



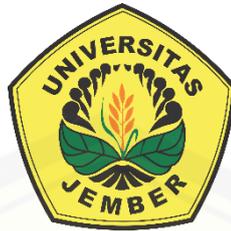
**RANCANG BANGUN SISTEM PENGISI BATERAI *LEAD ACID* BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA328
DENGAN SUMBER *STAND-ALONE PV SYSTEM***

SKRIPSI

oleh

**Yanu Arif Santoso
NIM 111910201017**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**RANCANG BANGUN SISTEM PENGISI BATERAI *LEAD ACID* BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA328
DENGAN SUMBER *STAND-ALONE PV SYSTEM***

SKRIPSI

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

oleh

**Yanu Arif Santoso
NIM 111910201017**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Dengan ini saya persembahkan skripsi kepada:

1. Allah SWT yang Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Jumadi dan Ibuku Nurhayati atas kasih sayang, pengorbanan dan kesabaran yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai.
3. Kakak Suci Nurma Hasanah yang telah memberikan dorongan.
4. Guru – guruku mulai SDN 1 Sepanjang Jaya Bekasi, SMP 3 Bekasi sampai SMA 8 Bekasi. Terima kasih untuk ilmu dan pengalaman yang telah diajarkan selama ini.
5. Almamater Teknik Elektro Universitas Jember.

MOTTO

“Bertakwalah pada Allah, maka Allah akan mengajarimu. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui segala sesuatu.”

(Qs. Al-Baqarah ayat 282)

“Perbaiki kekurangan-kekurang diri yang ada, atau selamanya anda akan hidup dalam kelemahan”

(Yusuf Mansur)

“if today were the last day of your life, would you want to do what you are about to do today?”

(Steve Jobs)

“Imajinasi lebih penting pengetahuan. Pengetahuan terbatas, sedangkan imajinasi seluas langit dan bumi.”

(Albert Einstein)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Yanu Arif Santoso

NIM : 111910201017

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai *Lead Acid* Berbasis Mikrokontroler Atmega328 Dengan Sumber *Stand-Alone PV System*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 13 Oktober 2015

Yang menyatakan,

Yanu Arif Santoso

NIM 111910201017

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGISI BATERAI *LEAD*
ACID BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA328
DENGAN SUMBER *STAND-ALONE PV SYSTEM***

Oleh

Yanu Arif Santoso
NIM 111910201017

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai *Lead Acid* Berbasis Mikrokontroler Atmega328 Dengan Sumber *Stand-Alone PV System*” Telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Selasa

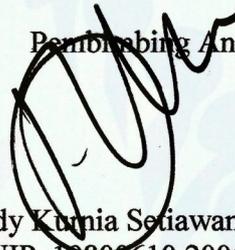
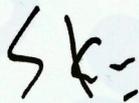
Tanggal : 13 Oktober 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

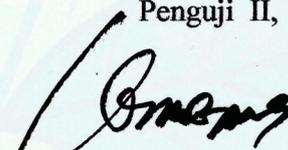
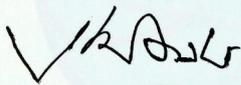


Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP 19710402 200312 1 001

Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.
NIP 19800610 200501 1 003

Penguji I,

Penguji II,



Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826 199702 1 001

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 19631201 199402 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,



Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Lead Acid Berbasis Mikrokontroler Atmega328 Dengan Sumber Stand-Alone PV System

Yanu Arif Santoso

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

PV panel merupakan penghasil energi listrik yang sangat ramah lingkungan dan mudah untuk penggunaan dalam skala rumah tangga. Penggunaan PV panel cocok untuk mensuplai beban puncak atau pada malam hari, dengan menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi. Namun pada pengaplikasiannya diperlukan manajemen pengisian baterai agar dapat terkontrol serta baterai dapat berusia panjang. Solusi untuk permasalahan manajemen baterai dilakukan melalui penelitian ini yang membahas mengenai sistem pengisi baterai. Rangkaian sistem pengisi baterai pada penelitian ini terdiri dari mikrokontroler ATmega328, *buck converter*, sensor arus dan tegangan. Parameter yang menjadi acuan perancangan *buck converter* adalah membutuhkan frekuensi sebesar 31 kHz, tegangan *input* 13-22.6V dan tegangan *output* 12-14.7 V, arus *output* yang dihasilkan sebesar 2 A, serta dengan ΔI_o sebesar 0.3 dan ΔV_o sebesar 0.3. metode yang digunakan pada sistem pengisi baterai ini menggunakan metode *decrement* dan *increment*. Penelitian ini dilakukan dua kali pengujian, pengujian ke-1 proses *charging* dari baterai kosong sampai terisi penuh selama 2 jam 50 menit dengan arus sebesar 2 A, sedangkan pada pengujian ke-2 proses *charging* selesai dalam waktu 2 jam 40 menit. Dengan arus sebesar 2 A bertujuan untuk menjaga kondisi baterai dalam keadaan baik dan bisa berumur panjang.

