

**PERANCANGAN SISTEM MONITORING DAN PROTEKSI
BATERAI LITIUM ION (*LI-ION*) PADA PANEL SURYA**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh:

SAMSUL HIDAYATULLOH

NPM. 3332170003

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2024**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Perancangan Sistem Monitoring dan Proteksi Baterai Litium
Ion (Li-Ion) Pada Panel Surya
Nama Mahasiswa : Samsul Hidayatulloh
NPM : 3332170003
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 29 Januari 2024



Samsul Hidayatulloh

NIM. 3332170003

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa Skripsi berikut.

Judul : Perancangan Sistem Monitoring dan Proteksi Baterai Litium Ion (Li-Ion) Pada Panel Surya
Nama Mahasiswa : Samsul Hidayatulloh
NPM : 3332170003
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 29 Januari 2024 melalui Sidang Skripsi di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan LULUS.

Dewan Penguji

Tanda Tangan

Pembimbing I : HM. Hartono, ST., M.T.



.....

Penguji I : Imamul Muttakin, S.T., M.Eng

Digitally signed by
Imamul Muttakin
Date: 2024.01.29 14:00
094742 8700

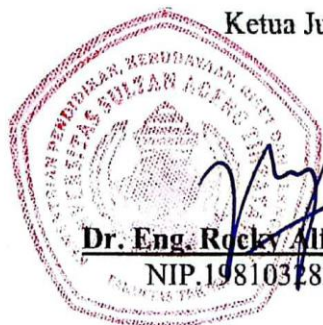
Penguji II : Ceri Ahendyarti, S.T., M.Eng



.....

Mengetahui,

Ketua Jurusan



Dr. Eng. Rocky Alfanz, S. T., M.Sc.
NIP.198103182010121001

PRAKATA

Puji dan Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala atas kekayaan anugerah dan Karunia-Nya akhirnya menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul Perancangan Monitoring dan Proteksi Sistem Monitoring dan Proteksi Baterai Litium Ion (*Li-Ion*) Pada Panel Surya. Shalawat dan salam senantiasa tercurah limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang penuh cahaya. Penulisan skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak lain. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini, terutama kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang memberikan do'a, semangat serta dukungan baik secara moril dan materi.
2. Bapak Dr. Eng. Rocky Alfan, S. T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak HM. Hartono, ST., M.T., selaku Dosen Pembimbing 1 Skripsi yang sudah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
4. Bapak Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M. Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik selama masa perkuliahan.
5. Seluruh Dosen, Staf Akademik dan teman-teman Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan banyak dukungan dan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kata sempurna, namun penulis berharap penelitian dapat bermanfaat bagi para pembaca, khususnya bagi penulis sendiri. Oleh karena itu, penulis menerima berbagai kritik dan saran untuk memajukan penelitian ini.

Cilegon, 25 Januari 2024

Penulis

ABSTRAK

Samsul Hidayatulloh
Teknik Elektro

Perancangan Sistem Monitoring dan Proteksi Baterai Litium Ion (Li-ion) Pada
Panel Surya

Pemantauan dan perlindungan baterai litium merupakan aspek penting dalam penggunaan baterai litium-ion. Baterai litium-ion adalah sumber daya yang umum digunakan di berbagai perangkat, seperti ponsel, laptop, kendaraan listrik, dan lainnya. Ruang lingkup penelitian adalah perancangan sistem monitoring yang dapat dilihat melalui LCD 2x16 yang menampilkan besaran arus dan suhu serta proteksi yang dibangun berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Hasil pengujian *charge* baterai dengan panel surya 10 WP menghasilkan total arus dalam satu hari sebanyak 3,56Ah. Hasil pengujian *discharge* baterai tanpa beban, tegangan input 4 s.d. 12V menghasilkan tegangan pada *range* 5,1 s.d. 5,2V. Relay aktif Ketika arus mencapai 1 A dan suhu 50°C. Hasil pengujian *discharge* baterai dengan beban, menunjukkan penurunan tegangan sampai 11,26V, dan arus yang mengalir stabil pada 0,3A.

Kata kunci: *Baterai Litium, Monitoring, Proteksi, Mikrokontroler Arduino Uno*

ABSTRACT

Samsul Hidayatulloh
Electrical Engineering

Design of a Monitoring and Protection System for Lithium Ion (Li-ion) Batteries
on Solar Panels

Monitoring and protecting lithium batteries is an important aspect of lithium-ion battery use. Lithium-ion batteries are a source of electricity that is commonly used in various devices, such as cellphones, laptops, electric vehicles, and others. The scope of the research is the design of a monitoring system that can be viewed via a 2x16 LCD which displays current and temperature levels as well as protection built based on the Arduino Uno microcontroller. The test results for charging the battery with a 10 WP solar panel produced a total current of 3.56Ah in one day. Battery discharge test results without load, input voltage 4 to 12V produces a voltage in the range of 5.1 to 5.1. 5.2V. The relay is active when the current reaches 1 A and the temperature is 50oC. The battery discharge test results with a load show a voltage drop of up to 11.26V, and the current flowing is stable at 0.3A.

Keywords: *Lithium Battery, Monitoring, Protection, Arduino Uno Microcontroller*

DAFTAR ISI

Halaman

PERANCANGAN SISTEM MONITORING DAN PROTEKSI BATERAI LITIUUM ION (<i>LI-ION</i>) PADA PANEL SURYA	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Kajian Pustaka.....	5
2.2. Panel Surya.....	6
2.3. Karakteristik dan Parameter Modul Panel Surya.....	9
2.4. <i>Solar Charger Controller</i>	11
2.5. <i>Module Buck Converter</i>	12
2.6. Baterai Li-Ion.....	13
2.7. Dioda.....	14
2.8. <i>Battery Management System (BMS)</i>	15
2.9. Sensor Arus ACS712.....	15
2.10. Sensor LM35.....	16
2.11. Relay.....	16

2.12.LCD	17
2.13.Arduino Uno R3	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	20
3.2 Perancangan Perangkat Keras.....	21
3.1.1 Spesifikasi Panel Surya <i>Monocrystalline</i> 10 WP	22
3.1.2 Perancangan sensor arus ACS712.....	22
3.1.3 Perancangan sensor Suhu LM35	23
3.1.4 Perancangan Proteksi	24
3.1.5 Perancangan Monitoring	25
3.1.6 Perancangan Rangkaian Listrik.....	26
3.1.7 Perancangan Desain Alat	27
3.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	27
3.3 Pengujian Alat	28
3.3.1 Pengujian Rangkaian Sensor Arus	28
3.3.2 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu.....	29
3.3.3 Pengujian Rangkaian Proteksi.....	29
3.3.4 Pengujian Keseluruhan.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Hasil Perancangan <i>Hardware</i>	33
4.2. Pengujian Alat	36
4.2.1. Pengujian Solar Panel <i>Monocrystalline</i> 10 WP	36
4.2.2. Pengujian <i>Charge</i> Baterai	41
4.2.3. Pengujian <i>Discharge</i> Baterai	43
4.2.4. Pengujian Sensor Arus ACS712-30A	45
4.2.5. Pengujian Sensor Suhu LM35	47
4.2.6. Pengujian Rangkaian Proteksi	49
BAB V PENUTUP.....	51
5.1. Kesimpulan.....	51
5.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN A UKURAN ALAT <i>CHARGER STATION</i>.....	A-1

LAMPIRAN B SPESIFIKASI ALAT	B-1
LAMPIRAN C HASIL PENGUJIAN PANEL SURYA 10 WP	C-1
LAMPIRAN D HASIL PENGUJIAN SISTEM BATERAI.....	D-1
LAMPIRAN E <i>LISTING PROGRAM</i>	E-1

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Polycrystalline Silicon	7
Gambar 2.2 Mono crystalline silicon	7
Gambar 2.3 Thin Film Solar Cell	8
Gambar 2.4 Prinsip Kerja Solar Cell.....	8
Gambar 2.5 Kurva I-V pada Panel Surya	9
Gambar 2. 6 Solar Charger Controller (SCC) PWM	11
Gambar 2.7 Sinyal PWM (Pulse Width Modulation)	12
Gambar 2.8 Module Buck Converter	12
Gambar 2.9 Baterai Li-Ion (Lithium-Ion)	13
Gambar 2.10 Prinsip Kerja Baterai Li-Ion (Lithium-Ion)	14
Gambar 2.11 Bentuk dan Simbol Dioda	14
Gambar 2. 12 Pin Diagram Pada ACS712-30 A	16
Gambar 2. 13 Rele.....	17
Gambar 2. 14 Sensor LM35.....	16
Gambar 2. 15 LCD 2X16.....	17
Gambar 2. 16 Board Arduino Uno R3 [18].....	18
Gambar 3. 1 Perancangan dan Pembuatan Rangkaian Listrik.....	21
Gambar 3. 2 Rangkaian Arus ACS712	23
Gambar 3. 3 Rangkaian Sensor Suhu LM35.....	23
Gambar 3. 4 Rangkaian Proteksi.....	25
Gambar 3. 5 Rangkaian Monitoring.....	25
Gambar 3.6 Rangkaian Listrik.....	26
Gambar 3. 7 Desain 3D Alat.....	27
Gambar 3. 8 Perancangan Dan Pembuatan Software Sistem Alat.....	28
Gambar 3. 9 Diagram Blok Pengujian Pembacaan Sensor Arus	29
Gambar 3. 10 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Suhu.....	29
Gambar 3. 11 Diagram Blok Pengujian Proteksi Overcurrent.....	30
Gambar 3. 12 Diagram Blok Pengujian Proteksi Overheat	30
Gambar 3. 13 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Kondisi Charge.....	31

Gambar 3. 14 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Kondisi Discharge	32
Gambar 4.1 Charger Station Tampak Depan, Belakang, dan Samping	33
Gambar 4.2 Bagian Dalam Rak Satu dan Empat (Rangkaian Listrik).....	34
Gambar 4.3 Bagian Dalam Rak Dua.....	35
Gambar 4.4 Bagian Dalam Rak Tiga Modul Charger.....	35
Gambar 4. 5 Grafik Energi Panel Surya 10WP Selama 7 Hari.....	41
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian Charge Baterai oleh Panel Surya.....	42
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Discharge Baterai Tanpa Beban	43
Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Tegangan Discharge Baterai dengan Beban	44
Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Arus Discharge Baterai dengan Beban.....	44
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712.....	46
Gambar 4. 11 Program Untuk Pengujian Dan Hail Sensor LM35.....	47
Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengujian Sensor Suhu LM35	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel Surya Monocrystalline 10 WP.....	22
Tabel 4. 1 Tabel Hasil Pengujian sensor lm35.....	46
Tabel 4. 2 Tabel Hasil Pengujian sensor lm35.....	48
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Relay Dan Sensor Acs712	49
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Relay Dan Sensor Lm35.....	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagian besar listrik yang digunakan pada saat ini kebanyakan berasal dari energi tidak terbarukan. Berdasarkan data dari kementerian ESDM, Penggunaan Energi Baru Terbarukan untuk pembangkit listrik pada tahun 2018 sebesar 8,8 GW atau hanya sekitar 14% dari total kapasitas pembangkit listrik (fosil dan non fosil) yaitu sampai dengan 64,5 GW [1]. Energi surya atau tenaga surya merupakan salah satu dari sumber energi baru terbarukan yang tidak terbatas. Di negara ini, sinar matahari seringkali kurang dimanfaatkan sebagai sumber energi. Negara ini mempunyai potensi yang sangat tinggi dalam memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi karena letaknya yang berada di garis khatulistiwa [2].

Pembangkit listrik tenaga surya dengan potensi seperti ini tidak bisa dihindari dan sekaligus harus menghemat energi yang ada. Untuk mengoptimalkan energi listrik yang dihasilkan maka energi panel surya memerlukan sebuah media penyimpanan. Media penyimpanan energi yang dapat digunakan kapan saja merupakan cara konservasi terbaik, sehingga ketika kebutuhan listrik secara keseluruhan tinggi, sistem tenaga listrik dapat langsung digunakan [3].

Baterai merupakan perangkat penyimpan energi listrik dan terpenting dari perangkat elektronik portable. Jenis baterai sendiri ada 2 yaitu tipe primer dan sekunder [4]. Baterai Li-ion telah menjadi baterai isi ulang yang paling banyak digunakan saat ini karena banyak keunggulannya, seperti energi spesifik, kepadatan dan efisiensi yang tinggi, serta kemampuan pengisian cepat dan umur panjang yang relatif [5][6]. Keunggulan lainnya dibandingkan baterai sekunder lainnya, seperti self-discharge rendah, kinerja siklus pengisian dan pengosongan berulang yang baik, dan ramah lingkungan [7][8].

Baterai litium-ion dapat rusak secara mekanis jika tekanan eksternal terjadi karena menyebabkan wadah baterai berubah bentuk atau tertusuk benda tajam (seperti paku), Selain itu hal ini dapat disebabkan karena beban berlebih, pelepasan berlebih, dan korsleting eksternal [6]. Faktor lain yang mempengaruhi umur baterai adalah tingginya arus pengisian pada baterai. Mengisi baterai dengan arus yang

tinggi sebenarnya dapat mempercepat waktu pengisian, namun dapat merusak sel elektrolitik baterai, selain itu juga menyebabkan baterai terlalu panas [9], Oleh karena itu perlu adanya suatu sistem atau alat yang dapat memberi proteksi serta pemantauan dalam penggunaan daya listrik, sehingga penggunaan daya listrik dapat terkontrol dengan baik [10][11].

Beberapa penelitian telah membahas mengenai rancang bangun pemanfaatan panel surya 10 wp untuk pengisian baterai 12 V dengan sistem monitoring tegangan berbasis arduino nano dengan menggunakan LCD [12]. Pada penelitian rancang bangun panel surya untuk menggerakkan pompa dengan menggunakan proteksi relay sebagai pengaman dan juga sensor arus acs172 sebagai acuan untuk relay bekerja [13]. Penelitian lain yang menggunakan sistem proteksi *overload* pada panel surya untuk pemutus tegangan jika tegangan yang dikeluarkan melebihi yang ditentukan [2]. Penelitian lain yang menggunakan *solar cell system* dengan menggunakan *overload protection* Dimana arduino mengatur minimal arus yang berjalan sebesar 2,6 A dengan tegangan 12 V [16].

Penelitian yang menggunakan *Relay Module* untuk sistem *smarthome* dengan menggunakan mikrokontroler Arduino dengan menggunakan peralatan rumah tangga sebagai beban [15]. Penelitian lain mengenai desain dan implementasi *battery management system* panel surya portabel dengan metode *coulomb counting* menggunakan batre jenis *Valve-Regulated Lead-Acid* (VRLA) dengan pengisian baterai sebesar 9,6 Ah dari total kapasitas 12 Ah dengan menggunakan beban lampu 5 watt pada saat pengosongan dan didapat nilai minimum erornya adalah 7,8% [14]. Penelitian lain mengenai Perancangan modular baterai lithium ion (*li-ion*) untuk beban lampu led dengan rata-rata error pengujian pada sensor tegangan 0,005%, sensor suhu 0,0326%, dan sensor arus 0,284% [7].

Berdasarkan pada latar belakang yang telah dijelaskan bahwa penelitian ini membahas monitoring dan proteksi baterai litium ion, Dimana untuk pengisian baterai menggunakan panel surya 10 wp untuk pengisian baterai dan untuk beban pada saat pengosongan baterai adalah ponsel HP. Untuk acuan proteksinya adalah besaran nilai arus dan suhu yang diatur menggunakan Arduino uno pada sensor Acs712 dan LM35.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang panel surya 10 wp sebagai sumber untuk pengisian baterai?
2. Bagaimana cara merancang sensor suhu, arus untuk memonitoring baterai?
3. Bagaimana cara merancang proteksi untuk melindungi baterai jika terjadi masalah?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang panel surya 10 wp sebagai sumber untuk pengisian baterai
2. Membuat sistem monitoring baterai Li-ion dengan menggunakan sensor suhu dan arus.
3. Merancang sistem proteksi yang bisa memutus rangkaian ketika suhu, arus dan tegangannya melebihi dari batas normal agar baterai Li-ion dapat berumur panjang.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat yaitu:

1. Sebagai referensi dan pengembangan monitoring dan proteksi baterai dengan menggunakan panel surya bagi akademisi yang melakukan penelitian yang berhubungan dengan EBT.
2. Dapat menjaga kondisi baterai Li-ion terhadap temperatur dan suhu.
3. Sebagai referensi pada penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan monitoring dan proteksi baterai litium ion pada panel surya.
4. Menjadi perkembangan dan pembaruan informasi pada bidang baterai litium ion

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan baterai jenis Lithium-Ion 18650, 3,7 V

2. Menggunakan HP sebagai beban untuk proses pemakaian baterai (*discharging system*)
3. Menggunakan panel surya 10 wp untuk pengisian baterai (*charging system*).
4. Menggunakan Sensor Arus ACS712, sensor suhu LM35.
5. Pengontrolan menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno.

1.6. Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan skripsi ini adalah terdiri dari tiga bagian, antara lain sebagai berikut:

1. Bagian awal laporan skripsi yang berisi halaman judul.
2. Bagian isi laporan skripsi ini terdiri atas:
 - a. Bab I Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan batasan masalah serta sistematika penulisan laporan skripsi.
 - b. Bab II Tinjauan Pustaka, yang dianggap sebagai penunjang dalam penelitian dan memberikan penjelasan tentang panel surya, *module buck converter*, dioda, baterai Li-Ion, *battery management system (BMS)*, sensor arus Acs712, sensor suhu Lm35, rele, dan arduino uno.
 - c. Bab III Metode Penelitian, menjelaskan tentang alur penelitian, komponen penelitian, persamaan atau algoritma penelitian, dan jadwal penelitian serta rancangan anggaran biaya (RAB) dari penelitian yang dilakukan.
 - d. Bab IV Hasil dan Pembahasan, menjelaskan tentang hasil penelitian yang didapatkan, mulai dari hasil perancangan dan pengujian *hardware* dan *software*, serta hasil pengujian alat secara keseluruhan.
 - e. Bab V Penutup, berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

Bagian akhir laporan skripsi berisi tentang penjelasan daftar pustaka.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Kajian pustaka Kajian pustaka digunakan sebagai perbandingan dari penelitian sejenis serta sumber informasi penelitian seperti penelitian lain mengenai perancangan monitoring dan proteksi baterai litium ion (Li-ion) pada panel surya. Salah satunya adalah penelitian tentang Perancangan Modular Baterai litium ion (Li-ion) untuk beban lampu Led Beberapa penelitian telah membahas mengenai rancang bangun pemanfaatan panel surya 10 wp untuk pengisian baterai 12 V dengan sistem monitoring tegangan berbasis arduino nano dengan menggunakan LCD [12]. Pada penelitian rancang bangun panel surya untuk menggerakkan pompa dengan menggunakan proteksi relay sebagai pengaman dan juga sensor arus ACS172 sebagai acuan untuk relay bekerja [13]. Penelitian lain yang menggunakan sistem proteksi *overload* pada panel surya untuk pemutus tegangan jika tegangan yang dikeluarkan melebihi yang ditentukan [2]. Penelitian lain yang menggunakan *solar cell system* dengan menggunakan *overload protection* dimana arduino mengatur minimal arus yang berjalan sebesar 2,6 A dengan tegangan 12 V [16].

