kapasitas baterai yang sudah diuji. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi pembebanan pada proses *discharge* baterai. Tahap berikutnya yaitu menganalisa data yang diperoleh dari kemudian lalu membuat kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan.

3.2 Perancangan Sistem

Pada penelitian ini dilakukan dua tahap pengujian. Pengujian pertama yaitu pengujian pada proses *charge* dan pengujian kedua yaitu pengujian pada proses *discharge*. Berikut adalah diagram blok pengujian yang dilakukan.:

3.2.1 Sistem Pengujian Charge

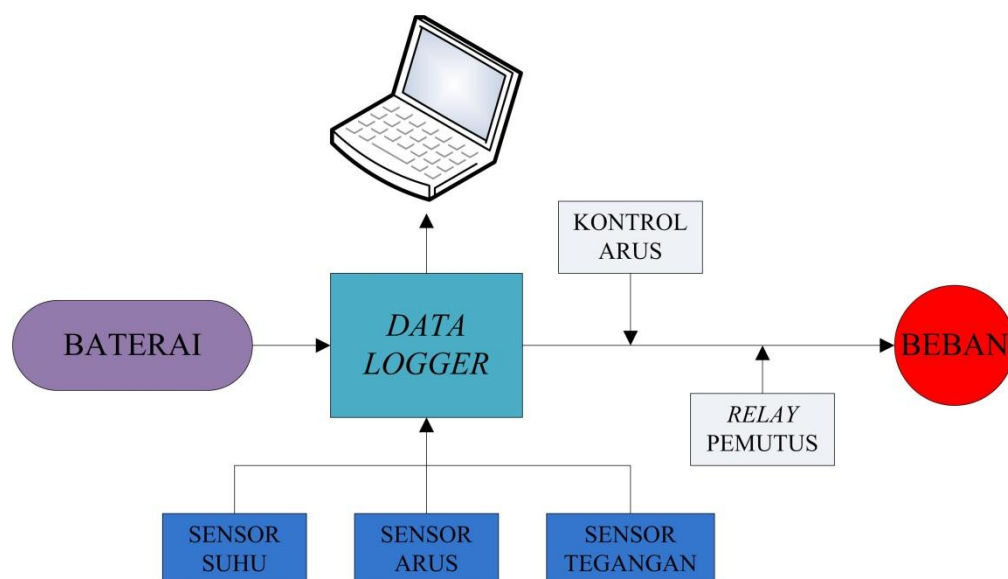


Gambar 3.2 Diagram Blok Pengujian Charge

Pada pengujian *charge* terdapat sistem *charging* baterai yang terdiri dari transformator 10 A (step down), diode bridge sebagai penyearah transformator dan kapasitor. Selanjutnya setelah sitem *charging* terdapat pengatur arus *charging* dengan menggunakan kontrol DC yang selanjutnya terhubung ke *relay* pemutus yang berfungsi sebagai pemutus tegangan yang telah ditentukan. Selanjutnya terdapat data logger yang berfungsi sebagai penyimpan data yang diperlukan dengan dikoneksikan ke perangkat laptop sebagai media monitoring serta penyimpanan dalam bentuk file excel. Pada pengujian *charge* menggunakan konstan current 10% dari setiap kapasitas baterai yang diuji. Batas tegangan yang digunakan pada pengujian ini sebesar 21 volt dengan baterai dianggap penuh.

3.2.2 Sistem Pengujian *Discharge*

Pengujian *discharge* menggunakan data logger sebagai penyimpan data yang dikoneksikan ke perangkat laptop sebagai media monitoring serta penyimpanan dalam bentuk file excel. Dari baterai yang diuji dilakukan kontrol arus keluaran baterai dengan menggunakan kontrol DC yang selanjutnya dihubungkan ke *relay* pemutus sebagai pemutus tegangan yang tersambung ke beban. Pada pengujian *discharge* ini menggunakan metode konstans current, dengan beban yang digunakan yaitu sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari kapasitas baterai yang diuji. Batas tegangan pada pengujian ini sebesar 15 volt.




Gambar 3.3 Diagram Blog Pengujian *Discharge*

3.3 Perancangan Baterai


Pada penelitian yang dilakukan menggunakan baterai *lithium-ion* sebagai objek dari penelitian. Adapun spesifikasi baterai yang digunakan yaitu :