Kata kunci: *buck converter, decrement, increment, PV panel, sistem pengisi baterai*

*Design of Lead Acid Battery Charger System Based on Microcontroller
ATmega328 By Source Stand-Alone PV System*

Yanu Arif Santoso

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
University of Jember*

ABSTRACT

PV panels are producing electrical energy that is environmentally friendly and easy to use in the household scale. The use of PV panels suitable to supply the peak load or at night, using a battery as energy storage. However, in its application management needed to be controlled battery charging and the battery can be long-lived. The solution to the problem battery management is done through this research that discussed the charger system. Battery charger circuit system in this study consists of a microcontroller ATmega328, buck converter, current and voltage sensors. The parameters that form the buck converter reference design is in need of a frequency of 31 kHz, the input voltage 13-22.6V and 12-14.7 V output voltage, output current is generated by 2 A, and with ΔV_O 0.3 and ΔI_O 0.3. the method used in this battery charger system using decreament and increament. This research was conducted twice testing, testing 1st charging process of an empty battery to be fully charged for 2 hours 50 minutes with a current of 2 A, while in the 2nd test charging process is completed in a time of 2 hours 40 minutes. With a current of 2 A aims to keep the battery in good working condition and live long.

Keyword: *buck converter, decreament, increament, PV panel, battery charging system*

RINGKASAN

Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai *Lead Acid* Berbasis Mikrokontroler Atmega328 Dengan Sumber *Stand-Alone PV System*; Yanu Arif Santoso, 111910201017; 2015: 102 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional, penambahan penduduk serta pola konsumsi energi masyarakat. Ditambah ketergantungan Indonesia pada energi fosil membuat produksi minyak bumi dalam negeri menurun drastis sejak tahun 2001 silam. Keadaan ini didorong oleh kebutuhan yang terus naik dan tumbuhnya sektor industri di Indonesia. Ketergantungan energi fosil ini masih didominasi oleh kebutuhan minyak yang mencapai 41.8 %, disusul batu bara 29 % dan gas 23%. Kebutuhan yang sangat besar ini ternyata tidak bisa ditopang oleh cadangan energi di Indonesia yang kian menipis. Untuk mengurangi atau menggantikan posisi bahan bakar fosil seperti yang sudah ada namun masih belum memanfaatkan secara optimal, yaitu salah satunya energi matahari atau disebut sistem energi surya fotovoltaik (SESF). Dalam kurun waktu tahun 2005-2025 pemerintah telah merencanakan penyediaan satu juta *Solar Home System* berkapasitas 50 WP untuk masyarakat berpendapatan rendah serta 346.5 MWP PLTS hibrid untuk daerah terpencil.

Pada SESF ini juga masih perlu ada beberapa pengembangan yaitu pada manajemen pengisi baterai, untuk mencegah kerusakan yang dihasilkan kualitas daya, yaitu tegangan yang tidak teratur kadang terlalu tinggi dan kadang terlalu rendah.

Penelitian ini adalah merancang bangun sistem pengisi baterai dengan sumber *stand-alone PV system* (SAPS). SAPS terdiri dari PV panel, sistem pengisi baterai dan baterai. Kemudian yang menjadi perhatian pada penelitian ini adalah sistem pengisi baterai yang terdiri dari beberapa bagian yaitu terdapat mikrokontroler

sebagai pengolahan data informasi dari sensor serta memiliki output berupa PWM terkontrol untuk men-trigger MOSFET pada *buck converter*, kemudian terdapat *buck converter* sebagai *driver* untuk menurunkan tegangan dengan sumber PV panel untuk dilanjutkan proses *charging* ke baterai.