Penelitian yang menggunakan *Relay Module* untuk sistem *smarthome* dengan menggunakan mikrokontroler Arduino dengan menggunakan peralatan rumah tangga sebagai beban [15]. Penelitian lain mengenai desain dan implementasi *battery management system* panel surya portabel dengan metode *coulomb counting* menggunakan batre jenis *Valve-Regulated Lead-Acid* (VRLA) dengan pengisian baterai sebesar 9,6 Ah dari total kapasitas 12 Ah dengan menggunakan beban lampu 5 watt pada saat pengosongan dan didapat nilai minimum erornya adalah 7,8% [14]. Penelitian lain mengenai Perancangan modular baterai lithium ion (*li-ion*) untuk beban lampu led dengan rata-rata error pengujian pada sensor tegangan 0,005%, sensor suhu 0,0326%, dan sensor arus 0,284% [7].

Berdasarkan pada latar belakang yang telah dijelaskan bahwa penelitian ini membahas monitoring dan proteksi baterai litium ion, dimana untuk pengisian baterai menggunakan panel surya 10 wp untuk pengisian baterai dan untuk beban pada saat pengosongan baterai adalah ponsel HP. Untuk acuan proteksinya adalah

besaran nilai arus dan suhu yang diatur menggunakan Arduino uno pada sensor Acs712 dan LM35.

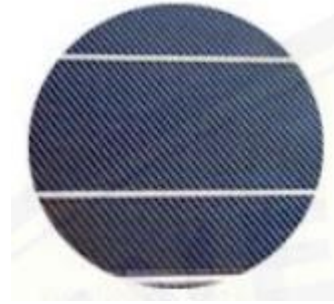
2.2. Panel Surya

Energi surya merupakan elemen semikonduktor yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip fotovoltaik. Modul surya merupakan kumpulan beberapa sel surya, dan panel surya adalah kumpulan beberapa modul surya. Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh pembangkit sel surya dipengaruhi oleh dua variabel, yaitu intensitas radiasi matahari dan suhu lingkungan. Intensitas radiasi matahari yang diterima sel surya sebanding dengan tegangan dan arus yang dihasilkan sel surya, sedangkan jika suhu lingkungan lebih tinggi dengan intensitas radiasi matahari yang konstan maka tegangan panel surya akan berkurang dan arus yang dihasilkan akan bertambah [17].

Panel surya terbuat dari beberapa bahan semikonduktor yaitu silikon, germanium, titanium oksida, kadmium telurida dan lain sebagainya. Generator surya tipe *Photovoltaic* adalah generator yang menggunakan tegangan diferensial akibat efek fotoelektrik untuk menghasilkan listrik. Panel surya terdiri dari 3 lapisan, lapisan panel P di atas, lapisan pembatas di tengah, dan lapisan panel N dibagian bawah. Efek *Photovoltaic* terjadi ketika sinar matahari menyebabkan lepasnya electron dilapisan panel P terlepas, sehingga hal ini menyebabkan proton mengalir kelapisan panel N paling bawah dan berpindah sehingga aliran proton tersebut adalah arus listrik. *Photovoltaic* ada dalam beberapa tipe, diantaranya sebagai berikut [18].

a. *Polycrystalline silicon*

Poly-Si merupakan salah satu jenis bahan panel surya yang terbuat dari banyak bahan kristal silikon yang dicairkan dan panel surya *Poly-Si* ini mempunyai susunan kristal yang acak. Kristal silikon pada panel surya yang tidak sama atau identik menyebabkan panel surya ini menghasilkan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis panel surya bertipe *monocrystalline*, berkisar 13% s.d. 16%.



Gambar 2.1 *Polycrystalline Silicon* [18]

Berdasarkan Gambar 2.1, panel surya *polycrystalline* ini mempunyai bentuk persegi dan mempunyai pola menyerupai bentuk pecahan kaca. Bentuk persegi ini akan membuat modul panel surya dapat terpasang dengan sempurna dan tidak menyia-nyiakan ruang kosong. Panel surya jenis ini lebih banyak dipakai karena harganya yang relatif murah.

b. *Monocrystalline silicon*

Monocrystalline silicon merupakan panel surya dengan efisien tertinggi yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik tinggi. Sel surya *mono crystalline* terbuat dari *crystall silicon* murni yang dipotong tipis-tipis. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi sebesar 20 s.d. 30%.



Gambar 2.2 *Monocrystalline silicon* [18]

Berdasarkan Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa panel surya jenis *monocrystalline* berbentuk hexagonal dan berwarna hitam. Bentuk panel surya hexagonal ini akan menyebabkan panel surya *monocrystalline* akan memiliki lubang atau celah diantara setiap modulnya. Panel surya tipe *monocrystalline* menggunakan kristal dan teknologi yang relatif mahal, membuat panel surya ini relatif mahal dibandingkan dengan panel surya jenis lain yang ada di pasaran.

c. *Thin film solar cell*

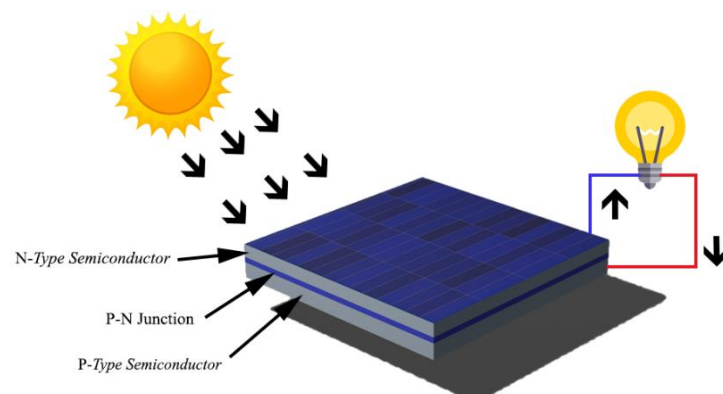
Thin film solar cell adalah jenis panel surya yang terbuat dari dua lapisan dengan tambahan film tipis atau dua atau lebih lapisan tipis dengan bahan *thin film*. Panel surya *thin film* memiliki efisiensi sebesar 8,5% lebih tinggi dibandingkan panel surya *monocrystalline silicon* dan *polycrystalline silicon*. Secara umum, bentuk panel surya *thin film solar cell* seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Thin Film Solar Cell* [18]

Gambar 2.3 menunjukkan panel *thin film solar cell* berbentuk yang sangat ringan dan juga sangat fleksibel, karena terbuat dari satu atau lebih lapisan material yang tipis. Bahan penyusun yang digunakan panel surya diklasifikasikan menjadi tiga yaitu, yaitu *amorphous silicon solar cells*, *cadmium telluride solar cells*, dan *copper indium gallium selenide solar cells*.

Prinsip kerja *photovoltaic* sendiri sebenarnya mirip dengan perangkat dioda semikonduktor yang terbuat dari banyak lapisan. Arus tersebut disebabkan oleh energi foton matahari yang diserap oleh panel. Secara umum, prinsip kerja dari panel surya seperti pada Gambar 2.4.

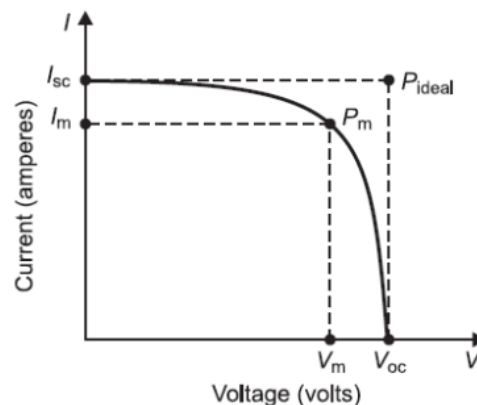


Gambar 2.4 Prinsip Kerja *Solar Cell* [19]

Gambar 2.4 merupakan semikonduktor yang memiliki permukaan luas, terdiri dari rangkaian dioda P dan N [19]. Foton dari cahaya matahari mengenai sisi N dari sel PV dan mengenai daerah deplesi, yaitu daerah yang tidak terdapat elektron dan lubang bebas, energi foton akan menghasilkan pasangan elektron dan lubang bebas di daerah deplesi. Medan listrik pada daerah deplesi akan mendorong elektron dan lubang bebas keluar. Elektron pada sisi N dan lubang bebas pada sisi P akan memiliki perbedaan potensial yang tinggi, dan jika sisi N dan sisi P dihubungkan maka akan terjadi perpindahan elektron pada sisi N ke lubang bebas pada sisi P melalui muatan dan akan menyebabkan terjadinya arus searah.

2.3. Karakteristik dan Parameter Modul Panel Surya

Panel surya terkena sinar matahari dengan tingkat yang berbeda-beda sepanjang hari, namun lebih banyak pada siang hari dibandingkan pada pagi hari. Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan dapat diukur arus dan tegangannya [20]. Modul surya mempunyai beberapa karakteristik kinerja seperti tegangan maksimum V_m , arus maksimum I_m , tegangan rangkaian terbuka V_{oc} , arus hubung singkat I_{sc} , dan *fill factor* FF. Penjelasan mengenai karakteristik panel surya digambarkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva I-V pada Panel Surya [20]

Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik kinerja modul surya dimana tegangan pada titik daya maksimum V_m merupakan tegangan yang dihasilkan modul surya selama beroperasi dengan titik daya tertinggi. Nilai V_m rata-rata kurang lebih 80% s.d. 85% dari nilai V_{oc} panel surya. Arus titik daya maksimum

I_m adalah arus yang dihasilkan modul surya ketika beroperasi pada titik daya maksimum. Biasanya, nilai dari I_m rata-rata sekitar 90% s.d. 95% dari I_{sc} panel surya. Tegangan rangkaian terbuka adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus [20]. V_{oc} dapat terjadi jika kedua terminal dari panel surya terbuka V_{oc} dapat terjadi. Semakin tinggi nilai V_{oc} , maka semakin baik panel surya tersebut.

a. *Short circuit current*

Arus hubung singkat adalah arus keluaran maksimum panel surya yang dapat dialirkan tanpa hambatan atau hubung singkat[20]. I_{sc} dapat terjadi ketika ujung-ujung panel surya saling mendekat. Semakin tinggi nilai dari I_{sc} , maka semakin baik panel tersebut.

b. *Fill factor*

Fill factor merupakan parameter yang menentukan keluaran maksimum dari panel surya. Semakin tinggi nilainya, maka semakin baik panel surya tersebut. Besarnya nilai FF dapat dinyatakan dengan menggunakan Persamaan (2.1) [20].

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) merupakan persamaan nilai *fill factor* untuk menentukan daya keluaran panel maksimum. *Fill factor* adalah hasil kali tegangan suplai maksimum V_m dan I_m adalah arus suplai maksimum dibagi dengan hasil kali tegangan rangkaian terbuka V_{oc} dengan arus hubung singkat I_{sc} . Untuk mencari nilai daya maksimum yang dihasilkan oleh panel dapat menggunakan Persamaan (2.2) [20].

$$P_m = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

Persamaan (2.2) Rumus inilah yang menentukan nilai daya keluaran maksimum yang dihasilkan panel, dimana P_m adalah nilai daya yang dihasilkan panel surya, V_{oc} adalah tegangan rangkaian terbuka, dan FF adalah faktor pengisian.

c. Total energi pada panel surya

Total energi yang dihasilkan modul surya dihasilkan dari jumlah listrik yang dihasilkan setiap jamnya dan hampir tidak berubah dari waktu ke waktu. Besarnya energi yang dihasilkan dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.3) [21].

$$= (W_1 \times h_1) + (W_2 \times h_2) + \dots + (W_n \times h_n) \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) yang menentukan total energi yang dihasilkan panel surya. dimana E adalah total energi yang dihasilkan, h adalah interval waktu dalam jam, dan n adalah jumlah data.

2.4. Solar Charger Controller

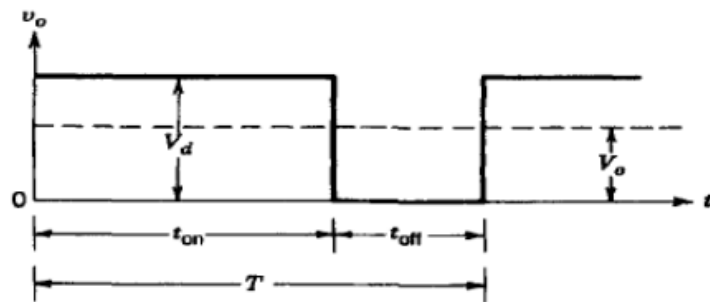
Solar Charger Controller (SCC) adalah perangkat elektronik yang mengisi baterai dan mengatur arus searah yang mengalir dari baterai ke beban. SCC mengontrol pengisian daya baterai yang berlebihan dan tegangan berlebih pada panel surya.



Gambar 2. 6 Solar Charger Controller (SCC) PWM [21]

SCC PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah pengontrol muatan yang mengisi daya baterai dari panel surya dengan menggunakan modulasi pulsa untuk mengontrol kontinuitas pengisian daya. Baterai hampir terisi penuh, SCC PWM secara perlahan mengurangi jumlah arus yang mengalir ke baterai, sehingga mengurangi beban pada baterai [21].

Secara umum PWM adalah metode memanipulasi lebar sinyal yang diwakili oleh pulsa dalam suatu periode, disini bentuk gelombang sinyal PWM adalah bentuk gelombang kotak dengan waktu hidup (t_{on}) dan waktu mati (t_{off}) dalam periode tersebut. Dalam PWM disebut juga perbandingan waktu saat waktu hidup (t_{on}) dibagi jumlah dalam satu periode ($T = t_{on} + t_{off}$), disebut juga dengan istilah *duty cycle* (D). Bentuk dari sinyal SCC PWM seperti pada Gambar 2.7.

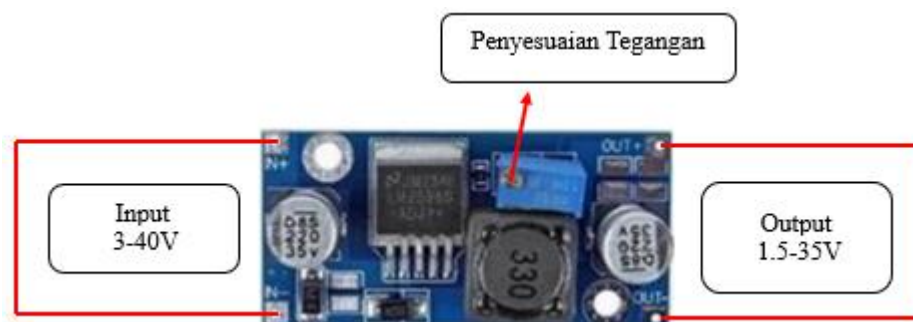


Gambar 2.7 Sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) [22]

Gambar 2.7, Bentuk sinyal menunjukkan tegangan rata-rata yang dapat dibangkitkan oleh SCC dengan metode PWM. Jika nilai T_{off} lebih Panjang dibandingkan dengan nilai T_{on} , maka nilai tegangan rata-rata akan cenderung lebih rendah dari tegangan masukan dan sebaliknya. Namun, jika nilai T_{off} dan T_{on} sama, maka nilai tegangan rata-rata akan menjadi setengah dari tegangan input [22].

2.5. *Module Buck Converter*

Module buck converter merupakan suatu perangkat yang dapat mengubah tegangan masukan DC tinggi menjadi tegangan keluaran DC rendah. Modul ini sangat penting pada sistem dengan rentang tegangan 17 s.d. 48 Volt yang akan diubah menjadi nilai tegangan tertentu seperti 5V, 10V atau 12V. Bentuk modul dari *buck converter* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Module Buck Converter* [21]

Gambar 2.8 menunjukkan *module buck converter* yang menggunakan transistor untuk bertindak sebagai saklar dan memungkinkan tegangan input mengalir melalui induktor. Alat ini merupakan topologi konverter DC/DC yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC. Prinsip kerja rangkaian ini adalah

dengan kendali pensaklaran. Komponen utama pada topologi *module buck converter* adalah saklar, dioda *freewheel*, induktor dan kapasitor [21].

2.6. Baterai Li-Ion

Baterai Litium-ion termasuk dalam keluarga baterai isi ulang dimana *particle* litium bergerak antara anoda dan katoda selama pengisian dan pengosongan. Elektrolit terdiri dari garam litium seperti LiPF₆, LiPF₆ atau LiClO₄ untuk efek pembawa antara anoda dan katoda untuk konduksi litium-ion [23].

Baterai jenis Li-Ion adalah jenis baterai yang umum digunakan pada perangkat elektronik portabel seperti kamera digital, *handphone*, tablet, bahkan mobil listrik. Baterai Li-Ion memiliki masa pakai yang lebih lama dan ringan sekitar 30% serta menawarkan kapasitas sekitar 30% lebih tinggi dibandingkan baterai Ni-MH. Tingkat *self-discharge* adalah sekitar 20% per bulan [12]. Secara umum, bentuk dari baterai Li-Ion seperti pada Gambar 2.9.

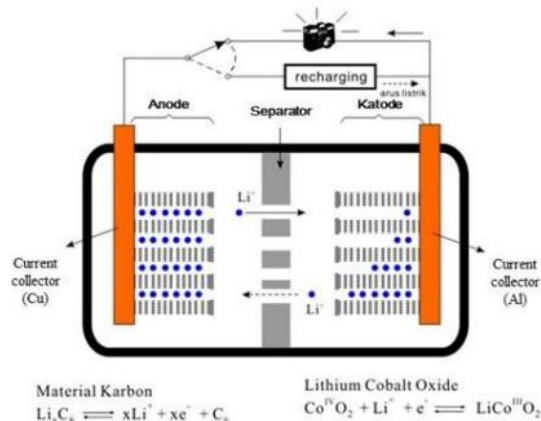


Gambar 2.9 Baterai Li-Ion (*Lithium-Ion*) [12]

Gambar 2.9 merupakan baterai litium, umumnya terdiri dari empat komponen utama, yaitu elektroda positif, elektroda negative, elektrolit dan separator. Elektroda negative dan elektroda positif merupakan elektroda yang berfungsi sebagai pengumpul arus partikel litium dan merupakan bahan aktif. Katoda dan anoda mempunyai fungsi yang sama, namun yang membedakan adalah katoda sebagai elektroda positif dan anoda sebagai elektroda negatif.

Elektroda negatif atau anoda baterai ikut serta dalam reaksi oksidasi setengah sel, melepaskan elektron ke sirkuit eksternal. Reaksi setengah sel terjadi pada sisi positif atau katoda. Artinya, reaksi reduksi kimia terjadi di katoda akibat reaksi reduksi yang menghilangkan elektron dari rangkaian luar. Bahan aktifnya

biasanya berbahan dasar keramik dan mengalami reaksi kimia untuk menghasilkan arus listrik selama proses pengisian dan pengosongan baterai.



Gambar 2.10 Prinsip Kerja Baterai Li-Ion (*Lithium-Ion*) [12]

Prinsip kerja baterai *Li-Ion*, pada proses *charging*, bahan katoda terionisasi sehingga menghasilkan particle litium bermuatan positif, yang bergerak melalui elektrolit menuju komponen anoda, sedangkan elektron yang dipancarkan dilepaskan dan dikirim ke rangkaian eksternal. dan kemudian ke komponen negatif. anoda. Particle litium ini memasuki anoda melalui mekanisme interkalasi.