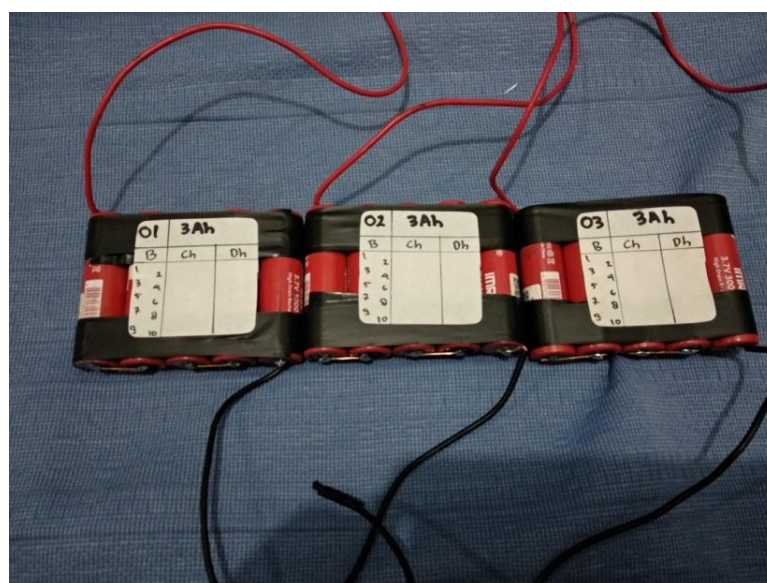
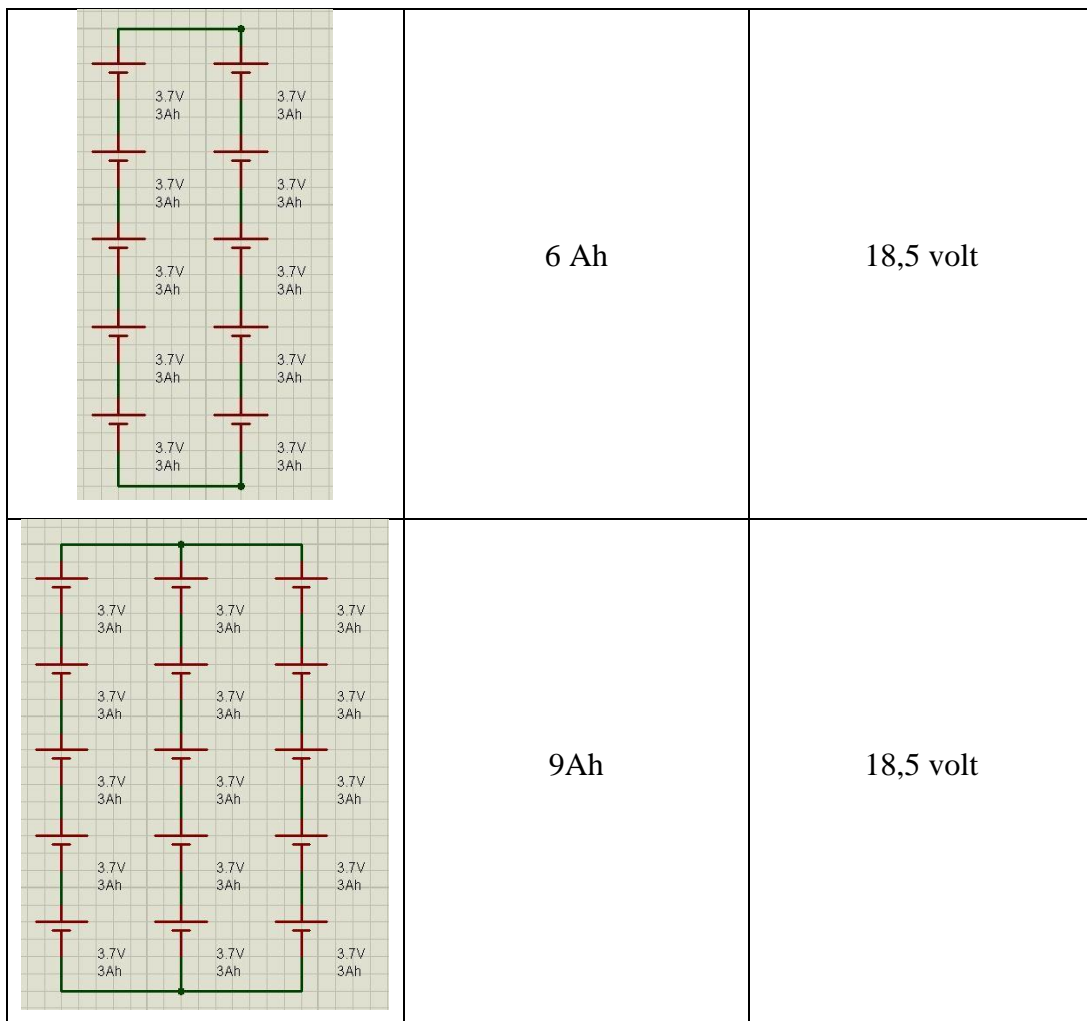
Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai *Lithium-Ion*

	SPESIFIKASI	
	Merek	AWT IMR18650
	Tegangan	3.7 volt
	Arus	40 A
	Kapasitas	3000 mAh
	Q	10 C

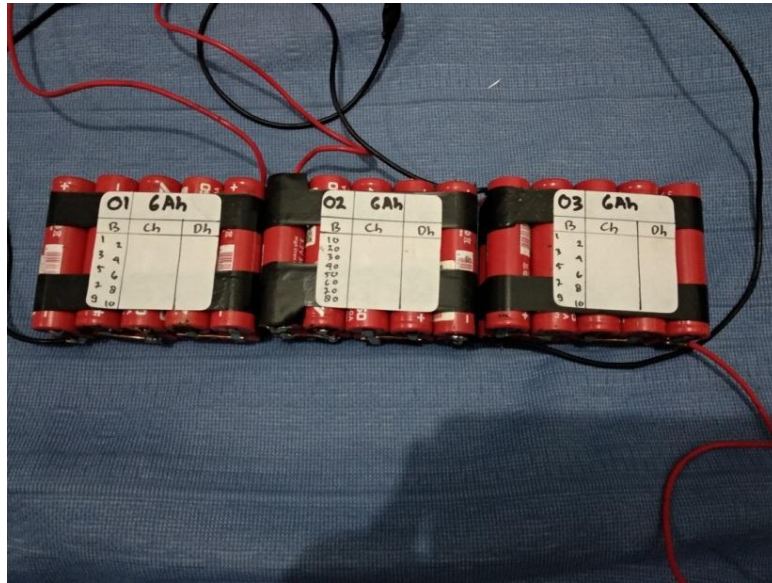
Pada penelitian ini baterai *lithium-ion* tersebut dirangkai seri sebanyak 5 sell sehingga mendapatkan atau mengeluarkan tegangan sebesar 18.5 volt. Untuk kapasitas baterai yang akan digunakan yaitu sebesar 3Ah, 6Ah dan 9 Ah. Pada kapasitas 3Ah baterai hanya perlu dirangkai secara seri. Pada kapasitas 6Ah baterai di rangkai seri 5 sell sebanyak 2 buah kemudian di rangkai parallel. Pada kapasitas baterai 9 Ah baterai dirangkai seri 5 sell sebanyak 3 buah kemudian dirangkai parallel.

Tabel 3.2 Spesifikasi Baterai Pack

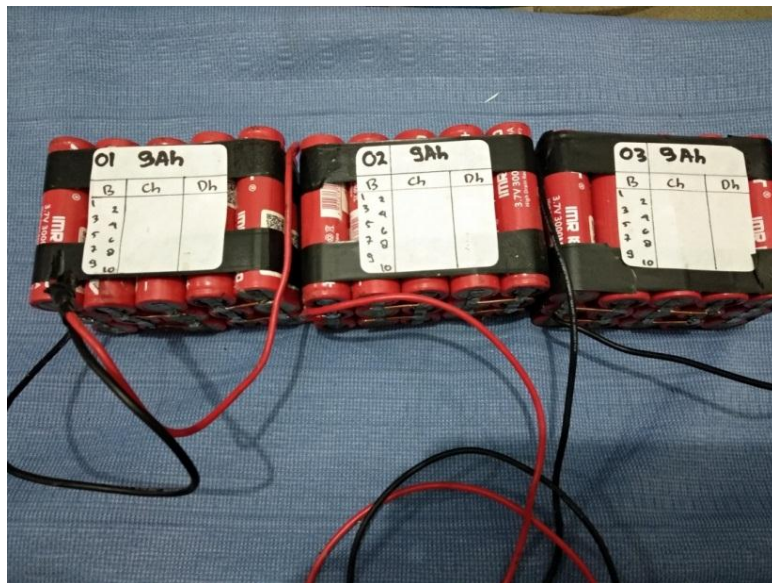
Rangkaian Baterai	Kapasitas (Ah)	Tegangan (Volt)
	3Ah	18,5 volt