Penelitian ini melakukan beberapa pengujian yaitu pengujian LCD, pengujian mikrokontroler, pengujian sensor, pengujian PWM, pengujian *buck converter*, pengujian keseluruhan sistem, pengujian karakteristik PV, pengujian *start charging*, pengujian *charging* terhadap waktu dan pengujian *stop charging*.

Sistem pengisi baterai yang dirancang menghasilkan arus maksimal 2 A, pembatasan arus ini bertujuan untuk menjaga kondisi baterai agar tidak cepat rusak sehingga pemakaian akan aman. Selain arus, tegangan juga dibatasi ketika proses *charging* kemudian tegangan baterai sudah mencapai 14,7 V maka sistem pengisi baterai akan berhenti secara otomatis yang menandakan baterai sudah dalam keadaan penuh.

Setelah dilakukan pengujian dapat dikatakan bahwa tegangan, arus dan daya *output* PV panel berbanding lurus dengan *irradiance* yang jatuh pada PV panel, hal ini ditandai pada pengujian karakteristik PV panel terhadap *irradiance* ketika pada titik *irradiance* 137 W/m² hanya menghasilkan tegangan 12.6 V, 1.15 A dan daya 14.49 W. *Input* sebesar itu sangat kurang untuk melakukan proses *charging*.

Kondisi cuaca atau nilai *irradiance* juga mempengaruhi tegangan dan arus *output* pada PV panel, ketika *irradiance* bernilai diatas 600 W/m² *output* PV panel bernilai tinggi sekitar 16 V sampai 17 V, tegangan sebesar ini baik untuk diturunkan menggunakan *buck converter*. Akan tetapi ketika *irradiance* dibawah 500 W/m² tegangan dan arus yang dihasilkan PV panel kecil hanya sekitar 12.6 V sampai 13 V, dengan tegangan sebesar ini *buck converter* tidak mampu menurunkan tegangan karena sesuai dengan perancangan tegangan minimal *input buck converter* 13 V jika dibawah 13 V maka *input* dan *output buck converter* akan bernilai sama.

Pada pengujian *charging* terhadap waktu dilakukan tiga kali pengujian, pada pengujian ke-1 dengan arus 3 A dalam waktu 1 jam 20 menit sudah terisi penuh namun ini kurang baik untuk baterai. Pada pengujian k-2 dan ke-3 dibatasi arusnya

hanya 2 A dalam waktu 2 jam 40 sampai 2 jam 50 menit sudah mampu mengisi baterai.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang bangun sistem pengisi baterai *lead acid* berbasis mikrokontroler atmega328 dengan sumber *stand-alone PV system*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah rela meluangkan waktu, pikiran serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku dosen penguji utama dan Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M., selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini;
4. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Bapak Bambang Supeno, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
6. Kepada teknisi lab serta asisten lab yang telah memberikan arahan untuk proses perancangan alat pada penelitian ini serta penyusunan skripsi;
7. Kepada orang tua tercinta ibu Nurhayati dan bapak Jumadi yang telah memberikan dukungan baik secara materi maupun moral dalam penyusunan skripsi ini;

8. Kakak terkasih Suci Nurma Hasanah yang telah memberikan motivasi serta dukungan selama proses penyusunan skripsi;
9. Rina Anggraeni yang telah meluangkan waktu untuk memberikan dukungan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini;
10. Teman-teman kontrakan U-10 Fiqi, Ichal dan Jamal yang telah mendukung, berbagi dalam berbagai hal serta kebersamaannya;
11. Teman-teman seperjuangan Dicky, Aji, Manu, Dharma, Novi, Rifan, Iskandar, Dimas, Yudha, serta Alm. Fikri yang telah memberikan pengalaman hidup, berbagi cerita dan ilmu, serta dukungan tidak ada bosannya selama penyusunan skripsi;
12. Rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2011 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, selama ini telah memberikan pengalaman hidup selama penulis menjadi keluarga Fakultas Teknik Universitas Jember;
13. Keluarga kelompok KKN 89 Dodo, Iqbal, Putra, Irfan, Iim, Ika, Arum, Icha dan Novi yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini;
14. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 13 Oktober 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sumber Energi Terbarukan	6
2.2 Stand-Alone PV System (SAPS)	9
2.3 <i>Buck converter</i>	11
2.4 Baterai.....	16
2.4.1 Struktur Baterai.....	16