2.7. Dioda

Dioda adalah komponen elektronik yang memungkinkan arus mengalir hanya dalam satu arah. Karena alasan ini, dioda juga disebut “penyearah”. Dioda terbuat dari bahan semikonduktor silikon dan germanium. Dioda dibuat dengan menggabungkan dua jenis semikonduktor yaitu tipe P (*Positive*) dan tipe N (*Negative*), cabang dioda yang terhubung ke semikonduktor tipe P disebut “*Anode*” dan cabang yang terhubung pada semikonduktor tipe N disebut “*Katode*”. Secara umum, bentuk dari dioda seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Bentuk dan Simbol Dioda [21]

Dalam bentuk aslinya, dioda memiliki cincin melingkar di salah satu sisinya, ini digunakan untuk menunjukkan bahwa salah satu sisi cincin merupakan cabang *Katode*. Arus listrik akan sangat mudah mengalir dari anoda ke katoda hal ini disebut sebagai “*Forward-Bias*” tetapi jika sebaliknya yakni dari katoda ke anoda, arus listrik akan tertahan atau tersumbat hal ini dinamakan sebagai “*Reverse-Bias*” [21].

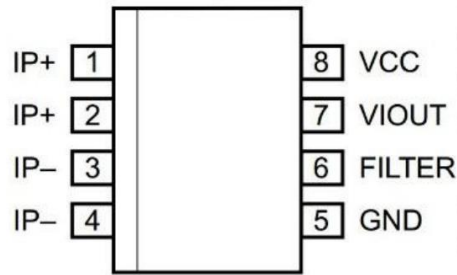
2.8. Battery Management System (BMS)

Battery Management System (BMS) adalah cara untuk mengelola dan memantau kinerja baterai untuk menciptakan sistem yang lebih ideal karena siklus kerja baterai dapat diperpanjang. Salah satu desain BMS adalah Memperkirakan status pengisian daya (Nilai SOC), yaitu rasio kapasitas muatan baterai yang tersedia. BMS memberikan informasi tentang persentase muatan yang masih tersedia dalam baterai, yang menunjukkan kapan baterai terisi penuh. Tujuannya adalah untuk meminimalisir tegangan lebih yang terjadi ketika diisi daya berlebih (*overcharge*) yang menyebabkan penurunan kinerja dan kapasitas penyimpanan baterai [14].

2.9. Sensor Arus ACS712

Sensor arus yang digunakan pada baterai manajemen sistem menggunakan jenis IC ACS 712ELCTR-30A-T adalah komponen yang memiliki fungsi untuk mengukur arus listrik AC maupun DC, data keluaran dari sensor ini berupa signal analog yang kemudian dikirim ke mikrokontroler[7].

Sensor arus ini bekerja berdasarkan prinsip *hall effect*, Ketika arus mengalir melalui jalur tembaga didalam sensor, medan magnetic yang terbentuk akan diubah oleh Hall IC menjadi tegangan yang proporsional. Diagram pin keluaran pin dari sensor arus ACS712-30A [18].



Gambar 2. 12 Pin Diagram Pada ACS712-30 A [18]

2.10. Sensor LM35

Sensor suhu LM35 yaitu sensor suhu yang memiliki desain yang paling sederhana dibandingkan dengan sensor suhu yang lainnya dan dimiliki linieritas yang tinggi. Sensor LM35 akan mengkonversi nilai tegangan menjadi besaran suhu. Setiap tegangan 10mV pada sensor suhu LM35 dapat dikonversi menjadi 1°C.



Gambar 2. 13 Sensor LM35

Sensor LM35 adalah sirkuit terpadu yang presisi dengan tegangan keluaran secara langsung sebanding dengan suhu Celcius. Gambar 2.13 menunjukkan Sensor suhu LM35, LM35 tidak membutuhkan kalibrasi *eksternal* atau tambahan komponen untuk akurasi karena LM35 sendiri sudah akurasi $\pm 1/4$ °C pada suhu kamar dan $\pm 3/4$ °C pada rentang suhu penuh -55 °C hingga 150 °C, dan ada 3 pin yang tersedia di sensor suhu LM35 yang pin kiri (+) adalah Vcc, pin tengah (*out*) disambungkan pin analog dan pin kanan (-) di-ground [24].

2.11. Relay

Relay adalah saklar elektronik yang menggunakan medan electromagnet untuk menggerakkan saklar dari posisi tidak aktif ke posisi aktif. Rele hanya membutuhkan daya yang kecil untuk mengaktifkannya dan dapat mengontrol rangkaian yang berdaya besar dengannya. Saklar pada relay akan terjadi perubahan

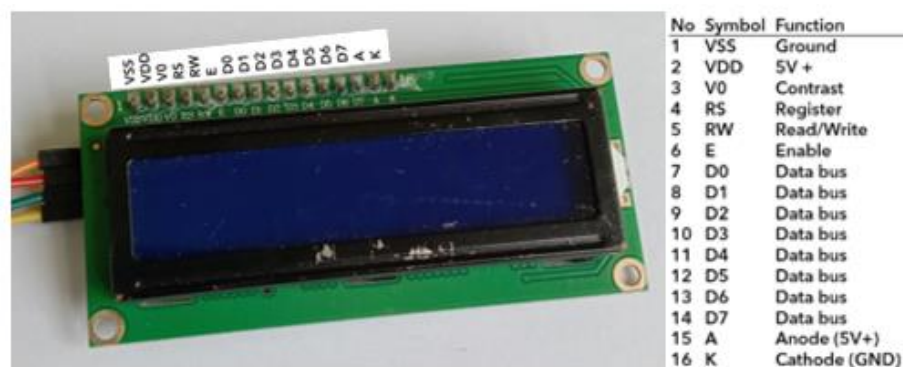
posisi off ke ON pada saat diberikan energi elektromagnetik pada armatur relay tersebut. Modul relay pada dasarnya terdiri dari 2 bagian utama yaitu saklar mekanik dan sistem pembangkit elektromagnetik (induktor inti besi). Saklar atau kontak relay dikendalikan menggunakan tegangan listrik yang diberikan ke induktor, pada saat diberikan energi listrik maka akan terjadi elektromagnetik yang dapat menggerakkan kontak[21], Sebuah relay tersusun atas kumparan, pegas, saklar, dan 2 kontak elektronik (*normally close* dan *normally open*) [10].



Gambar 2. 14 Relay

2.12. LCD

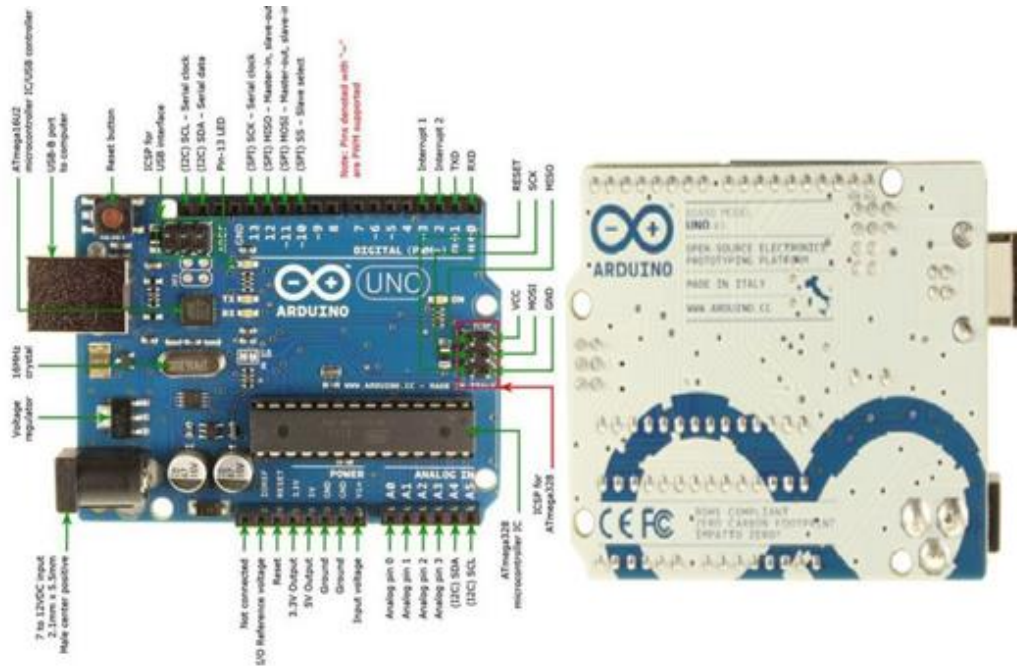
LCD merupakan salah satu perangkat penampil yang sekarang ini mulai banyak digunakan. Penampil LCD mulai dirasakan menggantikan fungsi dari penampil CRT (*Cathode Ray Tube*), yang sudah berpuluh-puluh tahun digunakan manusia sebagai penampil gambar/teks baik monokrom (hitam dan putih), maupun yang berwarna. Teknologi LCD memberikan keuntungan dibandingkan dengan teknologi CRT, karena pada dasarnya, CRT adalah tabung triode yang digunakan sebelum transistor ditemukan [21].



Gambar 2. 15 LCD 2X16

2.13. Arduino Uno R3

Mikrokontroler Arduino adalah sebuah platform komputasi fisik *open source* berbasiskan Rangkain *input / output* sederhana (I/O) dan lingkungan pengembangan yang mengimplementasikan bahasa *Processing*.



Gambar 2. 16 Board Arduino Uno R3 [18]

Arduino dapat digunakan untuk mengembangkan objek interaktif mandiri atau dapat dihubungkan ke perangkat lunak pada komputer anda (seperti Flash, Pengolahan, VVVV, atau Max / MSP). Rangkaiannya dapat dirakit dengan tangan atau dibeli. IDE (*Integrated Development Environment*) Arduino bersifat *open source*. Arduino Uno adalah sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328.

Berikut ini adalah deskripsi masing-masing pin yang ada pada mikrokontroler arduino uno.

Tabel 2.2 Deskripsi Pin Mikrokontroler Arduino Uno

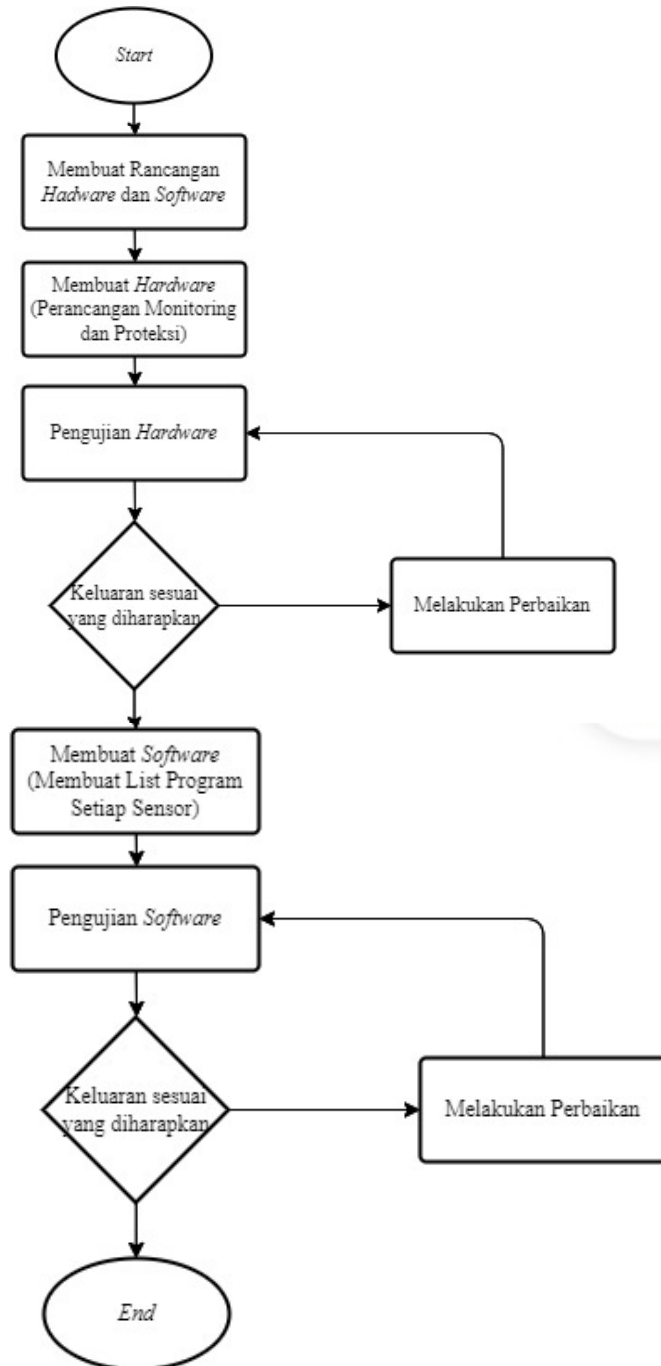
<i>Microcontroller</i>	ATmega328
<i>Operating Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-9V
<i>Input Voltage (Limits)</i>	6-20V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (of which 6 provide PWM output)
<i>Analog Input Pins</i>	6

<i>DC Current per I/O Pin</i>	40 mA
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (ATmega328) (0,5 KB used by <i>bootloader</i>)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 *Flowchart* Penelitian

Flowchart penelitian digunakan sebagai panduan dalam melakukan suatu penelitian. Diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1

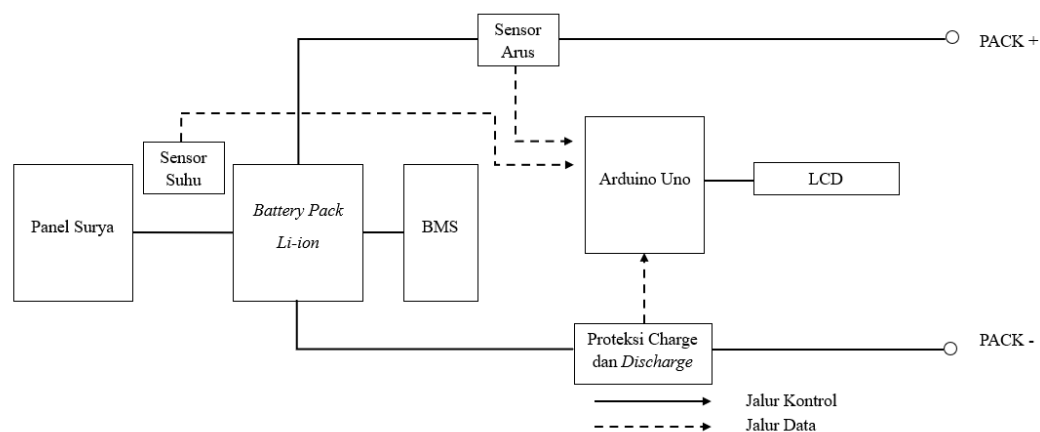


Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

Bagian pertama dalam penelitian adalah merancang model dari *hardware* dan *software* yang akan dibuat. Rancangan *hardware* yang dibuat adalah perancangan untuk alat Monitoring dan proteksi yang terdiri dari perancangan desain model atau bentuk alat, perancangan rangkaian listrik dan perancangan sistem alat. Sedangkan, perancangan *software* yang dibuat adalah membuat list program dari setiap sensor. Pembuatan *hardware* dilakukan sesuai rancangan yang telah dibuat dengan menghubungkan panel surya *photovoltaic*, baterai dan komponen lainnya. Setelah alat selesai dibuat, maka selanjutnya adalah tahap pengujian alat, baik dari pengujian komponen dan pengujian alat secara keseluruhan, hingga mendapatkan output yang diharapkan yaitu dapat memonitoring dan memproteksi baterai.

3.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan *hardware* atau perangkat keras yang dibuat adalah Perancangan dan pembuatan rangkaian listrik untuk sistem monitoring dan proteksi yang meliputi rangkaian sensor arus, sensor suhu, relay dan monitoring.



Gambar 3. 2 Blok Diagram Alat

Berdasarkan Gambar 3.2 Perancangan dan pembuatan Rangkaian Listrik terdiri dari Monitor yang menggunakan lcd 2x16 untuk dapat memonitor baterai dengan melihat besaran suhu dan arus, mikrokontroler Arduino uno sebagai otak dari sitem dalam pemrosesan data, lampu indikator sebagai indikator apabila USB *port* siap digunakan, dan *relay* yang akan menyambungkan daya dari baterai sampai

USB *port*. Mikrokontroler sebagai otak diprogram oleh user untuk melakukan hal yang diinginkan user sesuai tujuan yaitu untuk menjaga baterai agar berumur panjang. Perintah yang diberikan berupa proteksi dengan indikator dari sensor arus dan suhu. Perintah yang telah diberikan oleh *user* akan diproses ke mikrokontroler Arduino uno untuk diaktifkan *relay* jika terjadi *over Current* atau temperatur lebih. Setelah *relay* aktif, maka aliran arus yang mengalir akan dimatikan atau diputus.

3.1.1 Spesifikasi Panel Surya *Monocrystalline* 10 WP

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya berjenis *monocrystalline* yang memiliki kapasitas sebesar 10 WP, dengan tegangan maksimalnya yaitu sebesar 17,82 V. Panel surya yang digunakan juga memiliki arus maksimal sebesar 0,57A. Panel surya *monocrystalline* 10 WP ini memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel Surya *Monocrystalline* 10 WP

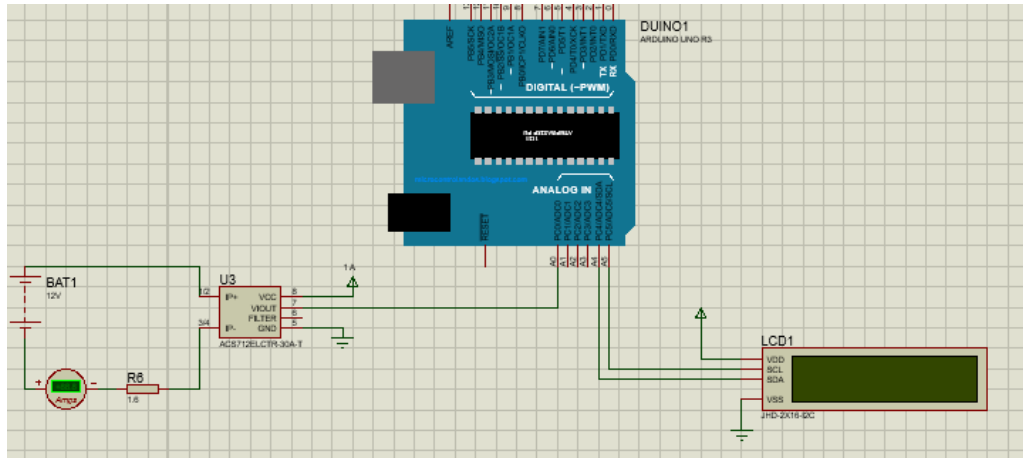
Model	GH10M-18
<i>Rated Maximum Power (W)</i>	10
<i>Tolerance (%)</i>	3
<i>Voltage at Pmax (V)</i>	17,82
<i>Current at Pmax (A)</i>	0,57
<i>Open-Circuit Voltage (V)</i>	21,96
<i>Short-Circuit Current (A)</i>	0,63
<i>Normal Operating Cell Temp (°C)</i>	47±2
<i>Maximum System Voltage (Vdc)</i>	1000
<i>Maximum Series Fuse Rating (A)</i>	7
<i>Operating Temperature (°C)</i>	-40 to + 85
<i>Application Class</i>	<i>Class A</i>
<i>Cell Technology</i>	<i>Mono-Si</i>
<i>Weight (Kg)</i>	1
<i>Dimension (mm)</i>	350 x 255 x 17

Berdasarkan Tabel 3.1 diketahui spesifikasi panel surya monocrystalline 10 WP. Penelitian menggunakan panel surya jenis ini karena sangat sesuai dengan judul penelitian, biaya yang relative murah, dan mudah dalam penggunaan.

3.1.2 Perancangan sensor arus ACS712

Sensor arus digunakan untuk mengukur arus yang mengalir saat pengisian dan pengosongan yang akan tampil di LCD. Sensor arus juga digunakan untuk mendeteksi kondisi *overcurrent*.