Gambar 3.4 Baterai Kapasitas 3 Ah



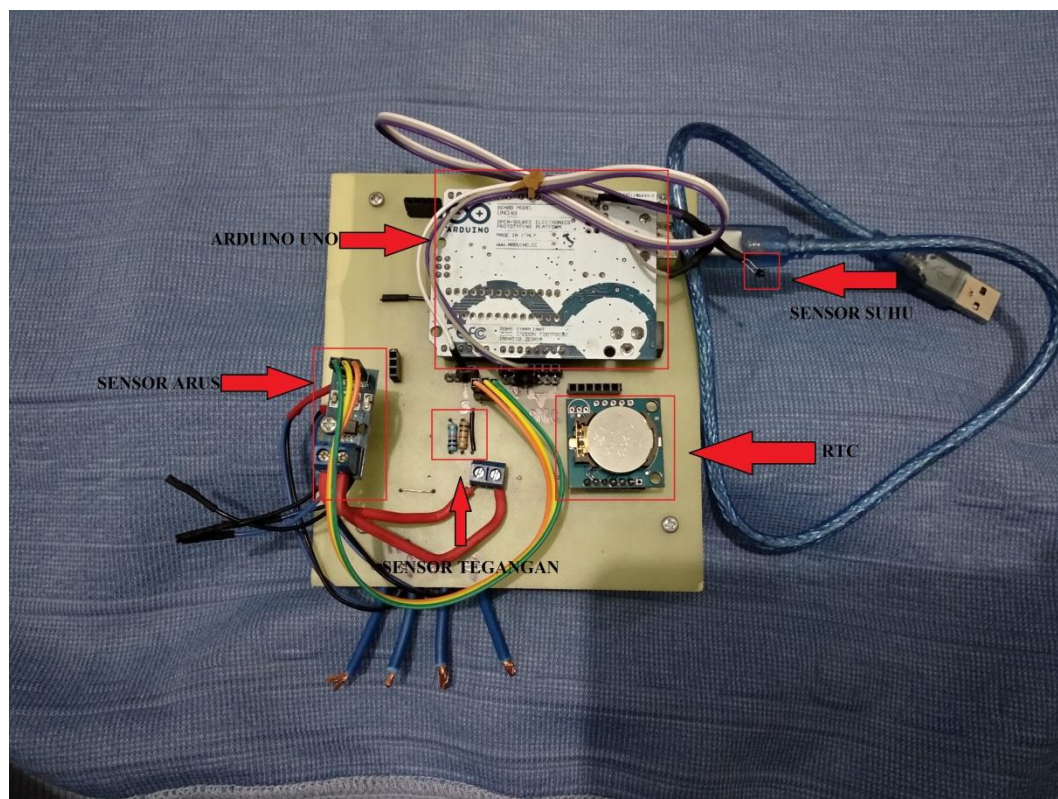
Gambar 3.5 Baterai Kapasitas 6 Ah



Gambar 3.6 Baterai Kapasitas 9 Ah

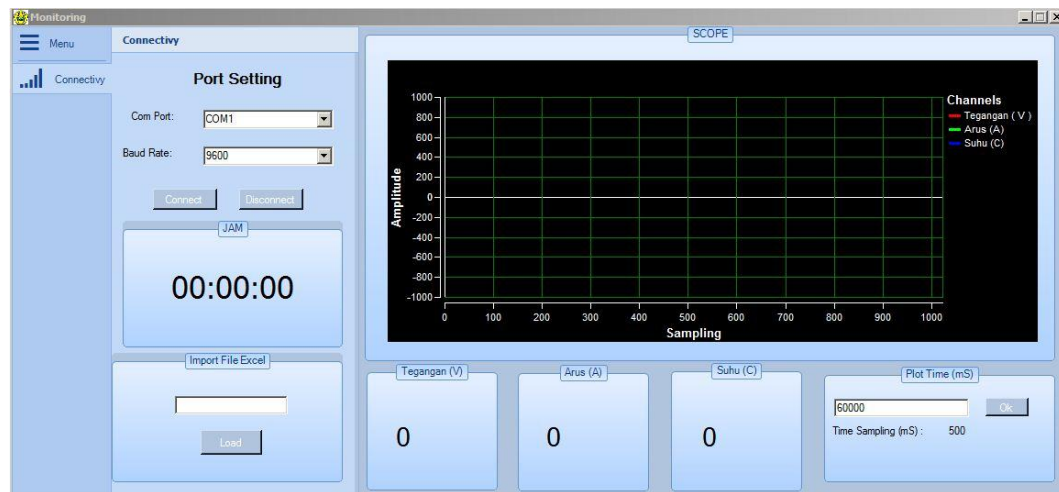
3.4 Perancangan Alat

3.4.1 Data Logger



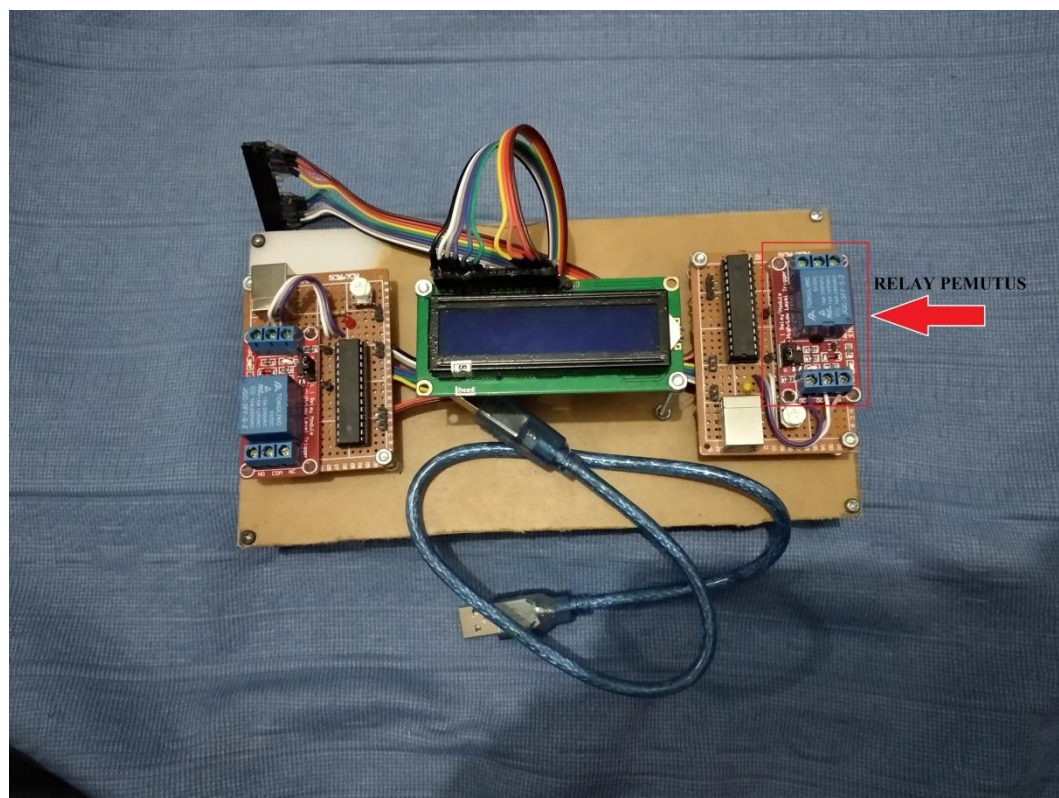
Gambar 3.7 Data Logger

Data logger yang digunakan menggunakan arduino sebagai mikrokontrolernya yang dikoneksikan ke perangkat laptop sebagai sistem monitoring dan penyimpanan data dalam bentuk file excel. Pada data logger yang digunakan terdapat tiga buah sensor yaitu sensor tegangan, arus dan suhu. Pada penelitian ini menggunakan software *Visual Basic* sebagai *interface* tampilan monitoring yang meliputi hasil pengukuran tegangan, arus dan suhu. Selain menampilkan data tersebut *software* juga dapat dilakukan penyimpanan data dalam bentuk file Microsoft excel sehingga data yang diperoleh dapat dilakukan analisa selanjutnya.



Gambar 3.8 Tampilan Monitoring

3.4.2 Relay Pemutus



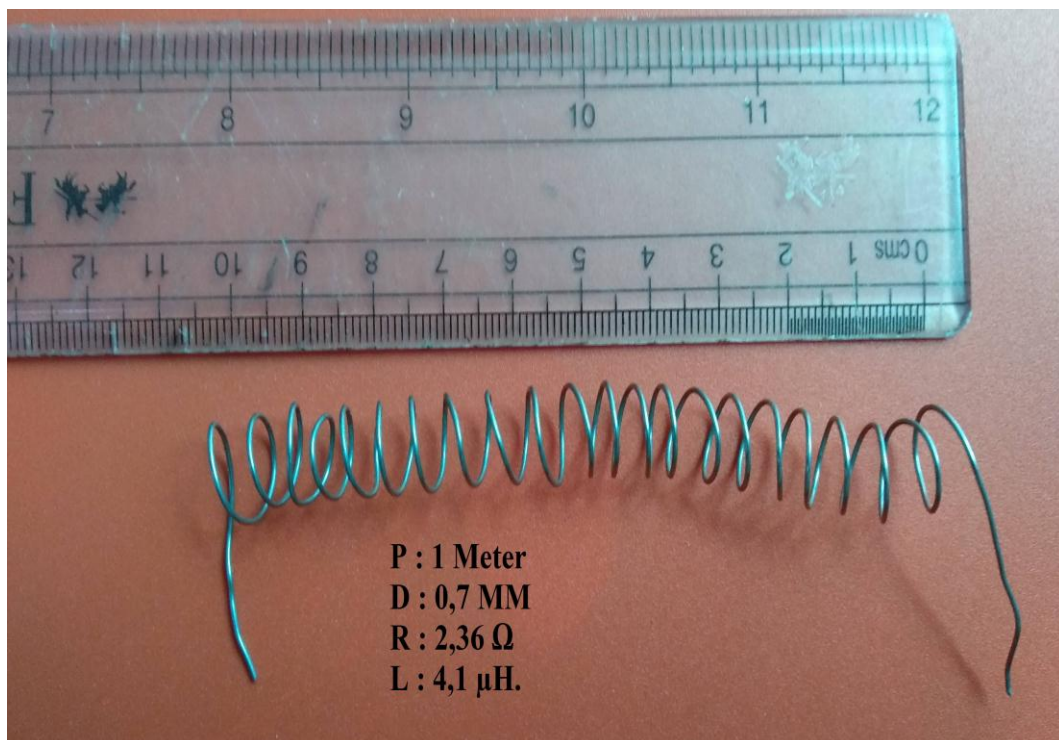
Gambar 3.9 Relay Pemutus