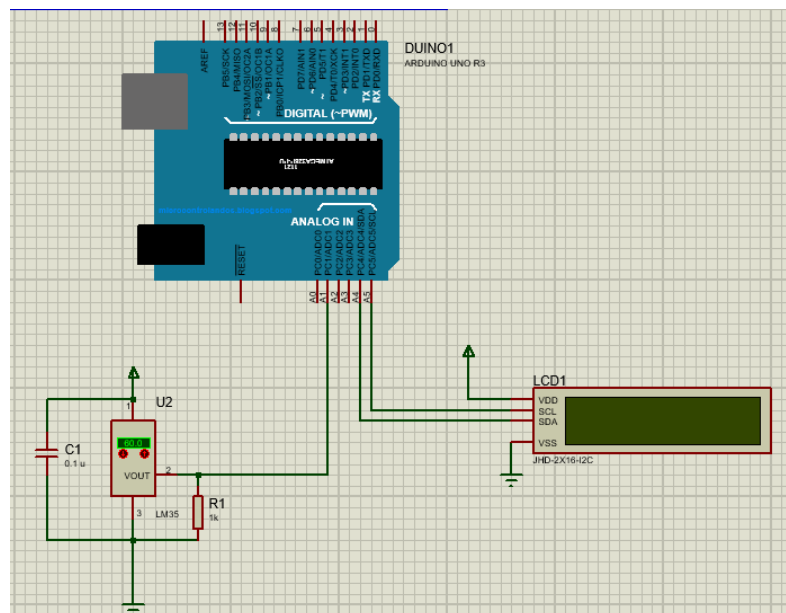
Penelitian ini menggunakan sensor arus ACS712-30A ini yang memiliki sensitivitas sebesar 66mV/A dengan rentang pengukuran -30 A sampai 30 A. keluaran tegangan maksimalnya pada sesor ini sebesar 5V dirancang sesuai *datasheet* ACS712.



Gambar 3. 3 Rangkaian Arus ACS712

3.1.3 Perancangan sensor Suhu LM35

Rangkaian sensor suhu dibuat untuk mengukur suhu baterai. Sensor suhu juga digunakan untuk mendeteksi kondisi *overheat* pada baterai. Sensor suhu yang digunakan adalah LM35 dengan sensitivitas 10 mV/ $^{\circ}$ C. Rangkaian suhu pada penelitian ini dirancang memiliki rentang pengukuran 0 $^{\circ}$ C sampai 50 $^{\circ}$ C.



Gambar 3. 4 Rangkaian Sensor Suhu LM35

Fungsi transfer dari sensor ini ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$V_o = adc \times \left(\frac{5000}{1023} \right) \dots \dots \dots (3.1)$$

$$T = \frac{V_o}{10 \text{ mV}} \dots \dots \dots (3.2)$$

T adalah suhu yang diukur dalam satuan celcius. Tegangan keluaran maksimal sensor dihitung sebagai acuan tegangan masukan ADC oleh mikrokontroler. Nilai tegangan keluarah maksimal sensor dapat dihitung menggunakan persamaan (3.2).

$$V_o = 10 \text{ Mv} \times T$$

$$V_o = 10 \text{ mV} \times 50^{\circ}\text{C}$$

$$V_o = 500 \text{ mV} = 0.5 \text{ V}$$

Keluaran sensor berada dalam rentang nilai tegangan ADC sebesar 0V sampai 1 V , sehingga tidak perlu rangkaian tambahan pada sensor suhu.

R1 atau resistor *pulldown* terkecil dapat dihitung menggunakan persamaan

$$R = \frac{v}{i} \dots \dots \dots (3.3)$$

Vo saat suhu terbaca maksimal yaitu 0.6 V. arus maksimal yang dikeluarkan menurut *datasheet* sebesar 10 mA.

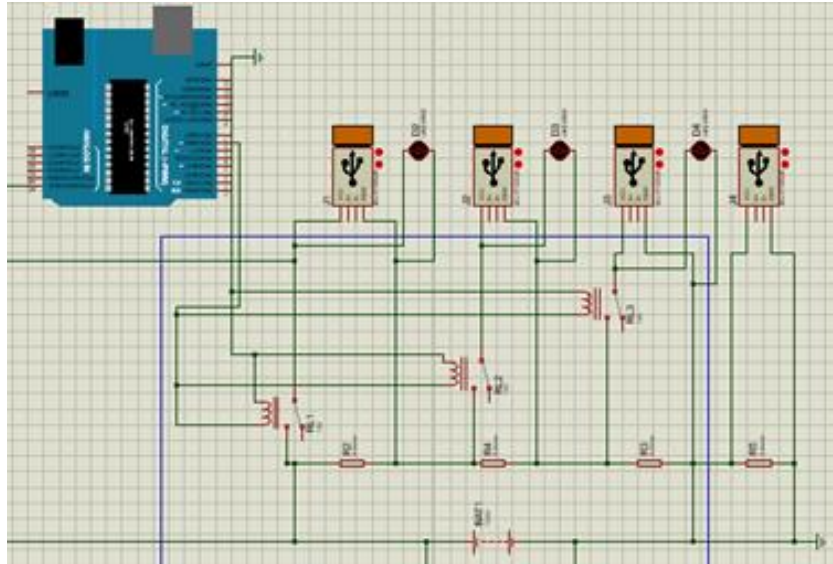
$$R1 = \frac{0,5}{0,01}$$

$$R1 = 50 \Omega$$

R1 dipilih diatas R1 terkecil untuk agar konsumsi arus semakin kecil. R1 dipilih sebesar 1k Ω .

3.1.4 Perancangan Proteksi

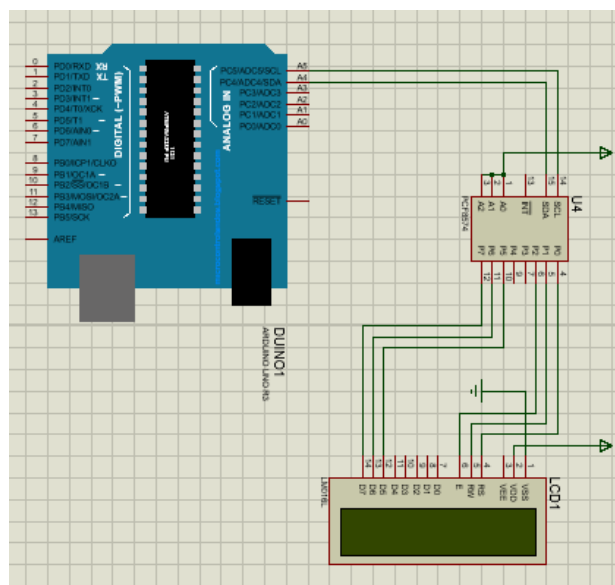
Rangkaian proteksi berfungsi untuk memutus rangkaian baterai susun dengan beban atau pengisi daya Ketika terjadi kondisi *overcurrent* dan *overheat*. Rangkaian proteksi terdiri rele sebagai komponen utama Rele yang digunakan dapat mengalirkan dan memutus arus maksimal sebesar 1 A. Tegangan kerja rele sebesar 12 V.



Gambar 3. 5 Rangkaian Proteksi

3.1.5 Perancangan Monitoring

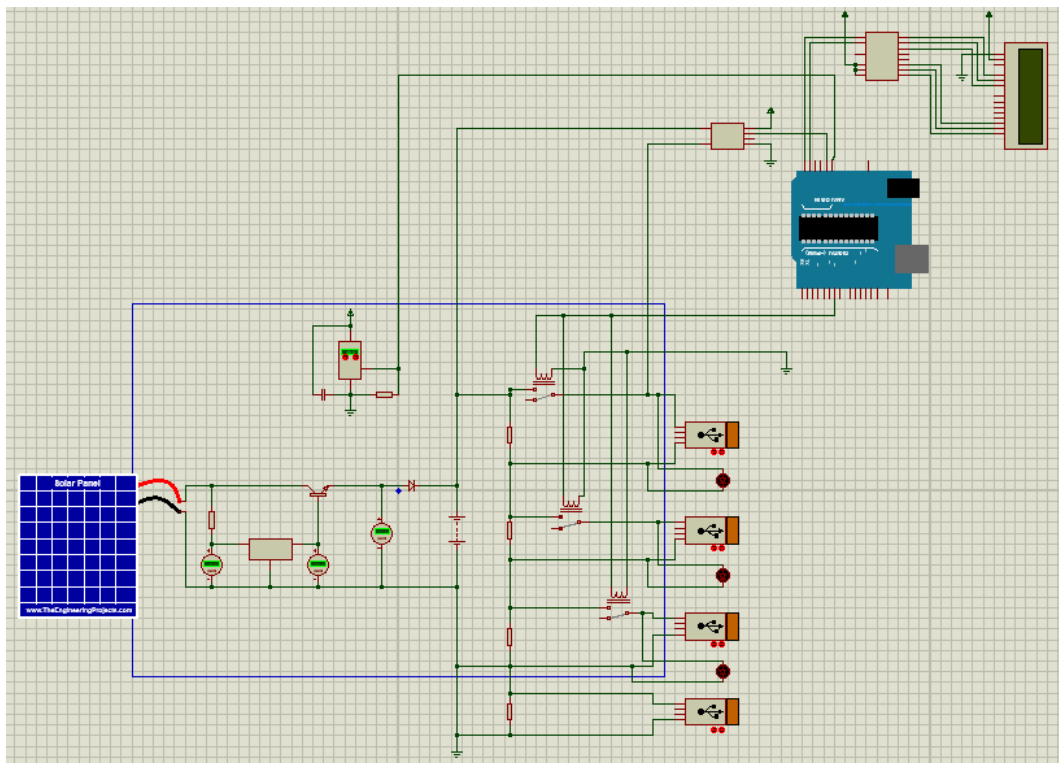
Sistem pemantauan adalah sistem yang memberikan umpan balik ketika suatu program menjalankan fungsinya. Umpan balik harus memberikan informasi tentang status sistem saat ini. Sistem pemantauan baterai dirancang untuk memperoleh informasi tentang kesehatan baterai, seperti memantau suhu dan arus baterai. Proses monitoring menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan parameternya ditampilkan melalui LCD (*liquid crystal display*) berukuran 16 x 2.



Gambar 3. 6 Rangkaian Monitoring

3.1.6 Perancangan Rangkaian Listrik

Perancangan rangkaian listrik alat *charger station* terdiri beberapa komponen elektronik, seperti panel surya *photovoltaic monocrystalline* 10 WP, *solar charger controller* SCC PWM, *stepdown buck converter*, dioda, rangkaian baterai, mikrokontroler NodeMCU, *relay*, lampu LED, dan *module charger*. Rancangan baterai yang digunakan disusun dari 15 baterai lithium-ion 18650, *board* BMS 20 A, dan *holder* baterai 3S. Perancangan rangkaian listrik alat menggunakan *software* Proteus. Adapun Perancangan rangkaian listrik alat ditunjukkan pada Gambar 3.6.

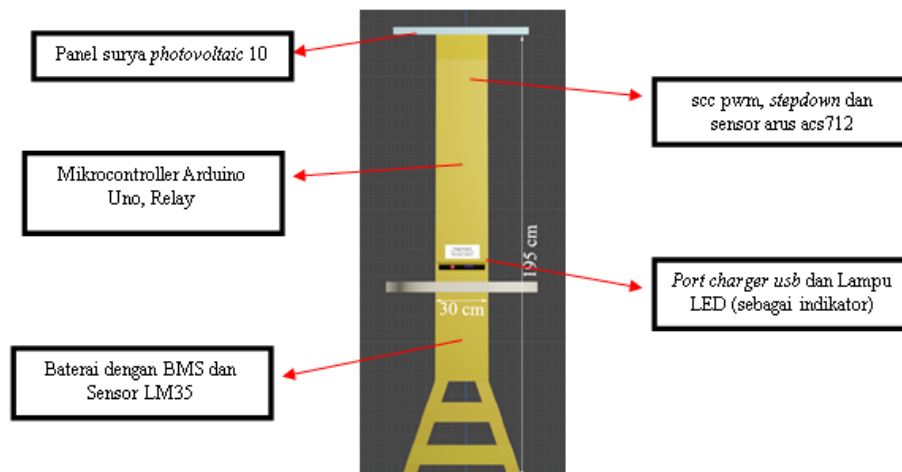


Gambar 3.7 Rangkaian Listrik

Gambar 3.6 menunjukkan rangkaian dimulai dari panel surya *monocrystalline* 10 WP yang disambungkan dengan *stepdown converter*, selanjutnya disambungkan dengan *relay*, *module charger*, dan lampu LED. Arduino akan dipasang sebagai kendali untuk sensor dan *relay*.

3.1.7 Perancangan Desain Alat

Perancangan desain alat dibuat dalam bentuk dua dan tiga dimensi dengan menggunakan *software* Blender. Desain dari alat yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.7.

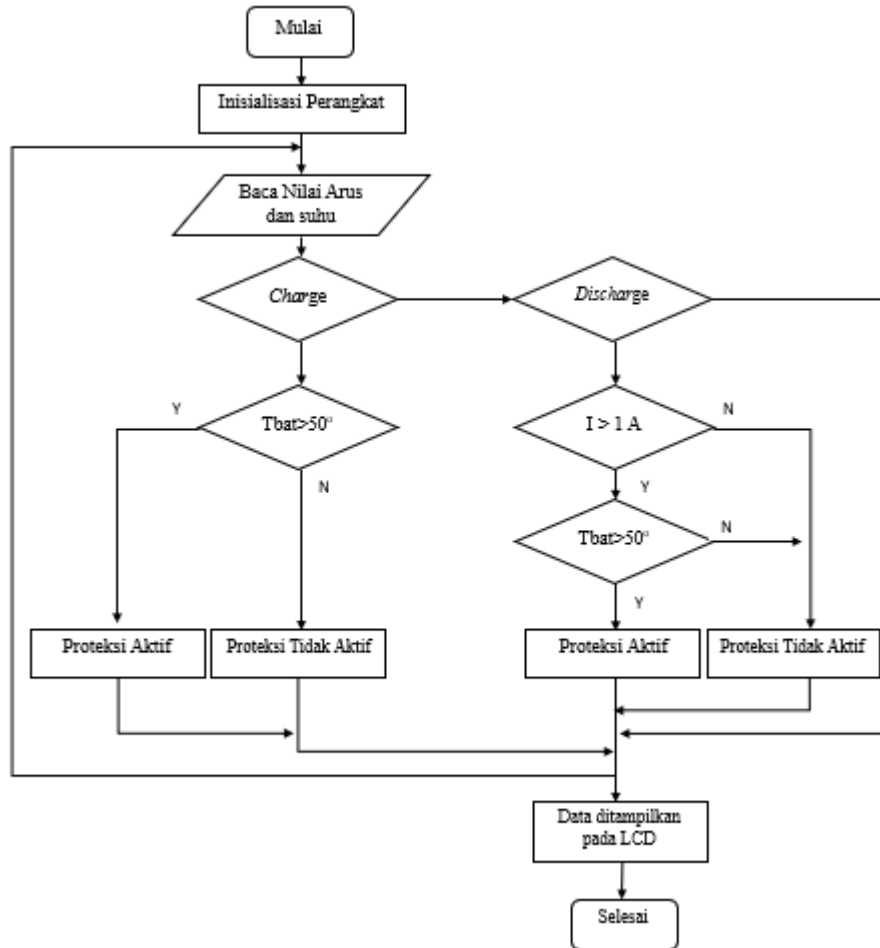


Gambar 3. 8 Desain 3D Alat

Gambar 3.7 menunjukkan perancangan desain gambar tiga dimensi alat. Desain alat tiga dimensi memiliki tata letak tiap komponen yang diatur sehingga terlihat rapih antar komponen. Desain dibuat sedemikian rupa agar mudah digunakan. Terdapat lima komponen pada alat yaitu panel surya 10 WP, *port* USB, *emergency port*, baterai 10 Ah dengan BMS, dan mikrokontroler Arduino Uno.

3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dirancang untuk sebagai acuan langkah kerja mikrokontroler. Perancangan dilakukan dengan membuat algoritma program. Algoritma program akan dibuat pada mikrokontroler dengan bahasa C. Algoritma program keseluruhan ditunjukkan dengan diagram alir (*flowchart*) dalam gambar 3.7.



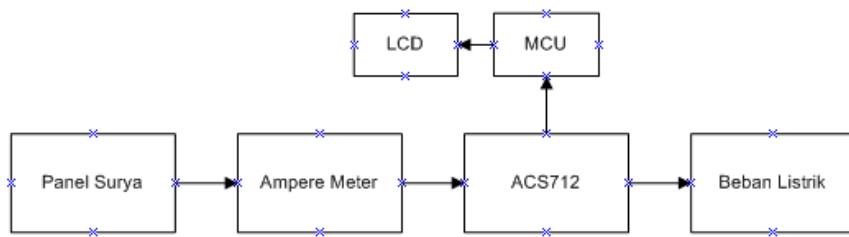
Gambar 3. 9 Diagram Alir Sistem Alat

3.3 Pengujian Alat

Pengujian alat diperlukan untuk menganalisis kinerja alat yang dibuat. Dilakukan pada masing-masing perangkat keras dan perangkat lunak. Kemudian pengujian secara keseluruhan agar dapat diketahui kinerja keseluruhan alat pengujian alat tersebut.

3.3.1 Pengujian Rangkaian Sensor Arus

Pengujian rangkaian sensor arus bertujuan untuk membaca nilai arus yang terbaca pada sensor arus. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai arus yang terbaca mikrokontroler dengan nilai arus yang terbaca pada ampermeter.



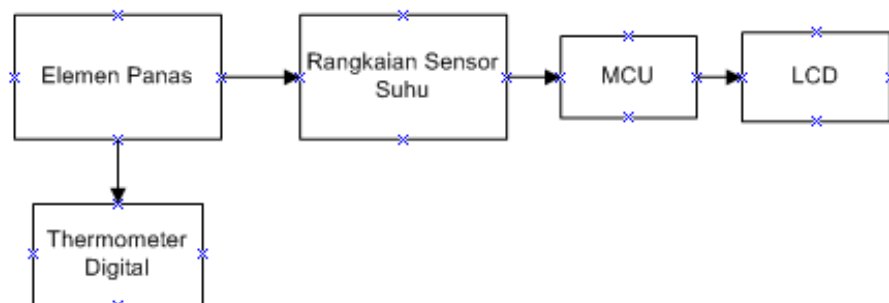
Gambar 3. 10 Diagram Blok Pengujian Pembacaan Sensor Arus

Pada Diagram diatas menjelaskan pada saat pengujian dilakukan, sumber teggangan menggunakan panel surya dan untuk pembaca arusnya terdapat sensor arus Acs712 dan ampere meter. Beban yang digunakan adalah resistor dan untuk yang menampilkan data hasil dari sensor adalah LCD.

3.3.2 Pengujian Rangkaian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu bertujuan untuk membaca nilai suhu pada sensor LM35. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai suhu pada termometer digital dengan nilai suhu LM35 yang terbaca pada mikrokontroler.

Pada Diagram 3.11 menjelaskan pada saat pengujian dilakukan, menggunakan elemen panas yaitu sebuah solder dan untuk pembaca arusnya terdapat sensor arus Acs712 dan Thermometer sebagai pembandingnya untuk yang menampilkan data hasil dari sensor adalah LCD.