Relay pemutus digunakan guna memutus sistem pengujian saat tegangan yang telah ditentukan. Pada saat proses pengujian *charge* baterai *relay* memutus jika tegangan lebih dari 21,10 volt dan pada proses pengujian *discharge* *relay* memutus saat tegangan kurang dari 15 volt. Pada saat pengujian *charge* batas

tegangan yang digunakan yaitu sebesar 21 volt sehingga untuk *relay* pemutus yang digunakan pada saat pengujian *charge* di set dengan pemutus tegangan lebih dari sama dengan 21,10 volt. Pada pengujian *discharge* batas tegangan yang digunakan yaitu sebesar 15 volt sehingga untuk *relay* pemutus di seting dengan pemutus tegangan kurang dari sama dengan 15 volt.

3.5 Perancangan Beban

Pada penelitian ini beban yang digunakan yaitu berupa arus. Untuk mendapatkan arus beban digunakan sebuah tahanan (*resistance*). Pada penelitian yang dilakukan tahanan yang digunakan yaitu berupa pemanas (*heater*) dengan beban RL. Pemanas yang digunakan terbuat dari kawat nikelin (0,7mm) dengan panjang kawat 1 meter. Kawat nikelin yang digunakan memiliki nilai R 2,36 Ω dan L 4,1 μ H.



Gambar 3.10 Beban *Heater*

3.6 Tahap Pengujian

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan pengujian pada baterai *lithium-ion* dengan variasi pembebanan. Pembebanan dilakukan pada proses pengujian *discharge*, pembebanan yang dimaksudkan yaitu dengan menggunakan arus yang di variasikan saat proses *discharge* secara kontinyu dengan *error* sebesar $\pm 5\%$. Berikut perhitungan arus yang digunakan pada proses pengujian :

Persentase pembebanan x Kapasitas baterai = Beban

Pengujian pada baterai *lithium-ion* akan dilakukan dengan keadaan awal baterai sama dengan tegangan penuh sebesar 21 volt. Pada proses *charge* baterai, arus *charging* yang digunakan sebesar 10% dari kapasitas yang diuji. Data yang didapatkan pada proses *charge* dan *discharge* selanjutnya di analisa, hal tersebut diperlukan untuk mengetahui performa baterai *lithium-ion* pada keadaan *charge* dan *discharge*. Variasi kapasitas baterai juga dilakukan dalam pengujian ini, kapasitas yang digunakan yaitu 3 Ah, 6 Ah dan 9Ah

Tabel 3.3 Beban Pengujian

	BEBAN (Ampere)				
	10%	20%	30%	40%	50%
3Ah	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50
6Ah	0.60	1.20	1.80	2.40	3.00
12Ah	1.20	2.40	3.60	4.80	6.00

Setelah diperoleh data tegangan dan arus saat pengujian, dilakukan perhitungan untuk mengetahui besar energi (*joule*), energi (Wh), kapasitas terpakai (Ah) dan kapasitas nominal. Perhitungan tersebut diperlukan untuk mengetahui karakteristik baterai yang diuji.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dari data hasil penelitian, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembebanan pada baterai *lithium-ion* berpengaruh terhadap kapasitas terpakai pada baterai, semakin besar beban yang digunakan maka kapasitas yang terpakai semakin kecil, pada kapasitas baterai 3Ah dengan pembebanan 10% kapasitas yang terpakai sebesar 1,401 Ah pada pack 1 dan dengan pembebanan 30% kapasitas terpakai sebesar 1,046 Ah pada pack 1.
2. Pengulangan pemakaian pada baterai *lithium-ion* berpengaruh terhadap kapasitas yang digunakan pada baterai *lithium-ion* tersebut, semakin sering baterai digunakan maka kapasitas atau daya yang dikeluarkan baterai semakin kecil dengan penurunan terbesar pada saat pengulangan dengan pembebanan 50% sebesar 18,1%.
3. Kapasitas spesifikasi yang tertulis tidak sama dengan kapasitas real yang didapatkan pada pengujian, hal tersebut terbukti dari data yang diperoleh dari penelitian pada kapasitas spesifikasi baterai 3Ah kapasitas real yang paling mendekati yaitu sebesar 2,091Ah, pada kapasitas spesifikasi 6Ah kapasitas real yang paling mendekati yaitu sebesar 3,722 Ah dan pada kapasitas spesifikasi 9Ah kapasitas real yang paling mendekati yaitu sebesar 5,206Ah.

5.2 Saran

Dari hasil analisa data penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran penelitian untuk dapat dikembangkan dan berikut beberapa saran yang diajukan:

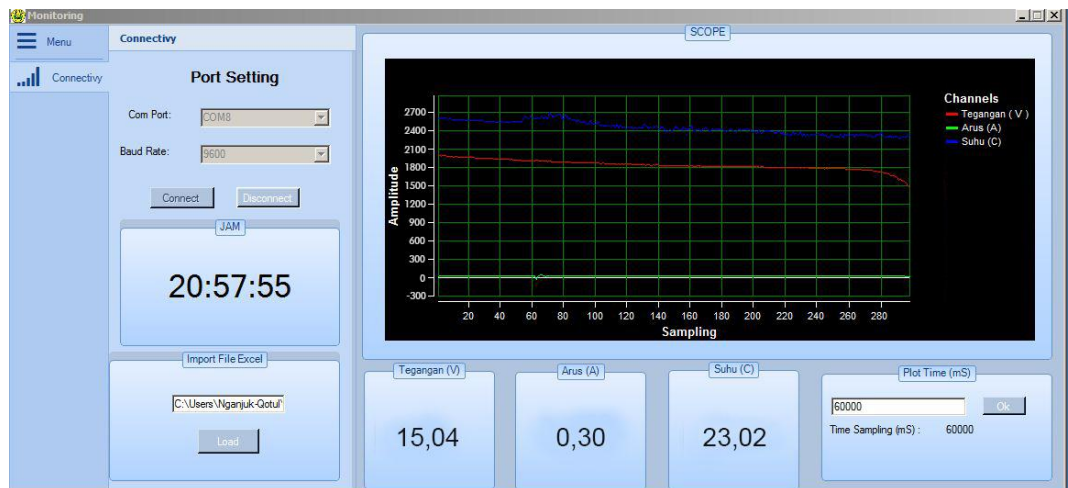
1. Dapat menggunakan jenis baterai yang berbeda untuk mengetahui karakteristik baterai tersebut.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan memberikan variasi arus pada proses *charge* baterai.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat menganalisa pengaruh suhu baterai saat dilakukan pengujian serta dapat melakukan penelitian tentang perbedaan suhu yang terjadi pada proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amir Hossein Ranjbar. Anahita Banei. Amir Khoobroo. Babak Fahimi. “*Online Estimation of State of Charge Li-Ion Batteries Using Impuls Response Concept*”. IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 1. March 2012
- [2] Diaz Ficry Arfianto. Dimas Anton Asfani. Daniar Fahmi. “*Pemantauan, Proteksi, dan Ekualisasi Baterai Lithium-ion Tersusun Seri Menggunakan Konverter Buck-Boost dan LC Seri dengan Kontrol Synchronous Phase Shift*”. Jurnal Teknik ITS. Vol. 5 No. 2. 2016
- [3] Xiaopeng Chen. Weixiang Shen. Thanks Tu VO. Zhenwei Caoi. Ajay Kapoor. “*An Overview of Lithium-ion Batteries for Eleectric Vehicles*”. International Power & Energy Conference. December 2012.
- [4] Bambang Sri Kaloko. “*Peramalan Kapasitas Baterai pada Kendaraan Listrik dengan Motoda Coulometri*”. Jurnal Teknologi Tekhnoscientia. Vol. 2. No. 1. Agustus 2009
- [5] IEEE Standarts Association. “*IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationery Applications*”. IEEE std 450. 2010