Gambar 3. 11 Diagram Blok Pengujian Rangkaian Suhu

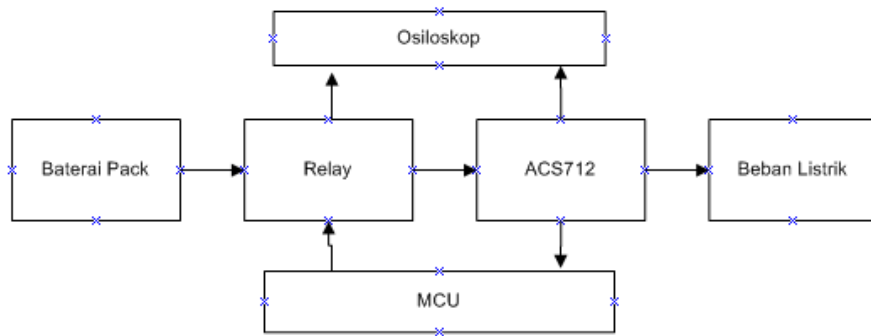
3.3.3 Pengujian Rangkaian Proteksi

Pengujian rangkaian proteksi bertujuan untuk melihat kinerja dari rele saat memutus rangkaian. Pengujian dilakukan dengan memberikan kondisi *overcurrent* dan *overheat* kemudian dilihat sinyal respon yang ditampilkan.

1. Pengujian *Overcurrent*

Pengujian proteksi *overcurrent* dilakukan dengan memberikan beban listrik berupa HP pada baterai susun.

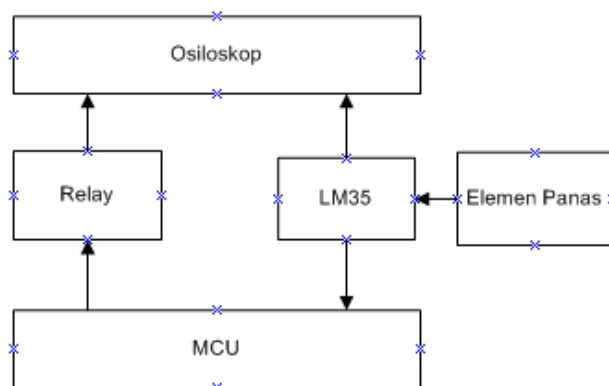
Pada Diagram 3.12 menjelaskan pada saat pengujian dilakukan, sumber tegangan menggunakan Baterai dan untuk pembaca arusnya terdapat sensor arus Acs712 dan ampere meter. Beban yang digunakan adalah potensiometer dan untuk pemutus rangkaian terdapat relay serta untuk yang menampilkan data hasil dari sensor adalah LCD.



Gambar 3. 12 Diagram Blok Pengujian Proteksi *Overcurrent*

2. Pengujian *Overheat*

Pengujian proteksi *Overheat* dilakukan dengan memberikan panas dengan elemen pemanas pada sensor suhu.



Gambar 3. 13 Diagram Blok Pengujian Proteksi *Overheat*

Pada Diagram 3.13 menjelaskan sumber tegangan menggunakan Baterai dan untuk pembaca arusnya terdapat sensor arus Acs712 dan ampere meter. Beban yang

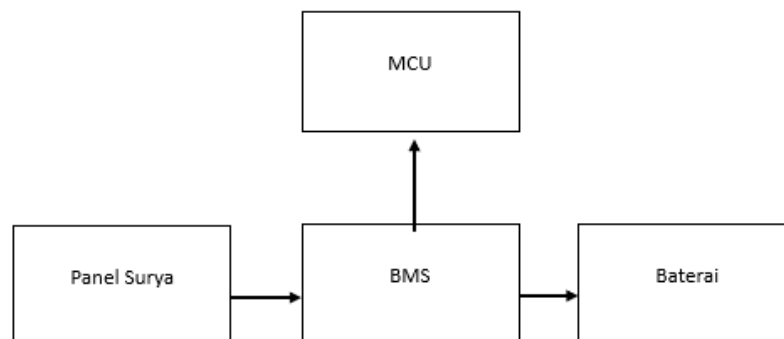
digunakan adalah potensiometer dan untuk pemutus rangkaian terdapat relay serta untuk yang menampilkan data hasil dari sensor adalah LCD

3.3.4 Pengujian Keseluruhan

Pengujian kesuluran bertujuan untuk mengetahui kinerja keseluruhan BMS yang dibuat. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan semua perangkat keras sesuai dengan diagram blok keseluruhan lalu memasukan program sesuai *flowchart* pada mikrokontroler. Parameter yang diuji adalah nilai tegangan baterai susun, rata-rata tegangan, nilai arus, nilai suhu, status proteksi. Pengujian keseluruhan dibagi atas 2 kondisi yaitu kondisi *charge* dan *discharge*.

1. Pengujian kondisi *charge*

Pengujian keseluruhan pada kondisi *charge* dilakukan dengan mengisi baterai susun menggunakan *charger* melalui BMS.

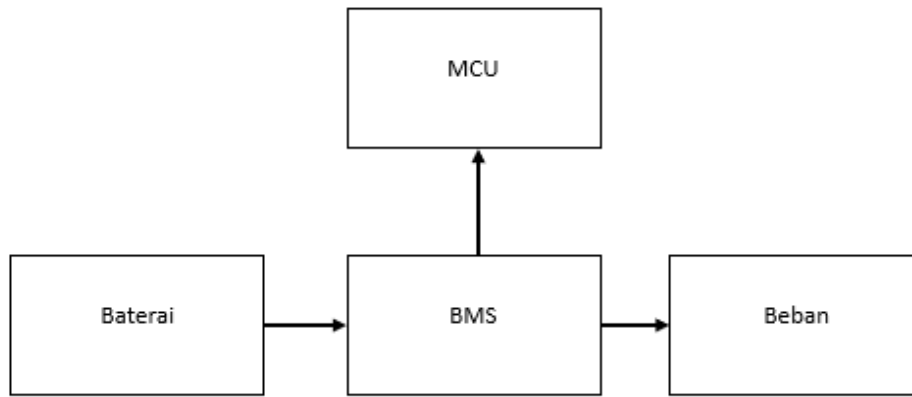


Gambar 3. 14 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Kondisi *Charge*

Pada Diagram diatas menjelaskan pada saat pengujian dilakukan, sumber tegangan menggunakan Panel Surya dan untuk peneimbang baterai terdapat rangkaian BMS serta untuk penyimpanannya adalah baterai.

2. Pengujian kondisi *Discharge*

Pengujian keseluruhan pada kondisi *Discharge* dilakukan dengan menghubungkan baterai susun dengan beban resistif melalui BMS. Pada Diagram 3.15 menjelaskan pada saat pengujian dilakukan, sumber tegangan menggunakan Baterai dan untuk peneimbang baterai terdapat rangkaian BMS serta untuk bebannya adalah *Handphone*.



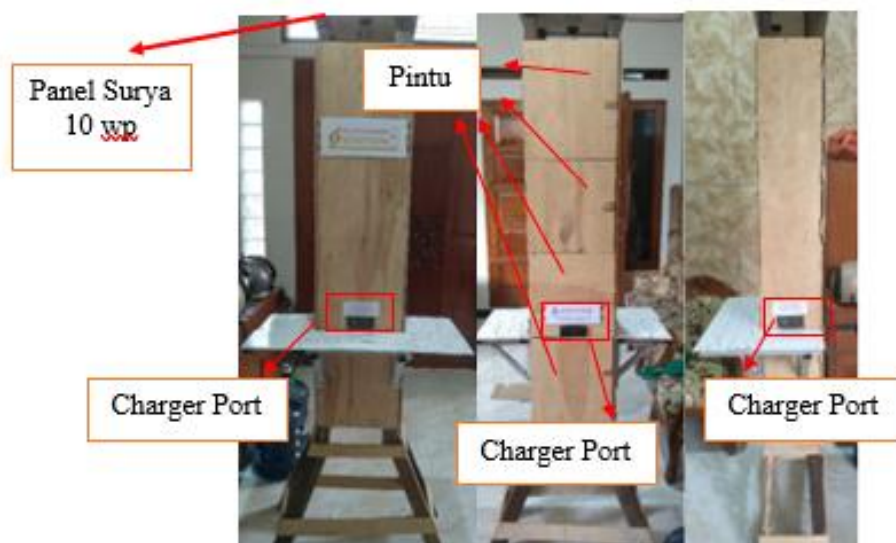
Gambar 3. 15 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Kondisi Discharge

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perancangan *Hardware*

Perancangan perangkat keras atau *hardware* yang telah didesain pada sub bab 3.1.7 diterapkan dalam bentuk yang sesuai dengan perancangan agar memudahkan dalam pengaplikasian dan simulasi sistem. Alat yang digunakan diimplementasikan dengan bahan dari kayu yang di dalamnya terdapat komponen – komponen alat. Berikut merupakan hasil dari perancangan *hardware* yang sudah dibuat ditunjukkan pada Gambar 4.1.

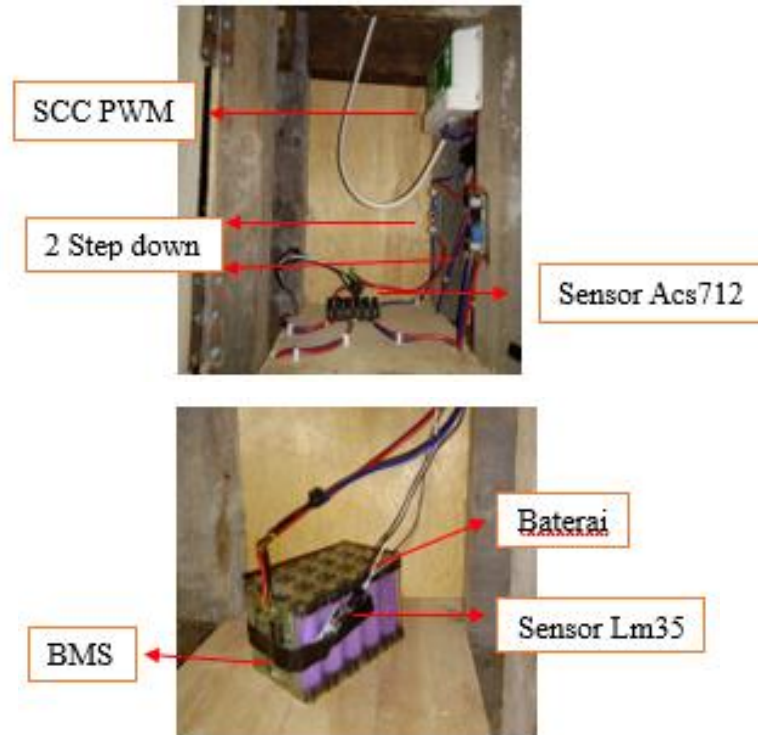


Gambar 4.1 *Charger Station* Tampak Depan, Belakang, dan Samping

Gambar 4.1 merupakan alat berdasarkan tampak depan, belakang dan samping. Bagian atas terdapat panel surya 10 WP Dimana berfungsi untuk memaksimalkan paparan terhadap sinar matahari, dengan menempatkan panel surya di bagian atas, panel surya akan menerima paparan sinar matahari yang optimal dan dapat dipastikan bahwa panel tersebut berfungsi pada kapasitas maksimumnya dan memberikan hasil yang optimal dalam menghasilkan energi listrik dari sinar matahari.

Setiap sisi terdapat *charger port* dengan tiga buah *charger port* yang terhubung dengan sistem pengaman dan satu buah *charger port* untuk *emergency*

charger port untuk opsi jika ada problem disistem. Tiap *charger port* diberikan meja. Bagian badan alat berbentuk rak dengan berjumlah empat rak dan pada bagian belakang diberikan pintu yang dapat dibuka.

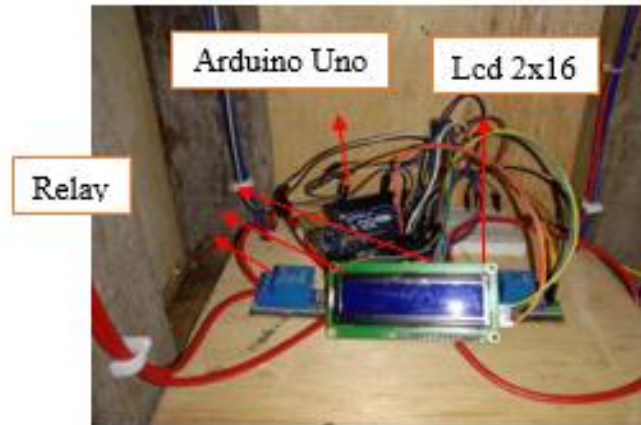


Gambar 4.2 Bagian Dalam Rak Satu dan Empat (Rangkaian Listrik)

Gambar 4.2 berisi SCC PWM yang terhubung langsung dengan panel surya dan dua buah *stepdown* Dimana keluarannya akan menuju ke beban atau port. *Solar charger controller* berfungsi untuk membatasi pengisian daya dari panel surya ke baterai, sedangkan untuk dua buah *stepdown* memiliki fungsi yang berbeda. *Stepdown* pada bagian dalam berfungsi menurunkan tegangan untuk menuju *port* yang terhubung dengan sistem, sedangkan *stepdown* yang berada di dekat pintu berfungsi menurunkan tegangan untuk menuju *emergency port*.

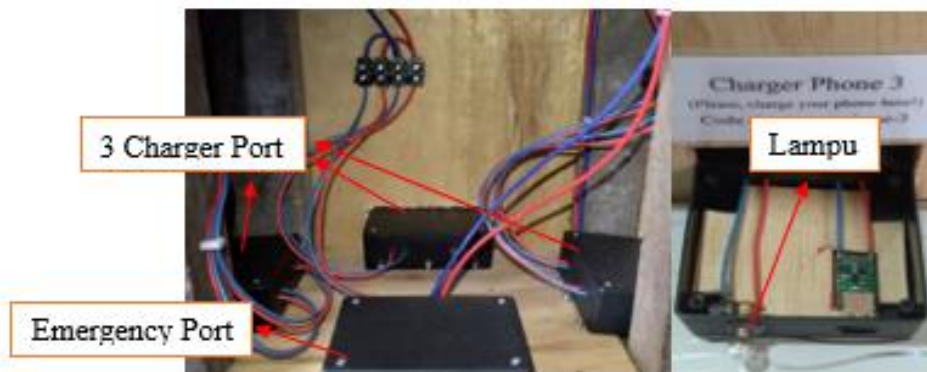
SCC PWM dan *stepdown* dipasang sejajar dengan jalur kabel dari panel surya dan jalur kabel menuju baterai dipasang sensor arus acs712 yang dihubungkan seri antara port dan baterai. Pada bagian rak bawah atau empat terdapat baterai yang sudah terhubung dengan BMS 20A yang berfungsi untuk menyimbang baterai, baik saat pengisian maupun saat pengosongan dan disamping baterai terdapat sensor lm35 yang menempel Dimana berfungsi untuk akurasi suhu

baterai jika terjadi *overheat*. Alat ini didesain sedemikian rupa untuk memudahkan dalam merapikan tampilan dari rangkaian listrik alat. Berikut adalah Gambar 4.3 bagian dalam rak dua.



Gambar 4.3 Bagian Dalam Rak Dua

Gambar 4.3 merupakan bagian dalam dari rak dua yang berisi Arduino Uno, *relay* dan *lcd*. Komponen disusun dengan mengikuti dari jalur kabel menuju *port*, sedangkan untuk Arduino diletakkan dekat dengan *relay* dan *lcd* agar memudahkan dalam pemasangan kabel *jumper* antara Arduino Uno dengan *relay* dan juga *lcd*. Berikut adalah Gambar 4.4 bagian dalam rak tiga.



Gambar 4.4 Bagian Dalam Rak Tiga Modul *Charger*

Gambar 4.4 menunjukkan bagian dalam dari rak tiga alat, yang berisi empat *box* hitam serta rangkaian listriknya. Tiga *box* berisi *charger* dan lampu, sedangkan untuk satu *box*, yaitu *box* untuk *emergency port* hanya berisi *charger port* saja.

4.2. Pengujian Alat

Pengujian pada alat digunakan untuk menentukan apakah alat dan sistem yang dibuat berjalan dan sesuai yang dirancang atau tidak. Pengujian dilakukan dengan melakukan serangkaian percobaan untuk mengetahui kemungkinan yang terjadi dalam setiap proses percobaan. Pengujian yang dilakukan dibagi atas 5 pengujian, yaitu pengujian Sensor arus acs712, pengujian sensor suhu Lm35, pengujian proteksi, pengujian monitoring dan pengujian keseluruhan alat. Pengujian alat dilakukan untuk memastikan peralatan yang digunakan dapat diterapkan pada sistem dan tidak terjadi *error* ataupun mengalami kerusakan pada alat dan sesuai yang diinginkan. Alat yang digunakan yaitu Arduino Uno, Sensor Arus ACS712, Sensor Suhu LM35, dan LCD I2C 16X2.

Pengukuran dilakukan setelah masing-masing alat dilakukan kalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan perbandingan antara pembacaan sensor dengan alat yang sudah ada seperti multimeter dan juga termometer. Kalibrasi sensor arus dilakukan dengan cara membuat rangkaian sederhana dimana didalamnya ada tegangan input, sensor arus acs712, led dan resistor sebagai beban. Alat tersebut dihubungkan ke mikrokontroler oleh kabel dan diuji hasilnya, kemudian dibandingkan dengan data yang ditunjukkan oleh multimeter. Alat yang digunakan yaitu Arduino Uno, Sensor Arus ACS712, Sensor Suhu LM35, dan LCD I2C 16X2.

4.2.1. Pengujian Solar Panel *Monocrystalline* 10 WP

Panel surya diuji dengan kondisi dijemur di bawah terik matahari untuk mengukur tegangan yang dihasilkan oleh panel. Pengujian dilakukan selama tujuh hari berturut-turut dengan total waktu pengujian selama 9 jam mulai dari jam 08:00 WIB s.d. 17:00 WIB. Pengujian dilakukan untuk mengetahui daya atau energi yang dihasilkan oleh panel surya dalam satu hari. Pengujian panel surya dilakukan dengan tanpa beban dan berbeban. Pengukuran pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan multimeter. Berikut adalah hasil dari pengukuran panel surya 10 WP yang dilakukan selama tujuh hari.

- a. Hasil pengukuran panel surya hari pertama

Hari pertama pengukuran panel surya dilakukan dengan kondisi suhu panas yang terukur 24°C s.d. 32°C . Pengukuran panel surya tanpa beban dan berbeban dengan lampu led 10W yang tertinggi pada jam 11:00 dengan daya yang terukur sebesar 4,6W dan terendah pada jam 17:00 sebesar 0W. Hasil pengukuran panel surya pada hari pertama ditunjukkan pada Lampiran C.1.

Tabel C.1 pada Lampiran merupakan tabel hasil pengukuran tegangan pada panel surya hari pertama. Hasil pengukuran tegangan pada hari pertama menunjukkan mulai 08.00 tegangan yang dihasilkan adalah 20V untuk pengukuran tegangan tanpa beban dan 18,7V untuk pengukuran tegangan dengan beban. Tegangan konstan mengalami kenaikan 21,2V pada jam 11.00. Tegangan mulai mengalami penurunan pada jam 13.00 yang diakibatkan oleh cuaca, hingga pada jam 17.00 tegangan terukur sebesar 10,5V. Hasil pengukuran arus dan daya beban pada panel surya dapat dilihat pada Lampiran C.1.