LAMPIRAN

A. Tampilan Pengujian



Gambar Tampilan Hasil Sistem Monitoring

B. Perhitungan Discharge

1. Kapasitas 3 Ah (pack 1)

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 10%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
15	20.30	0.30	6.090	5481.0	1.523	0.082
30	20.15	0.30	6.045	5440.5	1.511	0.082
45	20.15	0.30	6.045	5440.5	1.511	0.082
60	19.88	0.30	5.964	5367.6	1.491	0.081
75	19.57	0.30	5.871	5283.9	1.468	0.079
90	19.42	0.30	5.826	5243.4	1.457	0.079
105	19.25	0.30	5.775	5197.5	1.444	0.078
120	18.93	0.30	5.679	5111.1	1.420	0.077
135	18.76	0.30	5.628	5065.2	1.407	0.076
150	18.55	0.30	5.565	5008.5	1.391	0.075
165	18.48	0.30	5.544	4989.6	1.386	0.075
180	18.15	0.30	5.445	4900.5	1.361	0.074
195	18.09	0.30	5.427	4884.3	1.357	0.073
210	17.74	0.30	5.322	4789.8	1.331	0.072
225	17.52	0.30	5.256	4730.4	1.314	0.071
240	17.23	0.30	5.169	4652.1	1.292	0.070
255	17.05	0.30	5.115	4603.5	1.279	0.069

270	16.26	0.30	4.878	4390.2	1.220	0.066
280	15.04	0.30	4.512	2707.2	0.752	0.041
jumlah				93286.8	25.913	1.4007
kapasitas				2.000702703		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 20%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
8	19.83	0.60	11.898	5711.0	1.586	0.086
16	19.82	0.60	11.892	5708.2	1.586	0.086
24	19.59	0.60	11.754	5641.9	1.567	0.085
32	19.43	0.60	11.658	5595.8	1.554	0.084
40	19.27	0.60	11.562	5549.8	1.542	0.083
48	19.21	0.60	11.526	5532.5	1.537	0.083
56	19.15	0.60	11.490	5515.2	1.532	0.083
64	19.03	0.60	11.418	5480.6	1.522	0.082
72	18.81	0.60	11.286	5417.3	1.505	0.081
80	18.65	0.60	11.190	5371.2	1.492	0.081
88	18.48	0.60	11.088	5322.2	1.478	0.080
96	18.32	0.60	10.992	5276.2	1.466	0.079
104	18.04	0.60	10.824	5195.5	1.443	0.078
112	17.88	0.60	10.728	5149.4	1.430	0.077
120	17.72	0.60	10.632	5103.4	1.418	0.077
128	17.44	0.60	10.464	5022.7	1.395	0.075
136	17.25	0.60	10.350	4968.0	1.380	0.075
144	16.69	0.60	10.014	4806.7	1.335	0.072
149	15.04	0.60	9.024	2707.2	0.752	0.041
jumlah				99074.9	27.5208	1.48761
kapasitas				2.087610811		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 30%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
4	20.02	0.90	18.018	4324.3	1.201	0.065
8	19.69	0.90	17.721	4253.0	1.181	0.064
12	19.47	0.90	17.523	4205.5	1.168	0.063
16	19.36	0.90	17.424	4181.8	1.162	0.063
20	19.16	0.90	17.244	4138.6	1.150	0.062
24	18.99	0.90	17.091	4101.8	1.139	0.062
28	18.88	0.90	16.992	4078.1	1.133	0.061
32	18.72	0.90	16.848	4043.5	1.123	0.061
36	18.50	0.90	16.650	3996.0	1.110	0.060
40	18.44	0.90	16.596	3983.0	1.106	0.060

44	18.33	0.90	16.497	3959.3	1.100	0.059
48	18.12	0.90	16.308	3913.9	1.087	0.059
52	18.01	0.90	16.209	3890.2	1.081	0.058
56	17.96	0.90	16.164	3879.4	1.078	0.058
60	17.79	0.90	16.011	3842.6	1.067	0.058
64	17.62	0.90	15.858	3805.9	1.057	0.057
68	17.45	0.90	15.705	3769.2	1.047	0.057
72	16.63	0.90	14.967	3592.1	0.998	0.054
76	15.26	0.90	13.734	3296.2	0.916	0.049
78	15.04	0.90	13.536	1624.3	0.451	0.024
jumlah				76878.7	21.3552	1.15434
kapasitas				1.754335135		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 40%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
3	19.96	1.20	23.952	4311.4	1.198	0.065
6	19.73	1.20	23.676	4261.7	1.184	0.064
9	19.62	1.20	23.544	4237.9	1.177	0.064
12	19.39	1.20	23.268	4188.2	1.163	0.063
15	19.16	1.20	22.992	4138.6	1.150	0.062
18	18.99	1.20	22.788	4101.8	1.139	0.062
21	18.76	1.20	22.512	4052.2	1.126	0.061
24	18.65	1.20	22.380	4028.4	1.119	0.060
27	18.53	1.20	22.236	4002.5	1.112	0.060
30	18.31	1.20	21.972	3955.0	1.099	0.059
33	18.14	1.20	21.768	3918.2	1.088	0.059
36	17.92	1.20	21.504	3870.7	1.075	0.058
39	17.69	1.20	21.228	3821.0	1.061	0.057
42	17.47	1.20	20.964	3773.5	1.048	0.057
45	17.08	1.20	20.496	3689.3	1.025	0.055
48	16.31	1.20	19.572	3523.0	0.979	0.053
51	15.70	1.20	18.840	3391.2	0.942	0.051
54	15.04	1.20	18.048	3248.6	0.902	0.049
jumlah				70513.2	19.587	1.05876
kapasitas				1.658756757		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 50%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
2	19.64	1.50	29.460	3535.2	0.982	0.053
4	19.47	1.50	29.205	3504.6	0.974	0.053
6	19.14	1.50	28.710	3445.2	0.957	0.052

8	18.91	1.50	28.365	3403.8	0.946	0.051
10	18.74	1.50	28.110	3373.2	0.937	0.051
12	18.46	1.50	27.690	3322.8	0.923	0.050
14	18.30	1.50	27.450	3294.0	0.915	0.049
16	17.97	1.50	26.955	3234.6	0.899	0.049
18	17.64	1.50	26.460	3175.2	0.882	0.048
20	17.36	1.50	26.040	3124.8	0.868	0.047
22	17.14	1.50	25.710	3085.2	0.857	0.046
24	16.92	1.50	25.380	3045.6	0.846	0.046
26	16.75	1.50	25.125	3015.0	0.838	0.045
28	16.47	1.50	24.705	2964.6	0.824	0.045
30	16.09	1.50	24.135	2896.2	0.805	0.043
32	15.81	1.50	23.715	2845.8	0.791	0.043
34	15.53	1.50	23.295	2795.4	0.777	0.042
36	15.37	1.50	23.055	2766.6	0.769	0.042
38	15.04	1.50	22.560	2707.2	0.752	0.041
jumlah				59535.0	16.5375	0.89392
kapasitas				1.493918919		