Berdasarkan Lampiran C.1 pengukuran mengalami penurunan pada jam 17.00. Hal ini terjadi akibat cuaca hujan dan tanpa matahari sehingga saat pengukuran arus tidak terbaca oleh multimeter dan lampu LED tidak menyala. Energi yang didapatkan adalah jumlah daya yang dihasilkan perjam selama waktu pengukuran yaitu 10 jam, sehingga 22,26835 Wh.

b. Hasil pengukuran panel surya hari kedua

Hari kedua pengukuran panel surya dilakukan dengan kondisi suhu panas yang terukur 24°C s.d. 28°C . Pengukuran panel surya tanpa beban dan berbeban dengan lampu led 10W yang didapatkan tertinggi pada jam 13:00 dengan daya yang terukur sebesar 0,96786W dan terendah pada jam 08:00 dan 17:00 sebesar 0W. Hasil pengukuran panel surya pada hari kedua ditunjukkan pada Lampiran C.2.

Lampiran C.2 merupakan hasil pengukuran tegangan pada panel surya hari kedua. Hasil pengukuran tegangan pada hari kedua menunjukkan mulai 08.00 tegangan yang dihasilkan adalah 10,8V untuk pengukuran tegangan tanpa beban dan 10,8V untuk pengukuran tegangan dengan beban. Tegangan konstan mengalami kenaikan 16,5V pada jam 11.00. Tegangan mulai mengalami penurunan pada jam 13.00 yang diakibatkan oleh cuaca, hingga pada jam 17.00 tegangan terukur sebesar 13,7V. Hasil pengukuran arus dan daya beban pada panel surya dapat dilihat pada Lampiran C.2.

Berdasarkan Lampiran C.2 pengukuran panel surya pada hari kedua ini lebih rendah dari hari pertama, hal ini disebabkan pada hari kedua ini hujan dan mendung dari pagi hingga sore hari yang menutup matahari. Total energi yang didapatkan pada hari kedua adalah 3,81286 Wh.

c. Hasil pengukuran panel surya hari ketiga

Hari ketiga pengukuran panel surya dilakukan dengan kondisi suhu panas yang terukur 24°C s.d. 31°C. Pengukuran panel surya tanpa beban dan berbeban dengan lampu led 10W yang didapatkan tertinggi pada jam 12:00 dengan daya yang terukur sebesar 3,55979W dan terendah pada jam 13:00 sebesar 0W. Hasil pengukuran panel surya pada hari ketiga ditunjukkan pada Lampiran C.3.

Lampiran C.3 merupakan hasil pengukuran tegangan pada panel surya hari ketiga. Hasil pengukuran tegangan pada hari ketiga menunjukkan mulai 08.00 tegangan yang dihasilkan adalah 19,8V untuk pengukuran tegangan tanpa beban dan 18V untuk pengukuran tegangan dengan beban. Tegangan konstan mengalami kenaikan 199V pada jam 11.00. Tegangan mulai mengalami penurunan pada jam 13.00 yang diakibatkan oleh cuaca, hingga pada jam 17.00 tegangan terukur sebesar 14,9V. Hasil pengukuran arus dan daya beban pada panel surya dapat dilihat pada Lampiran C.3.

Berdasarkan Lampiran C.3 pengukuran panel surya pada jam 13:00 rendah dikarenakan cuaca yang berubah menjadi hujan tanpa ada matahari, sehingga arus tidak terbaca oleh multimeter dan lampu led 10W tidak menyala. Total energi yang didapatkan pada hari ketiga adalah 15,342916 Wh

d. Hasil pengukuran panel surya hari keempat

Hari keempat pengukuran panel surya dilakukan dengan kondisi suhu panas yang terukur 25° s.d. 33°C. Pengukuran panel surya tanpa beban dan berbeban yang didapatkan tertinggi pada jam 12:00 dengan daya yang terukur sebesar 4,356W dan terendah pada jam 17:00 sebesar 0,0837W. Hasil pengukuran panel surya pada hari keempat ditunjukkan pada lampiran C.4.

Lampiran C.4 merupakan hasil pengukuran tegangan pada panel surya hari keempat. Hasil pengukuran tegangan pada hari keempat menunjukkan mulai 08.00 tegangan yang dihasilkan adalah 20,3V untuk pengukuran tegangan tanpa beban dan 19,3V untuk pengukuran tegangan dengan beban. Tegangan konstan

mengalami kenaikan 19,5V pada jam 11.00. Tegangan mulai mengalami penurunan pada jam 13.00 yang diakibatkan oleh cuaca, hingga pada jam 17.00 tegangan terukur sebesar 16,5V untuk tanpa beban dan 15,5V dengan beban. Hasil pengukuran arus dan daya beban pada panel surya dapat dilihat pada Lampiran C.4.

Berdasarkan Lampiran C.4 cuaca saat pengukuran panel surya pada hari keempat ini cerah dengan titik tertinggi daya yang dihasilkan pada jam 12.00. Sehingga total energi yang didapatkan pada hari keempat yaitu sebesar 21,8967 Wh.

e. Hasil pengukuran panel surya hari kelima

Hari kelima pengukuran panel surya dilakukan dengan kondisi suhu panas yang terukur 25°C s.d. 34°C. Pengukuran panel surya tanpa beban dan berbeban yang didapatkan tertinggi pada jam 10:00 dengan daya yang terukur sebesar 3,7534W dan terendah pada jam 17:00 sebesar 0,0868W. Hasil pengukuran panel surya pada hari kelima ditunjukkan pada Lampiran C.5.

Lampiran C.5 merupakan hasil pengukuran tegangan pada panel surya hari kelima. Hasil pengukuran tegangan pada hari kelima menunjukkan mulai 08.00 tegangan yang dihasilkan adalah 20,4V untuk pengukuran tegangan tanpa beban dan 19,1V untuk pengukuran tegangan dengan beban. Tegangan konstan mengalami kenaikan 20,5V pada jam 11.00. Tegangan mulai mengalami penurunan pada jam 13.00 yang diakibatkan oleh cuaca, hingga pada jam 17.00 tegangan terukur sebesar 16,4V untuk tanpa beban dan 15,5V dengan beban. Hasil pengukuran arus dan daya beban pada panel surya dapat dilihat pada Lampiran C.5.

Berdasarkan Lampiran C.5 hasil pengukuran pada hari kelima memiliki kondisi cuaca yang sama seperti pada hari sebelumnya dan total energi yang didapatkan pada hari kelima adalah sebesar 23,57669 Wh.

f. Hasil pengukuran panel surya hari keenam

Hari keenam pengukuran panel surya dilakukan dengan kondisi suhu panas yang terukur 24° s.d. 33°C. Pengukuran panel surya tanpa beban dan berbeban yang didapatkan tertinggi pada jam 10:00 dengan daya yang terukur sebesar 3,492W dan terendah pada jam 17:00 sebesar 0,216W. Hasil pengukuran panel surya pada hari keenam ditunjukkan pada Lampiran C.6.

Lampiran C.6 merupakan hasil pengukuran tegangan pada panel surya hari keenam. Hasil pengukuran tegangan pada hari keenam menunjukkan mulai 08.00 tegangan yang dihasilkan adalah 20,3V untuk pengukuran tegangan tanpa beban dan 19V untuk pengukuran tegangan dengan beban. Tegangan konstan mengalami kenaikan 18,6V pada jam 11.00. Tegangan mulai mengalami penurunan pada jam 13.00 yang diakibatkan oleh cuaca, hingga pada jam 17.00 tegangan terukur sebesar 17,4V untuk tanpa beban dan 16V dengan beban. Hasil pengukuran arus dan daya beban pada panel surya dapat dilihat pada Lampiran C.6.

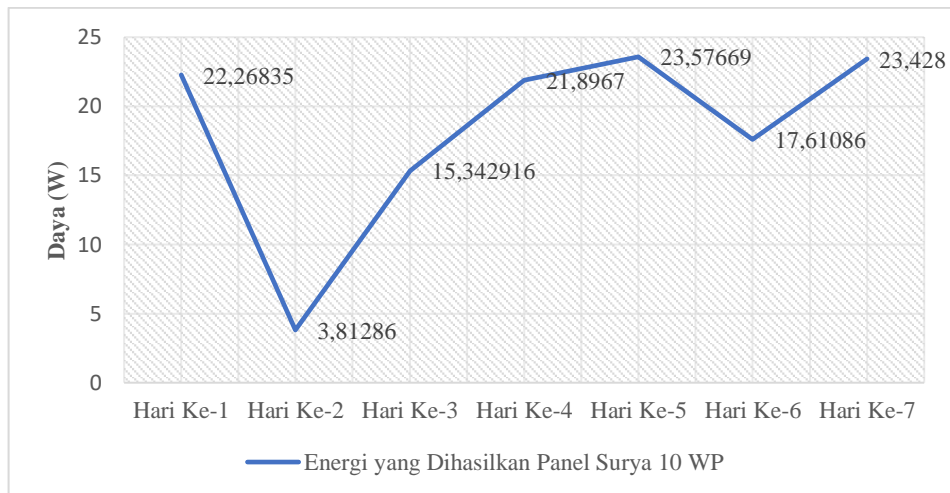
Berdasarkan Lampiran C.6 pengukuran panel surya pada hari keenam ini mengalami kondisi cuaca yang berubah-ubah. Kondisi matahari yang tertutup awan pada jam 09:00 dan jam 11:00 serta hujan pada jam 13:00 menyebabkan hasil tegangan, arus serta daya yang menurun. Total energi yang didapatkan pada hari keenam adalah sebesar 17,61086 Wh

g. Hasil pengukuran panel surya hari ketujuh

Hari ketujuh pengukuran panel surya dilakukan dengan kondisi suhu panas yang terukur 24° s.d. 33°C. Pengukuran panel surya tanpa beban dan berbeban yang didapatkan tertinggi pada jam 13:00 dengan daya yang terukur sebesar 3,97W dan terendah pada jam 16:00 sebesar 0,06426W. Hasil pengukuran panel surya pada hari ketujuh ditunjukkan pada Lampiran C.7.

Lampiran C.7 merupakan hasil pengukuran tegangan pada panel surya hari ketujuh. Hasil pengukuran tegangan pada hari ketujuh menunjukkan mulai 08.00 tegangan yang dihasilkan adalah 20,6V untuk pengukuran tegangan tanpa beban dan 19,5V untuk pengukuran tegangan dengan beban. Tegangan konstan mengalami kenaikan 20,4V pada jam 11.00. Tegangan mulai mengalami penurunan pada jam 13.00 yang diakibatkan oleh cuaca, hingga pada jam 17.00 tegangan terukur sebesar 16,5V untuk tanpa beban dan 15,5V dengan beban. Hasil pengukuran arus dan daya beban pada panel surya dapat dilihat pada Lampiran C.7.

Berdasarkan Lampiran C.7 pengukuran panel surya pada jam 16:00 lebih rendah dibandingkan dengan jam 17:00 dikarenakan cuaca mendung. Total energi yang didapatkan pada hari ketujuh adalah sebesar 23,428 Wh. Berdasarkan energi yang dihasilkan dari panel surya 10 WP selama tujuh hari, maka menghasilkan grafik seperti pada Gambar 4.5 di bawah ini.

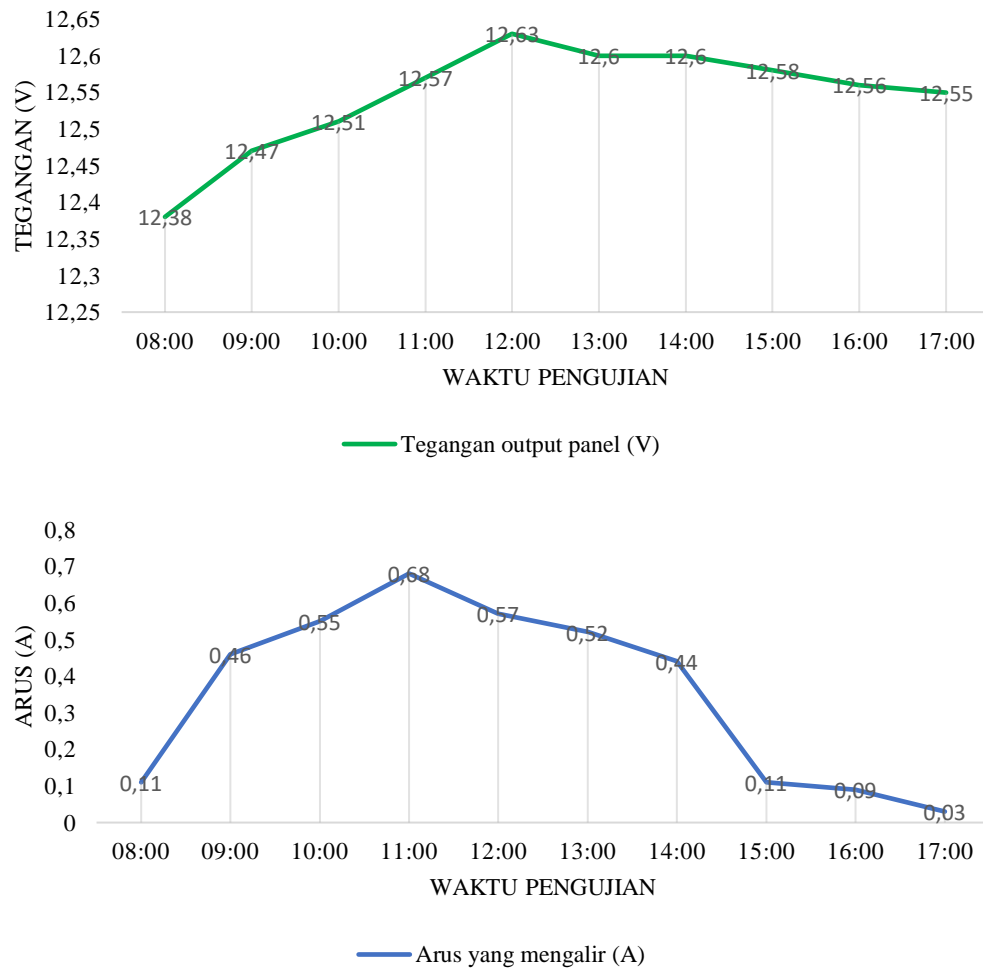


Gambar 4. 5 Grafik Energi Panel Surya 10WP Selama 7 Hari

Gambar 4.5 merupakan grafik energi yang dihasilkan oleh panel surya 10WP selama tujuh hari. Grafik yang dihasilkan menunjukkan pada hari kedua menghasilkan daya yang jauh berbeda dari hari-hari lain. Hal ini dipengaruhi oleh faktor cuaca yang terjadi pada hari kedua yang hujan dan mendung sepanjang hari.

4.2.2. Pengujian *Charge* Baterai

Pengujian *charge* baterai dilakukan dengan melihat tegangan dan arus yang mengalir dari panel surya ke baterai. Output panel surya disambungkan ke modul *charger controller* sebelum disambungkan ke baterai. Pengujian *charge* baterai ini dilakukan selama 10 jam (mulai dari jam 08:00 WIB sampai dengan 17:00 WIB) selama satu hari. Pengukuran pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan multimeter dan tang ampere. Hasil dari pengujian *charge* baterai yang telah dilakukan ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian *Charge* Baterai oleh Panel Surya

Gambar 4.6 merupakan data hasil dari pengujian *charge* baterai. Lama proses *charger* baterai yang dilakukan bergantung dari besar kapasitas baterai yang digunakan. Baterai mendapatkan energi dari besar arus yang mengalir dari panel saat dalam proses *charger* baterai. Besar Ah yang sudah masuk kedalam baterai dapat dihitung dengan menjumlahkan arus yang mengalir dari panel surya ke baterai. Sehingga besar kapasitas baterai yang sudah terisi adalah sebesar 3,56Ah.

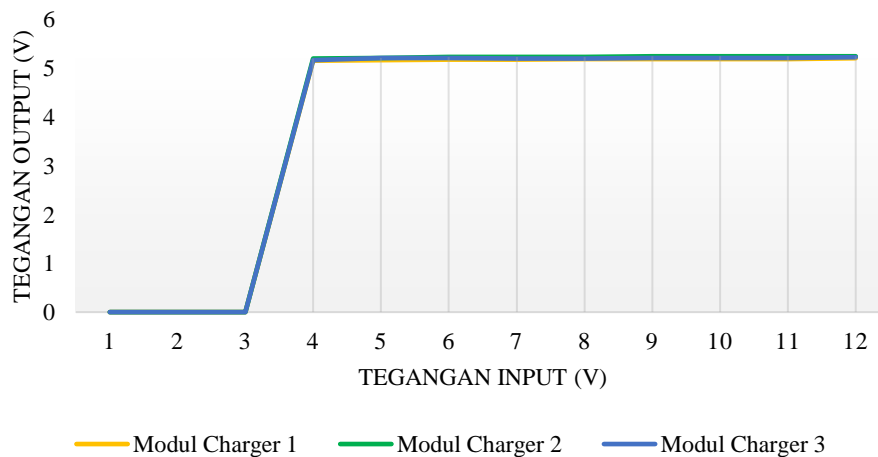
Besar energi yang masuk ke dalam baterai bergantung dari berapa lama proses *charger* baterai yang dilakukan. Berdasarkan Gambar 4.6, untuk mendapatkan total energi yang selama waktu pengujian yang dilakukan dengan menjumlahkan semua daya per jam, dan hasil total energi yang didapatkan adalah sebesar 44,7039Wh.

4.2.3. Pengujian *Discharge* Baterai

Pengujian discharge baterai dilakukan dengan dua pengujian yaitu pengujian *discharge* baterai tanpa beban dan pengujian *discharge* baterai dengan beban.

1. Pengujian *discharge* baterai tanpa beban

Pengujian *discharge* pada baterai tanpa beban dilakukan dengan melihat tegangan yang keluar pada tiap modul *charger* alat. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan voltmeter. Jumlah modul *charger* pada alat yang akan diukur terdapat 3 cabang. Pengujian modul *charger* ini dilakukan dengan memberikan tegangan input yang berbeda, mulai dari 0V sampai dengan 12V. Hasil pengujian pada modul *charger* ini ditunjukkan pada Gambar 4.7.



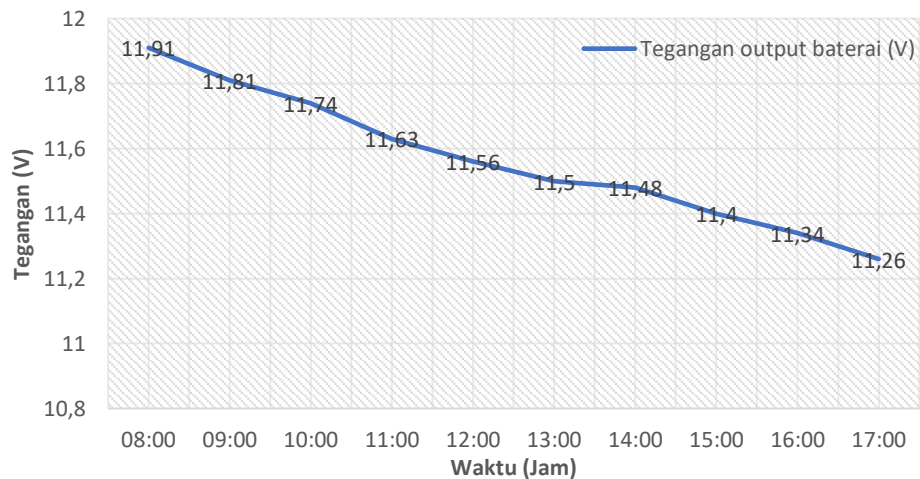
Gambar 4.7 Hasil Pengujian *Discharge* Baterai Tanpa Beban

Berdasarkan Gambar 4.7, menunjukkan bahwa mulai dari tegangan input 4V hingga 12V, menghasilkan tegangan output yang stabil pada *range* 5,1 sampai 5,2 V. Sedangkan pada tegangan input yang kurang dari 4V, modul *charger* tidak akan menghasilkan tegangan. Tegangan di bawah 4V tidak akan mengaktifkan modul *buck converter* pada alat sehingga modul *charger* tidak akan mengeluarkan tegangan.

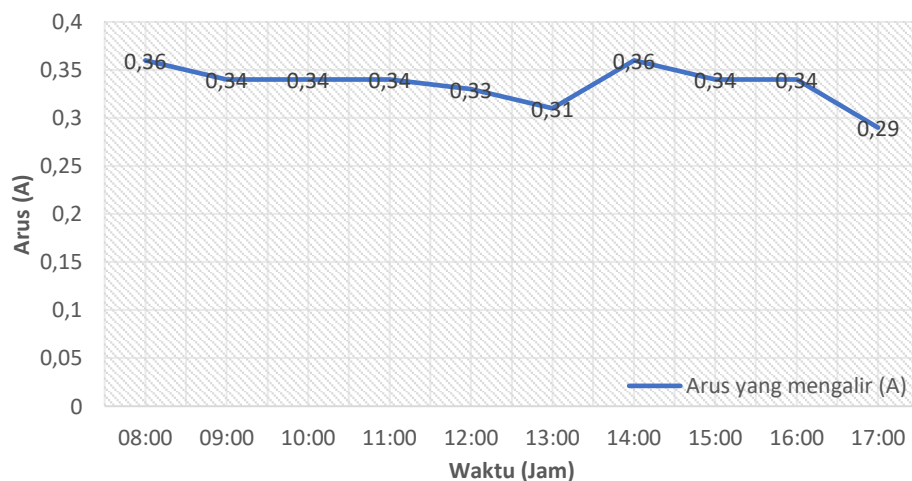
2. Pengujian *discharge* baterai dengan beban

Pengujian *discharge* pada baterai dengan beban dilakukan dengan memberikan beban pada baterai 10 Ah selama 10 jam (mulai dari jam 08:00 WIB sampai dengan 17:00 WIB), dengan kondisi tegangan awal baterai sebesar 12V.

Pengujian *discharge* baterai ini dilakukan dengan melihat besar tegangan dan arus yang berkurang dari baterai setelah diberikan beban lampu led 10W dan pengujian dilakukan dengan menggunakan multimeter dan tang ampere. Hasil pengujian pada *discharge* baterai dengan beban ini ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Tegangan *Discharge* Baterai dengan Beban



Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Arus *Discharge* Baterai dengan Beban

Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 menunjukkan penurunan tegangan setelah baterai diberikan beban lampu, sedangkan untuk arus yang mengalir dari baterai stabil. Lama *discharge* pada baterai tergantung dari besarnya beban yang digunakan, semakin besar beban yang digunakan, maka akan semakin cepat baterai mengalami *discharging* atau pengurasan.

Gambar 4.8 menunjukkan tegangan semakin menurun setiap jamnya, namun penurunan tegangan tidak drastis, sedangkan untuk gambar 4.9 menunjukkan arus yang mengalir dari baterai ke lampu led 10W stabil pada kisaran 0,3A, dan hanya pada jam 17:00 arus yang terdeteksi sebesar 0,29A. Besar kapasitas baterai yang sudah digunakan dapat dihitung dengan menjumlahkan arus yang mengalir dari baterai ke lampu led 10W, maka perhitungan besar Ah yang sudah berkurang dari baterai adalah sebagai berikut.

$$C = 0,36Ah + 0,34Ah + 0,34Ah + 0,34Ah + 0,33Ah + 0,31Ah + 0,36 Ah \\ + 0,34Ah + 0,34Ah + 0,29Ah \\ C = 3,35Ah$$

4.2.4. Pengujian Sensor Arus ACS712-30A

Pengujian alat yang selanjutnya adalah pengujian Sensor Arus ACS712, dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor ini berfungsi dengan baik atau tidak yaitu bisa membaca nilai arus yang ada dalam rangkaian.

Arduino dihubungkan dengan sensor Acs712 untuk memprogram sensor tersebut, kemudian dari sensor menuju ke baterai sebagai sumber luar dan ke beban yaitu led yang kemudian diukur menggunakan multimeter dan ditampilkan pada layar monitor. Alat pendukung yang digunakan adalah baterai dengan kapasitas 9 V, Led, potensiometer, resistor, arduino uno dan multimeter.

Lampiran D-1 menunjukkan hasil dari Pengujian pertama dengan menggunakan satu resistor sebesar 25Ω , Hasil yang ditampilkan pada monitor adalah nilai arus relatif stabil di 0,22 A akan tetapi terkadang naik dan turun yaitu diangka 0,14 dan juga di 0,36. hasil ini bisa dikatakan berhasil karena nilai yang dihasilkan tidak terpaut jauh dengan nilai sebenarnya yang dihitung yaitu sebesar 0,2 A.

Hasil yang diawal Sensor arus membaca nilainya negatif karena rangkaian nya terbalik dan Ketika diubah maka hasilnya menjadi positif dan ada eror sistem diawal karena pada sensor nilai yang seharusnya adalah 0 akan tetapi dipercobaan ini nilainya tidak 0, akan tetapi Ketika sudah berjalan dan ditambahkan beban nilai keduanya tidak terpaut jauh.

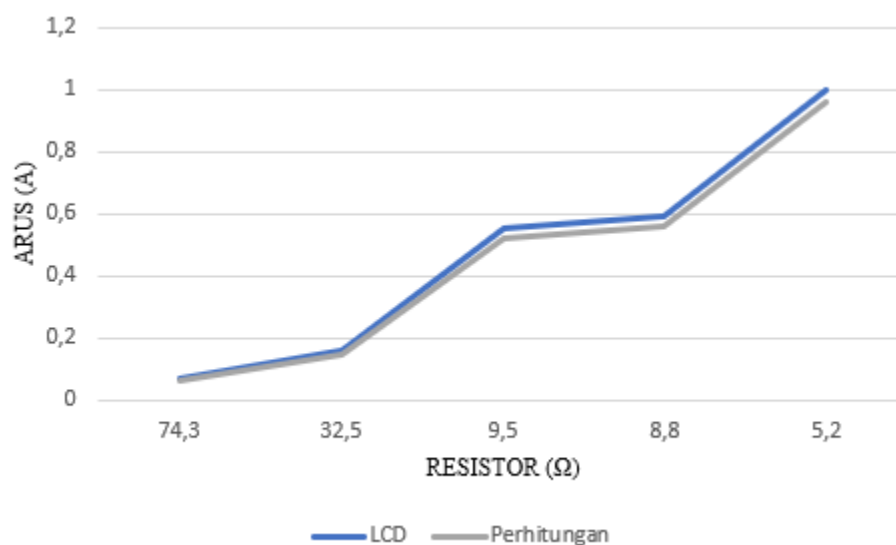
Pengujian selanjutnya menggunakan potensiometer sebagai beban yang bisa diubah-ubah dari terbesar hingga terkecil atau sebaliknya. Pengujian yang dilakukan adalah memutar potensiometer pada nilai resistansi yang besar karena semakin besar hambatan maka arus semakin kecil.

Pengujian ini dilakukan dengan melihat nilai yang ditampilkan dengan nilai yang dihitung, hasil yang didapatkan bisa dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4. 1 Tabel Hasil Pengujian sensor Im35

Resistor (Ω)	Data Pengujian Sensor (A)		Persentase Kesalahan (%)
	LCD	Perhitungan	
74,3	0,07	0,06	0,167
32,5	0,16	0,15	0,067
9,5	0,55	0,52	0,058
8,8	0,59	0,56	0,054
5,2	1	0,96	0,042

Hasil yang didapat adalah perbandingannya ada perbedaan antara nilai yang ditampilkan dengan nilai yang dihitung yaitu pada resistor dengan resistansi terbesar yaitu $74,3\Omega$ hasil yang ditampilkan LCD adalah $0,07A$ dan untuk perhitungan adalah $0,06A$ sedangkan pada resistansi terkecil yaitu $5,2\Omega$ hasil yang ditampilkan LCD adalah $0,1A$ dan untuk perhitungan adalah $0,96A$. Nilai tersebut masih berada dibatas wajar karena persentase kesalahannya $0,042 - 0,167$.



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712

Gambar 4.12 merupakan grafik arus yang dihasilkan oleh sensor acs712 selama selang waktu tertentu. Grafik yang dihasilkan menunjukkan pada titik awal nilai arusnya adalah 0,07 A dan kemudian terus naik sampai nilainya 1 A. Hal ini dipengaruhi oleh faktor beban yang dihubungkan kerangkaian yaitu beban potensiometer yang diatur dari nilai tertinggi untuk hambatannya hingga nilai terkecil.

4.2.5. Pengujian Sensor Suhu LM35

Pengujian alat yang selanjutnya adalah pengujian Sensor Suhu LM35, dimana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor ini berfungsi dengan baik yaitu bisa mendeteksi suhu dengan benar dengan melihat nilai antara nilai yang ditampilkan di layar dengan nilai yang ditampilkan oleh alat ukur yaitu termometer. Pengujian dilakukan dua kali, yang pertama dilakukan tanpa media panas dan yang kedua dilakukan dengan media panas.

Pengujian pertama dilakukan tanpa menggunakan media panas dan hasilnya adalah sebagai berikut.

Waktu	SUHU		
	Celcius ($^{\circ}\text{C}$)	Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)	Kelvin ($^{\circ}\text{K}$)
09:17:49	36,13	97,04	309,25
09:17:50	36,13	97,04	309,25
09:17:51	36,62	97,92	309,77

Gambar 4. 11 Program Untuk Pengujian Dan Hail Sensor LM35

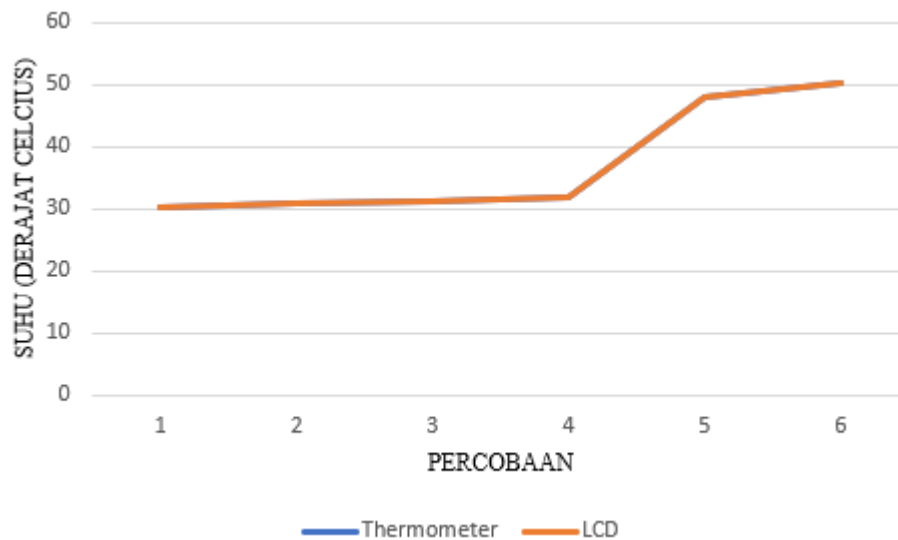
Hasil yang didapatkan tanpa media panas dengan tiga jenis satuan suhu yaitu celcius = 36,13 $^{\circ}\text{C}$, fahrenheit = 97,04 $^{\circ}\text{F}$ dan juga kelvin = 309,77 $^{\circ}\text{K}$ dan hasil tersebut sesuai apa yang ditampilkan dilaptop dengan LCD atau sesuai dengan suhu ruangan.

Percobaan kedua dilakukan dengan media panas, disini media panas yang digunakan adalah solder dan untuk perbandingannya adalah thermometer dan hasil yang didapat ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Tabel Hasil Pengujian sensor lm35

No	Data Pengujian Sensor		Persentase Kesalahan (%)
	LCD	Thermometer	
1	30,27	30,30	0,099
2	30,76	30,75	0,033
3	31,25	31,25	0,000
4	31,74	31,75	0,031
5	47,85	47,90	0,104
6	50,29	50,32	0,03

Hasil yang didapat adalah perbandingannya hanya selisih sedikit dan masih berada dibatas wajar karena persentase kesalahannya 0% - 0,09%. Pengujian yang dilakukan dengan media panas ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor yang dipakai bisa membaca suhu tinggi dan itu suhu batas yang bisa diterima baterai litium, dipengujian suhu yang diuji sampai dengan 50°C.



Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengujian Sensor Suhu LM35

Gambar 4.10 merupakan grafik suhu yang dihasilkan oleh sensor lm35 dan thermometer selama selang waktu tertentu dengan melihat batas mencapai 50°C. Grafik yang dihasilkan menunjukkan nilai antara thermometer dan suhu sejajar atau sama.

4.2.6. Pengujian Rangkaian Proteksi

Pengujian Rangkaian Proteksi dilakukan dengan dua pengujian yaitu Pengujian *Overcurrent* dengan menggunakan sensor arus acs712 dan pengujian *Overheat* dengan menggunakan sensor suhu LM35.

1. Pengujian *Overcurrent*

Pengujian *overcurrent* dilakukan menggunakan sensor arus acs712 dengan melihat respon dari relay, yaitu relay tidak aktif ketika nilainya kurang dari batas maksimal arus dan relay akan aktif ketika nilai keluaran arus melebihi batas yang diatur pada mikrokontroler Arduino. Pengujian dilakukan dengan alat pendukung yaitu Baterai, Arduino, sensor Acs712, relay, led dan dua resistor sebagai beban untuk mendapatkan arus yang diinginkan yaitu kurang dari 1 A untuk relay tidak aktif dan lebih dari 1 A untuk relay aktif dengan besaran hambatan masing-masing adalah 330 Ω dan 35 Ω . Hasil yang didapat ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian *Relay* Dan Sensor Acs712

Resistor (Ω)	Nilai Arus (A)	Status relay		
		Relay 1	Relay 2	Relay 3
330	0,3	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>
35	1,3	<i>ON</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>

Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan hambatan 330 Ω menghasilkan arus 0,3 A dan hasilnya relay tidak aktif sehingga arus listrik tetap mengalir dirangkaian tersebut dan percobaan kedua menggunakan hambatan 35 Ω menghasilkan 1,3 A dan hasilnya relay aktif sehingga arus listrik yang mengalir terputus.

2. Pengujian *Overheat*

Pengujian *overheat* dilakukan menggunakan sensor suhu lm35 dengan melihat respon dari relay, yaitu relay tidak aktif ketika nilainya kurang dari batas maksimal suhu dan relay akan aktif ketika nilai keluaran suhu melebihi batas yang diatur pada mikrokontroler Arduino. Pengujian dilakukan dengan alat pendukung yaitu Arduino, Sensor Lm35, relay, led dan kapasitor 1 μ F yang berfungsi sebagai penstabil tegangan sensor lm35 agar nilai keluaran suhunya stabil. Hasil yang didapat ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian *Relay* Dan Sensor LM35

LCD	<i>Thermometer</i>	Status relay		
		<i>Relay 1</i>	<i>Relay 2</i>	<i>Relay 3</i>
30,27	30,30	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>
30,76	30,75	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>
31,25	31,25	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>
31,74	31,75	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>
47,85	47,90	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>
50, 29	50,32	<i>ON</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>

Hasil yang didapatkan ketika suhu berada dititik normal yaitu dibawah 50°C relay tidak aktif dan ketika suhu lebih dari 50°C relay aktif .Pengujian tidak dilakukan dengan cara alami yaitu dengan menambah beban atau membesarkan arus akan tetapi penelitian ini menggunakan media panas yaitu korek api untuk meningkatkan suhu dari normal sampai nilai yang melebihi dari suhu yang diatur yaitu lebih dari 50°C, hal itu dilakukan karena untuk mengurangi kerugian yang menyebabkan kerusakan pada baterai.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil pengujian mengenai Perancangan sistem monitoring dan proteksi baterai litium ion (Li-ion) maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian *charge* baterai menghasilkan total arus sebesar 3,56 A, sehingga dalam satu hari dapat mengisi baterai sebanyak 3,56 Ah. Hasil pengujian *discharge* baterai tanpa beban menghasilkan tegangan pada *range* 5,1 s.d. 5,2 V. Sedangkan hasil pengujian *discharge* baterai dengan beban menunjukkan penurunan tegangan sampai 11,26V, dan untuk arus yang mengalir stabil pada kisaran 0,3A.
2. Hasil Pengujian Sensor Suhu LM35 yang tampil di LCD menghasilkan suhu pada *range* 30,27 °C s.d 50,29 °C. Sedangkan hasil pengujian Sensor arus ACS712 menghasilkan arus pada *range* 0,07A s.d 1A.
3. Hasil pengujian *Overcurrent* menghasilkan relay aktif Ketika sensor arus menunjukkan nilai lebih dari 1 dan Hasil pengujian *Overheat* menghasilkan relay aktif Ketika sensor arus menunjukkan nilai lebih dari 50 Derajat Celsius.

5.2. Saran

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, terdapat beberapa saran yang dapat direalisasikan untuk peneliti berikutnya agar penelitian mendapatkan hasil yang lebih baik.