C. Perhitungan Charge

1. Kapasitas 3 Ah (pack 1)

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 10%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
13	17.86	0.30	5.358	4179.2	1.161	0.063
26	18.14	0.30	5.442	4244.8	1.179	0.064
39	18.30	0.30	5.490	4282.2	1.190	0.064
52	18.46	0.30	5.538	4319.6	1.200	0.065
65	18.68	0.30	5.604	4371.1	1.214	0.066
78	18.85	0.30	5.655	4410.9	1.225	0.066
91	19.12	0.30	5.736	4474.1	1.243	0.067
104	19.29	0.30	5.787	4513.9	1.254	0.068
117	19.56	0.30	5.868	4577.0	1.271	0.069
130	19.67	0.30	5.901	4602.8	1.279	0.069
143	19.78	0.30	5.934	4628.5	1.286	0.069
156	19.89	0.30	5.967	4654.3	1.293	0.070
169	19.95	0.30	5.985	4668.3	1.297	0.070
182	19.90	0.30	5.970	4656.6	1.294	0.070
195	20.11	0.30	6.033	4705.7	1.307	0.071
208	20.22	0.30	6.066	4731.5	1.314	0.071
221	20.43	0.30	6.129	4780.6	1.328	0.072
234	20.65	0.30	6.195	4832.1	1.342	0.073
247	20.92	0.30	6.276	4895.3	1.360	0.074
252	21.04	0.30	6.312	3029.8	0.842	0.045
jumlah				89558.3	24.877	1.345

kapasitas	1.944718919
-----------	-------------

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 20%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
13	18.42	0.30	5.526	4310.3	1.197	0.065
26	18.63	0.30	5.589	4359.4	1.211	0.065
39	18.80	0.30	5.640	4399.2	1.222	0.066
52	19.01	0.30	5.703	4448.3	1.236	0.067
65	19.12	0.30	5.736	4474.1	1.243	0.067
78	19.29	0.30	5.787	4513.9	1.254	0.068
91	19.29	0.30	5.787	4513.9	1.254	0.068
104	19.46	0.30	5.838	4553.6	1.265	0.068
117	19.63	0.30	5.889	4593.4	1.276	0.069
130	19.79	0.30	5.937	4630.9	1.286	0.070
143	19.90	0.30	5.970	4656.6	1.294	0.070
156	20.02	0.30	6.006	4684.7	1.301	0.070
169	20.19	0.30	6.057	4724.5	1.312	0.071
182	20.30	0.30	6.090	4750.2	1.320	0.071
195	20.36	0.30	6.108	4764.2	1.323	0.072
208	20.46	0.30	6.138	4787.6	1.330	0.072
221	20.53	0.30	6.159	4804.0	1.334	0.072
234	20.81	0.30	6.243	4869.5	1.353	0.073
247	20.87	0.30	6.261	4883.6	1.357	0.073
260	21.04	0.30	6.312	4923.4	1.368	0.074
jumlah				92645.3	25.735	1.391
kapasitas				1.99107027		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 30%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
13	18.39	0.30	5.517	4303.3	1.195	0.065
26	18.61	0.30	5.583	4354.7	1.210	0.065
39	18.77	0.30	5.631	4392.2	1.220	0.066
52	19.04	0.30	5.712	4455.4	1.238	0.067
65	19.10	0.30	5.730	4469.4	1.242	0.067
78	19.21	0.30	5.763	4495.1	1.249	0.067
91	19.26	0.30	5.778	4506.8	1.252	0.068
104	19.43	0.30	5.829	4546.6	1.263	0.068
117	19.59	0.30	5.877	4584.1	1.273	0.069
130	19.71	0.30	5.913	4612.1	1.281	0.069
143	19.83	0.30	5.949	4640.2	1.289	0.070
156	19.98	0.30	5.994	4675.3	1.299	0.070

169	20.08	0.30	6.024	4698.7	1.305	0.071
182	20.19	0.30	6.057	4724.5	1.312	0.071
195	20.46	0.30	6.138	4787.6	1.330	0.072
208	20.68	0.30	6.204	4839.1	1.344	0.073
221	20.72	0.30	6.216	4848.5	1.347	0.073
234	20.84	0.30	6.252	4876.6	1.355	0.073
247	20.99	0.30	6.297	4911.7	1.364	0.074
251	21.04	0.30	6.312	1514.9	0.421	0.023
jumlah				89236.8	24.788	1.340
kapasitas				1.939891892		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 40%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
11	18.79	0.30	5.637	3720.4	1.033	0.056
22	18.90	0.30	5.670	3742.2	1.040	0.056
33	19.07	0.30	5.721	3775.9	1.049	0.057
44	19.29	0.30	5.787	3819.4	1.061	0.057
55	19.40	0.30	5.820	3841.2	1.067	0.058
66	19.45	0.30	5.835	3851.1	1.070	0.058
77	19.51	0.30	5.853	3863.0	1.073	0.058
88	19.67	0.30	5.901	3894.7	1.082	0.058
99	19.84	0.30	5.952	3928.3	1.091	0.059
110	20.05	0.30	6.015	3969.9	1.103	0.060
121	20.05	0.30	6.015	3969.9	1.103	0.060
132	20.10	0.30	6.030	3979.8	1.106	0.060
143	20.09	0.30	6.027	3977.8	1.105	0.060
154	20.29	0.30	6.087	4017.4	1.116	0.060
165	20.46	0.30	6.138	4051.1	1.125	0.061
176	20.56	0.30	6.168	4070.9	1.131	0.061
187	20.83	0.30	6.249	4124.3	1.146	0.062
198	20.93	0.30	6.279	4144.1	1.151	0.062
207	21.04	0.30	6.312	3408.5	0.947	0.051
jumlah				74149.9	20.597	1.113
kapasitas				1.713362162		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 50%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
10	18.92	0.30	5.676	3405.6	0.946	0.051
20	19.09	0.30	5.727	3436.2	0.955	0.052
30	19.20	0.30	5.760	3456.0	0.960	0.052
40	19.37	0.30	5.811	3486.6	0.969	0.052