1. Menambahkan penambahan sensor kelembaban pada alat untuk menjaga kotak baterai

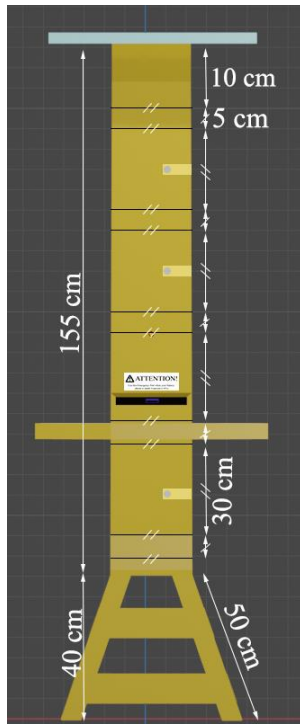
DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. R. Alham, F. H. Rumawan, M. Muslimin, R. M. Utomo, and A. Maulana, “Aplikasi Photovoltaic Cell (Pv) Terhadap Variasi Beban Elektrik Sebagai Energi Alternatif,” *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 5, no. 2, pp. 123–129, 2021, doi: 10.36277/jteuniba.v5i2.92.
- [2] F. Al Hasan, “Rancang Bangun Metode Proteksi Overload Pada Panel Surya,” *J. Kaji. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 7–11, 2023, doi: 10.52447/jkte.v8i1.6603.
- [3] I. A. Premaratne, B. G. L. T. Samaranyake, and P. J. Binduhewa, “An Analytical Study on Methods to Detect Degraded Cells in a Multi-Cell Lithium-ion Battery Pack,” *2020 IEEE 15th Int. Conf. Ind. Inf. Syst. ICIIIS 2020 - Proc.*, no. 978, pp. 59–64, 2020, doi: 10.1109/ICIIIS51140.2020.9342642.
- [4] Y. Astriani, A. Kurniasari, E. R. Priandana, and N. A. Aryono, “PENYEIMBANGAN STATE OF CHARGE BATERAI LEAD ACID PADA PROTOTYPE BATTERY MANAGEMENT SYSTEM A PROTOTYPE BATTERY MANAGEMENT SYSTEM FOR BALANCING,” vol. 17, no. 1, pp. 43–52, 2018.
- [5] U. Nursusanto, K. Khairunnisa’, and H. Hartoyo, “Real Time Battery Monitoring Control in Mini Generating System,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 96–104, 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.54299.
- [6] S. Yin, J. Liu, and B. Cong, “Review of Thermal Runaway Monitoring, Warning and Protection Technologies for Lithium-Ion Batteries,” *Processes*, vol. 11, no. 8, 2023, doi: 10.3390/pr11082345.
- [7] M. Otong, A. Didik, and W. Rizky, “PERANCANGAN MODULAR BATERAI LITHIUM ION(LI-ION) UNTUK BEBAN LAMPU LED,” vol. 8, no. 2, pp. 260–273, 2019.
- [8] Y. Liu, R. Zhang, J. Wang, and Y. Wang, “Current and future lithium-ion battery manufacturing,” *iScience*, vol. 24, no. 4, p. 102332, 2021, doi: 10.1016/j.isci.2021.102332.
- [9] N. D. Rahmadhani, F. Faizah, I. W. Yudhi, and M. Wiguna, “PROTOTYPE

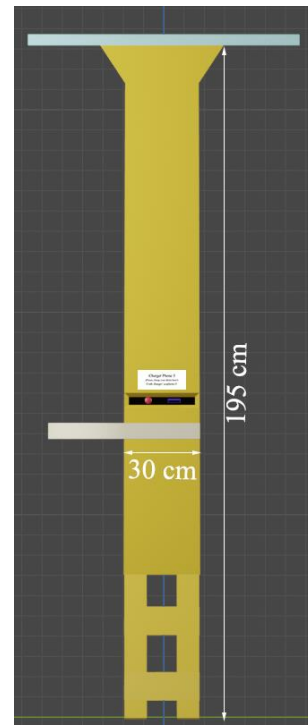
- SISTEM PROTEKSI PENGISIAN BATERAI DENGAN METODE FUZZY LOGIC,” pp. 1–9, 2020.
- [10] Mario, B. P. Lapanporo, and Muliadi, “Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Monitoring Penggunaan Daya Listrik Pada Beban Skala Rumah Tangga Berbasis Mikrokontroler ATmega328P,” *Prism. Fis.*, vol. VI, no. 01, pp. 26–33, 2018.
- [11] H. Abdulloh, M. Fanriadho, W. B. Pramono, Y. A. Amrullah, and U. Albab, “RANCANG BANGUN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM,” pp. 128–137, 2018.
- [12] E. Yulitiarni Parhusip, “RANCANG BANGUN PEMANFAATAN PANEL SURYA SEBAGAI SMART CHARGER HANDPHONE DENGAN SISTEM MONITORING TEGANGAN BERBASIS ARDUINO NANO,” 2020.
- [13] J. P. G. A. Siwabessy, K. Ui, and M. Kuliah, “RANCANG BANGUN PANEL SURYA UNTUK MENGERAKAN POMPA DENGAN SOLAR TRACKER,” no. 021, pp. 21–22, 2021.
- [14] A. R. Afif, A. Wahmisari, S. A. Bandiyah, F. T. Elektro, and U. Telkom, “DESAIN DAN IMPLEMENTASI BATTERY MANAGEMENT SYSTEM PANEL SURYA PORTABEL DENGAN METODE COULOMB COUNTING DESIGN AND IMPLEMENTATION BATTERY MANAGEMENT SYSTEM PORTABLE SOLAR PANEL WITH COULOMB COUNTING METHOD,” 2019.
- [15] N. Sadikin, M. Sari, and B. Sanjaya, “Smarthome Using Android Smartphone, Arduino uno Microcontroller, and Relay Module,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1361, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1361/1/012035.
- [16] A. Wijaya, B. Alfaresi, and F. Ardianto, “Perancangan dan Implementasi Tracking Solar Cell System dengan Menggunakan Overload Protection,” *J. Serambi Eng.*, vol. 6, no. 4, 2021, doi: 10.32672/jse.v6i4.3522.
- [17] D. Suryana, “Pengaruh Temperatur/Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus: Baristand Industri Surabaya),” *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 5–8, 2016, doi: 10.36048/jtpii.v1i2.1791.

- [18] D. R. Alwy, *Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Kinerja Panel Surya Berbasis Internet of Things (Iot)*. 2019.
- [19] M. Amin and R. Ananda, "Application Solar Cells on Helmes As a Handphone Battery Charger," *Proceeding Int. Confrence Soc. Sci. Inf. Technol.*, vol. 4509, no. 1, pp. 53–60, 2020.
- [20] M. Syukri and Suriadi, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 9, no. 2, pp. 77–80, 2010.
- [21] F. I. Pasaribu and M. Reza, "Rancang Bangun Charging Station Berbasis Arduino Menggunakan Solar Cell 50 WP," vol. 3, no. 2, pp. 46–55, 2021.
- [22] B. P. E. P. Yuda, A. Natsir, and I. M. A. Nrrartha, "Rancang Bangun Solar Charge Controller Dengan Metode Mppt Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano [Design of Solar Charge Controller With Mppt Method Based-on Microcontroller Arduino Nano]," *Mataram Repos. E-Journal*, 2018.
- [23] F. A. Shah, S. Shahzad Sheikh, U. I. Mir, and S. Owais Athar, "Battery health monitoring for commercialized electric vehicle batteries: Lithium-ion," *5th Int. Conf. Power Gener. Syst. Renew. Energy Technol. PGSRET 2019*, no. December 2020, pp. 1–6, 2019, doi 10.1109/PGSRET.2019.8882735.
- [24] V. Prakasam*, V. K. Tiwari, and K. R. A. L. Kanth, "LabVIEW Based Temperature Controller using Arduino," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 4, pp. 6830–6835, 2019, doi: 10.35940/ijrte.d5230.118419.

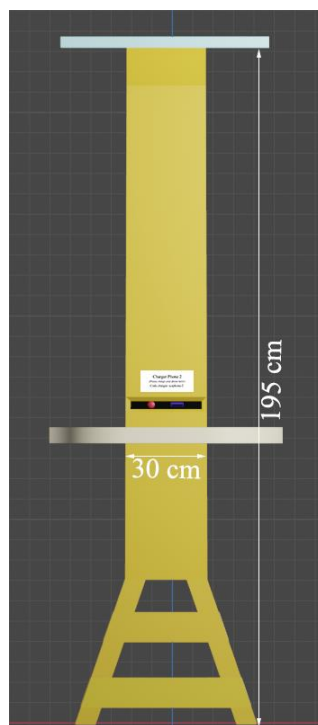
LAMPIRAN A UKURAN ALAT *CHARGER STATION*



Gambar 1 Tampilan Belakang Alat



Gambar 2 Tampilan Samping Alat



Gambar 3 Tampilan Depan Alat

LAMPIRAN B SPESIFIKASI ALAT

Tabel B.1 Spesifikasi BMS 20A 3S

Mechanical			
<i>Application range</i>	<i>Suitable for lithium batteries with a normal voltage of 3,7V and fully charged 4,2V. Polymer lithium batteries 18650 to 26650.</i>		
<i>PCB size</i>	59 x 20x 3,4		
<i>Weight</i>	4,3g		
<i>Charging Voltage</i>	12,6 ~ 13,6V		
<i>Continues Discharge Max</i>	20A		
<i>Continues Discharge Normal</i>	10A		
Electrical	Min	Nor	Max
<i>Self-consuming current</i>	12 μ A	18 μ A	24 μ A
<i>Overcharge protection voltage</i>	4,2 V	4,25 V	4,3 V
<i>Overcharge recovery voltage</i>	4,1 V	4,12 V	4,2 V
<i>Over-discharge protection voltage A</i>	2,4 V	2,5 V	2,6 V
<i>Voltage after over-discharge protection</i>	2,8 V	3 V	3,2 V
<i>Voltage after over discharge protection</i>	3,2 V	3,5 V	3,8 V
<i>Over-discharge recovery voltage</i>	2,9 V	3,2 V	3,3 V
<i>Rds (on)</i>	10 m Ω	12 m Ω	14 m Ω
<i>Over-current protection current</i>	56 A	60 A	64 A
<i>Over-current delay time</i>	50 ms	100 ms	150 ms
<i>Continue work current</i>	12:00 AM	20 A	20 A
<i>Continue output power</i>	0 W	252 W	252 W
<i>Environment temperature</i>	-40 $^{\circ}$ C	25 $^{\circ}$ C	85 $^{\circ}$ C

LAMPIRAN C HASIL PENGUJIAN PANEL SURYA 10 WP

1. Hari Pertama, Tanggal 13/09

Tabel 1 Hasil Pengukuran Panel Surya Hari Pertama, Tanggal 13/09

Waktu	Tanpa Beban (V)	Beban Lampu LED 10W (V)	Arus Beban (A)	Daya Beban (W)
08:00	20	18,7	0,1333	2,49271
09:00	20,6	19,3	0,2	3,86
10:00	20,2	19,1	0,2	3,82
11:00	21,2	20	0,23	4,6
12:00	20,4	19,1	0,1581	3,01971
13:00	19,8	18,1	0,1012	1,83172
14:00	19,2	17,6	0,0848	1,49248
15:00	18,2	16,5	0,0363	0,59895
16:00	18,2	16,4	0,0333	0,55278
17:00	10,5	10,5	0	0

2. Hari Kedua, Tanggal 14/09

Tabel 2 Hasil Pengukuran Panel Surya Hari Kedua, Tanggal 14/09

Waktu	Tanpa Beban (V)	Beban lampu LED 10W (V)	Arus Beban (A)	Daya Beban (W)
08:00	10,8	10,8	0	0
09:00	16,9	15,6	0,0075	0,117
10:00	18,1	16,1	0,0217	0,34937
11:00	18,5	16,4	0,0299	0,49036
12:00	18,7	16,7	0,0395	0,65965
13:00	19,1	17,1	0,0566	0,96786
14:00	18,0	16,3	0,0245	0,39935
15:00	18,5	16,6	0,0376	0,62416
16:00	17,3	15,9	0,0129	0,20511
17:00	13,7	13,7	0	0

3. Hari Ketiga, Tanggal 15/09

Tabel 3 Hasil Pengukuran Panel Surya Hari Ketiga, Tanggal 15/09

Waktu	Tanpa Beban (V)	Beban lampu LED 10W (V)	Arus Beban (A)	Daya Beban (W)
08:00	19,8	18,0	0,0953	1,7154
09:00	20	18,9	0,1333	2,51937
10:00	19,8	18,6	0,1244	2,31384
11:00	19,9	18,9	0,141	2,6649
12:00	20,6	19,7	0,1807	3,55979
13:00	14,4	14,4	0	0
14:00	19,6	18,4	0,1114	2,04976
15:00	17,6	16,3	0,0249	0,40587
16:00	16,2	15,6	0,0066	0,10296
17:00	15	14,9	0,00074	0,011026

4. Hari Keempat, Tanggal 16/09

Tabel 4 Hasil Pengukuran Panel Surya Hari Keempat, Tanggal 16/09

Waktu	Tanpa Beban (V)	Beban lampu LED 10W (V)	Arus Beban (A)	Daya Beban (W)
08:00	20,3	19,3	0,1602	3,09186
09:00	20,1	19,2	0,1721	3,30432
10:00	19,8	19,1	0,164	3,1324
11:00	19,5	18,9	0,1506	2,84634
12:00	20,5	19,8	0,22	4,356
13:00	20,3	19,6	0,1711	3,35356
14:00	18,8	17,2	0,0702	1,20744
15:00	17,6	16,1	0,02	0,322
16:00	17,1	15,8	0,0126	0,19908
17:00	16,5	15,5	0,0054	0,0837

5. Hari Kelima, Tanggal 18/09

Tabel 5 Hasil Pengukuran Panel Surya Hari Kelima, Tanggal 18/09

Waktu	Tanpa Beban (V)	Beban lampu LED 10W (V)	Arus Beban (A)	Daya Beban (W)
08:00	20,4	19,1	0,1638	3,12858
09:00	20,5	19,4	0,1769	3,43186
10:00	20,5	19,6	0,1915	3,7534
11:00	20,5	19,5	0,1822	3,5529
12:00	20,5	19,5	0,1814	3,5373
13:00	20,5	19,6	0,1893	3,71028
14:00	19,4	17,5	0,0819	1,43325
15:00	18,3	16,6	0,0401	0,66566
16:00	17,3	15,9	0,0174	0,27666
17:00	16,4	15,5	0,0056	0,0868

6. Hari Keenam, Tanggal 19/09

Tabel 6 Hasil Pengukuran Panel Surya Hari Keenam, Tanggal 19/09

Waktu	Tanpa Beban (V)	Beban lampu LED 10W (V)	Arus Beban (A)	Daya Beban (W)
08:00	20,3	19	0,1477	2,8063
09:00	19,7	18,5	0,1286	2,3791
10:00	20,4	19,4	0,18	3,492
11:00	18,6	17,2	0,0666	1,14552
12:00	19,8	19	0,1472	2,7968
13:00	18,5	16,6	0,04	0,664
14:00	19,9	18,3	0,1176	2,15208
15:00	19,3	17,6	0,0826	1,45376
16:00	18,1	16,3	0,031	0,5053

17:00	17,4	16	0,0135	0,216
-------	------	----	--------	-------

7. Hari Ketujuh, Tanggal 20/09

Tabel 7 Hasil Pengukuran Panel Surya Hari Ketujuh, Tanggal 20/09

Waktu	Tanpa Beban (V)	Beban lampu LED 10W (V)	Arus Beban (A)	Daya Beban (W)
08:00	20,6	19,3	0,1708	3,29644
09:00	20,3	19,4	0,174	3,3756
10:00	20,5	19,5	0,1821	3,55095
11:00	20,4	19,7	0,1935	3,81195
12:00	20,3	19	0,1462	2,7778
13:00	21	20	0,1985	3,97
14:00	19,5	17,7	0,0823	1,45671
15:00	18,8	17,1	0,0604	1,03284
16:00	16,2	15,3	0,0042	0,06426
17:00	16,6	15,5	0,0059	0,09145

LAMPIRAN D HASIL PENGUJIAN SISTEM BATERAI

1. Data hasil pengujian Sensor Arus ACS712

Waktu	Voltage (V)	Arus (A)
18:05:32	2.5	0.222
18:05:40	2.5	0.074
18:05:47	2.5	0.000
18:05:55	2.5	0.074
18:06:03	2.5	0.074
18:06:03	2.5	0.222
18:06:11	2.5	0.222
18:06:18	2.5	0.074
18:06:26	2.5	0.222
18:06:34	2.5	0.296
18:06:41	2.5	0.296
18:06:49	2.5	0.222
18:06:56	2.5	0.222
18:07:03	2.5	0.296
18:07:03	2.5	0.296
18:07:11	2.5	0.222
18:07:18	2.5	0.222
18:07:26	2.5	0.000
18:07:34	2.5	0.148
18:07:41	2.5	0.222
18:07:49	2.5	0.296
18:07:56	2.5	0.370
18:07:03	2.5	0.296
18:07:03	2.5	0.296
18:07:11	2.5	0.222
18:07:18	2.5	0.296
18:07:26	2.5	0.296
18:07:34	2.5	0.296
18:07:41	2.5	0.2219
18:07:49	2.5	0.2959
18:07:56	2.5	0.3699
18:08:03	2.5	0.2219
18:08:03	2.5	0.2959
18:08:11	2.5	0.1480
18:08:18	2.5	0.2219
18:08:26	2.5	0.2219

2. Data hasil pengujian Sensor Suhu LM35

Waktu	SUHU		
	Celcius	Fahrenheit	Kelvin
10:33:09	30.27	86.49	303.42
10:33:10	30.27	86.49	303.42
10:33:11	30.76	86.49	303.42
10:33:12	30.76	87.37	303.91
10:33:13	31.25	88.25	303.40
10:33:14	31.74	89.13	303.59

3. Data hasil pengujian *discharge* baterai 10 AH tanpa beban

Tabel 8 Hasil Pengujian *Discharge* Baterai Tanpa Beban

Tegangan <i>Input</i> (V)	Modul <i>Charger 1</i> (V)	Modul <i>Charger 2</i> (V)	Modul <i>Charger 3</i> (V)
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	5,15	5,19	5,16
5	5,16	5,2	5,2
6	5,17	5,23	5,2
7	5,17	5,23	5,19
8	5,18	5,23	5,19
9	5,18	5,24	5,2
10	5,18	5,24	5,2
11	5,18	5,24	5,2
12	5,2	5,24	5,22

4. Dokumentasi dan data hasil pengujian *discharge* baterai 10 AH dengan beban

Tabel 9 Hasil Pengujian *Discharge* Baterai dengan Beban

Waktu	Tegangan <i>Output</i> Baterai (V)	Arus Mengalir (A)
08:00	11,91	0,36
09:00	11,81	0,34
10:00	11,74	0,34
11:00	11,63	0,34
12:00	11,56	0,33
13:00	11,5	0,31
14:00	11,48	0,36
15:00	11,4	0,34
16:00	11,34	0,34
17:00	11,26	0,29

5. Dokumentasi dan data hasil pengujian *charge* baterai 10 AH dengan panel surya *monocrystalline* 10 WP

Tabel 10 Hasil Pengujian *Charge* Baterai oleh Panel Surya

Waktu	Tegangan <i>Output</i> Panel (V)	Arus Mengalir (A)	Daya Dihasilkan (W)
08:00	12,38	0,11	1,3618
09:00	12,47	0,46	5,7362
10:00	12,51	0,55	6,8805
11:00	12,57	0,68	8,5476
12:00	12,63	0,57	7,1991
13:00	12,6	0,52	6,552
14:00	12,6	0,44	5,544
15:00	12,58	0,11	1,3838
16:00	12,56	0,09	1,1304
17:00	12,55	0,03	0,3765

LAMPIRAN E LISTING PROGRAM

Listing program untuk Arduino Uno

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Memanggil Library LCD
const int curr_pin = A1;
int sensitivity = 66;
int adcValue= 0;
int offsetVoltage = 2500;
double adcVoltage = 0;
double currentValue = 0;
int nilaiAnalog; // Variabel untuk menyimpan hasil pembacaan
analog
const int elm35 = A0; // Variabel untuk PIN analog yang
disambungkan ke sensor
int relay = 2;
float volts; // Variabel untuk menyimpan hasil dalam satuan
Volts
float suhuCelsius; // Variabel untuk menyimpan nilai suhu dalam
satuan Celcius
float v_alog;
float t_val;
float vcr_alog;
float vcr_volts;
float curr_value;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2) ; // Mengatur alamat LCD dan
dimensi LCD, yaitu 16 kolom dan 2 baris

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("TEKNIK ELEKTRO UNTIRTA");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("TUGAS AKHIR");
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(relay, OUTPUT);
```

```

    delay(2000);
    lcd.clear();
}

void loop(){

// read thermal
v_alog = analogRead(elm35);
volts = (v_alog/1024.0)* 5.0;
t_val = ((volts - 0.5)*-1) * 100.0;
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Thermal :");
lcd.print(t_val);
lcd.println("°C");
Serial.print("Therml Value =");
Serial.print(t_val);
Serial.println("°C ");

//read current
vcr_alog = analogRead(curr_pin);
vcr_volts = (vcr_alog/1024.0)*5000;
curr_value = ((vcr_volts-offsetVoltage)/sensitivity);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Current :");
lcd.print(curr_value);
lcd.println("A ");
Serial.print("Current Value = " );
Serial.print(curr_value);
Serial.println(" A ");

if (t_val>=50 || curr_value>1) {
Serial.println("Putus arus");
digitalWrite(relay,HIGH);
}

}

```