50	19.54	0.30	5.862	3517.2	0.977	0.053
60	19.60	0.30	5.880	3528.0	0.980	0.053
70	19.65	0.30	5.895	3537.0	0.983	0.053
80	19.82	0.30	5.946	3567.6	0.991	0.054
90	19.93	0.30	5.979	3587.4	0.997	0.054
100	20.04	0.30	6.012	3607.2	1.002	0.054
110	20.26	0.30	6.078	3646.8	1.013	0.055
120	20.15	0.30	6.045	3627.0	1.008	0.054
130	20.32	0.30	6.096	3657.6	1.016	0.055
140	20.32	0.30	6.096	3657.6	1.016	0.055
150	20.48	0.30	6.144	3686.4	1.024	0.055
160	20.65	0.30	6.195	3717.0	1.033	0.056
170	20.86	0.30	6.258	3754.8	1.043	0.056
180	20.92	0.30	6.276	3765.6	1.046	0.057
190	20.98	0.30	6.294	3776.4	1.049	0.057
192	21.04	0.30	6.312	757.4	0.210	0.011
jumlah				69175.4	19.215	1.039
kapasitas				1.63867027		

D. Perhitungan Pengujian 2

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 10%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
15	20.07	0.30	6.021	5418.9	1.505	0.081
30	19.90	0.30	5.970	5373.0	1.493	0.081
45	19.63	0.30	5.889	5300.1	1.472	0.080
60	19.36	0.30	5.808	5227.2	1.452	0.078
75	19.26	0.30	5.778	5200.2	1.445	0.078
90	19.10	0.30	5.730	5157.0	1.433	0.077
105	18.82	0.30	5.646	5081.4	1.412	0.076
120	18.71	0.30	5.613	5051.7	1.403	0.076
135	18.54	0.30	5.562	5005.8	1.391	0.075
150	18.44	0.30	5.532	4978.8	1.383	0.075
165	18.37	0.30	5.511	4959.9	1.378	0.074
180	18.00	0.30	5.400	4860.0	1.350	0.073
195	17.73	0.30	5.319	4787.1	1.330	0.072
210	17.34	0.30	5.202	4681.8	1.301	0.070
225	17.06	0.30	5.118	4606.2	1.280	0.069
240	16.57	0.30	4.971	4473.9	1.243	0.067
255	16.29	0.30	4.887	4398.3	1.222	0.066
270	15.04	0.30	4.512	4060.8	1.128	0.061
jumlah				88622.1	24.617	1.331
kapasitas				1.930662162		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 20%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
8	19.55	0.60	11.730	5630.4	1.564	0.085
16	19.39	0.60	11.635	5584.6	1.551	0.084
24	19.22	0.60	11.533	5535.6	1.538	0.083
32	19.06	0.60	11.437	5489.6	1.525	0.082
40	18.83	0.60	11.299	5423.3	1.506	0.081
48	18.71	0.60	11.227	5388.8	1.497	0.081
56	18.54	0.60	11.125	5339.8	1.483	0.080
64	18.37	0.60	11.023	5290.8	1.470	0.079
72	18.20	0.60	10.921	5241.9	1.456	0.079
80	17.80	0.60	10.681	5126.7	1.424	0.077
88	17.62	0.60	10.573	5074.8	1.410	0.076
96	17.35	0.60	10.411	4997.1	1.388	0.075
104	17.11	0.60	10.267	4928.0	1.369	0.074
112	17.05	0.60	10.231	4910.7	1.364	0.074
120	16.82	0.60	10.093	4844.4	1.346	0.073
128	16.48	0.60	9.889	4746.5	1.318	0.071
136	15.26	0.60	9.157	4395.2	1.221	0.066
139	15.04	0.60	9.025	1083.0	0.301	0.016
jumlah				89031.2	24.731	1.337
kapasitas				1.936805405		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 30%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
4	19.96	0.90	17.964	4311.4	1.198	0.065
8	19.52	0.90	17.568	4216.3	1.171	0.063
12	19.36	0.90	17.424	4181.8	1.162	0.063
16	19.20	0.90	17.280	4147.2	1.152	0.062
20	18.98	0.90	17.082	4099.7	1.139	0.062
24	18.82	0.90	16.938	4065.1	1.129	0.061
28	18.61	0.90	16.749	4019.8	1.117	0.060
32	18.45	0.90	16.605	3985.2	1.107	0.060
36	18.13	0.90	16.317	3916.1	1.088	0.059
40	18.07	0.90	16.263	3903.1	1.084	0.059
44	17.85	0.90	16.065	3855.6	1.071	0.058
48	17.52	0.90	15.768	3784.3	1.051	0.057
52	17.24	0.90	15.516	3723.8	1.034	0.056
56	16.20	0.90	14.580	3499.2	0.972	0.053
60	15.21	0.90	13.689	3285.4	0.913	0.049
62	15.04	0.90	13.536	1624.3	0.451	0.024
jumlah				60618.2	16.838	0.910
kapasitas				1.510183784		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 40%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
3	19.56	1.20	23.472	4225.0	1.174	0.063
6	19.17	1.20	23.004	4140.7	1.150	0.062
9	18.84	1.20	22.608	4069.4	1.130	0.061
12	18.57	1.20	22.284	4011.1	1.114	0.060
15	18.30	1.20	21.960	3952.8	1.098	0.059
18	17.91	1.20	21.492	3868.6	1.075	0.058
21	17.31	1.20	20.772	3739.0	1.039	0.056
24	16.54	1.20	19.848	3572.6	0.992	0.054
27	16.26	1.20	19.512	3512.2	0.976	0.053
30	15.76	1.20	18.912	3404.2	0.946	0.051
33	15.26	1.20	18.312	3296.2	0.916	0.049
35	15.04	1.20	18.048	2165.8	0.602	0.033
jumlah				43957.4	12.210	0.660
kapasitas				1.260021622		

Tabel Perhitungan Kapasitas 3 Ah Beban 50%

Waktu	V	A	watt	joule	Wh	Ah
2	19.64	1.50	29.460	3535.2	0.982	0.053
4	19.04	1.50	28.560	3427.2	0.952	0.051
6	18.98	1.50	28.470	3416.4	0.949	0.051
8	18.65	1.50	27.975	3357.0	0.933	0.050
10	18.37	1.50	27.555	3306.6	0.919	0.050
12	17.87	1.50	26.805	3216.6	0.894	0.048
14	17.70	1.50	26.550	3186.0	0.885	0.048
16	17.21	1.50	25.815	3097.8	0.861	0.047
18	16.66	1.50	24.990	2998.8	0.833	0.045
20	16.38	1.50	24.570	2948.4	0.819	0.044
22	15.37	1.50	23.055	2766.6	0.769	0.042
23	15.04	1.50	22.560	1353.6	0.376	0.020
jumlah				36610.2	10.170	0.550
kapasitas				1.149702703		