2.4.2 Reaksi Kimia Baterai	17
2.4.3 Metode <i>Charge</i> dan <i>Discharge</i> Baterai	18
2.4.4 <i>State Of Charge</i> Baterai	21
2.5 Mikrokontroler ATmega328	22
2.6 Pulse Width Modulation (PWM).....	24
2.6.1 Prinsip Dasar PWM	25
2.6.2 Pembangkitan sinyal PWM dengan Mikrokontroler	27
2.7 <i>State of The Art Review on Charge Controller for PV system</i>	27
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Prosedur Penelitian.....	29
3.2 Diagram Alir Penelitian	30
3.3 Alat dan Bahan.....	32
3.4 Diagram Blok Sistem	32
3.5 Flowchart Sistem Sistem pengisi baterai	33
3.6 Perancangan Sistem.....	35
3.6.1 <i>Charging Circuit</i>	35
3.6.2 PV Panel.....	38
3.6.3 Baterai	39
3.6.4 Pulse Width Modulation (PWM).....	40
3.6.5 Perancangan <i>Main Board Module</i>	41
3.6.6 Perancangan Sensor Tegangan dan Arus.....	43
3.6.7 Perancangan LCD Penampil	45
BAB 4. ANALISIS DAN HASIL PERCOBAAN	47
4.1 Pengujian LCD.....	47
4.2 Pengujian Mikrokontroler ATmega328.....	48
4.3 Pengujian Sensor.....	49
4.3.1 Pengujian Sensor Tegangan	50
4.3.2 Pengujian Sensor Arus	52
4.4 Pengujian PWM.....	54
4.5 Pengujian <i>Buck Converter</i>	56
4.5.1 Pegujian Tegangan <i>Input</i> dan <i>Output Buck Converter</i>	57

4.5.2	Pegujian Arus <i>Input</i> dan <i>Output Buck Converter</i>	58
4.5.3	Pengujian <i>Ripple</i> Tegangan Pada <i>Output Buck Converter</i>	59
4.6	Pengujian Keseluruhan Sistem	59
4.7	Pengujian Start Charging	61
4.8	Pengujian <i>Charging</i> Terhadap Waktu	62
4.8.1	Pengujian Charging Terhadap Waktu Pada Hari ke-1	62
4.8.2	Pengujian Charging Terhadap Waktu Pada Hari ke-2	64
4.9	Pengujian <i>Stop Charging</i>	66
4.10	Perbandingan Proses Charging antara Referensi dengan Penelitian	67
BAB 5. PENUTUP	68
5.1	Kesimpulan	68
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>State Of Charge Standart Batteries</i>	21
Tabel 3.1 Parameter Perancangan <i>Buck Converter</i>	36
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Mikrokontroler	49
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor Tegangan	50
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Dengan Alat Ukur Pada <i>Input Buck Converter</i>	51
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Dengan Alat Ukur Pada <i>Output Buck Converter</i>	52
Tabel 4.5 Pengujian Kelinieran Antara Tegangan Keluaran Sensor Arus Acs712-20a-T Dengan Arus	53
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712-20A-T	54
Tabel 4.7 Tabel Pengujian Tegangan <i>Input Dan Output Buck Converter</i> Ke-1, 2 Dan 3	57
Tabel 4.8 Tabel Pengujian Arus <i>Input Dan Output Buck Converter</i> Ke-1, 2 Dan 3	58
Tabel 4.9 Pengujian <i>Charging</i> Terhadap Waktu Pengujian Ke-1	63
Tabel 4.10 Pengujian <i>Charging</i> Terhadap Waktu Pengujian Ke-2	65
Tabel 4.11 Pengujian Konsumsi Daya Penelitian Sebelumnya	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Cara Kerja PV Panel (Made Dani Pradipta, 2012).....	10
Gambar 2.2 Diagram blok SAPS	10
Gambar 2.3 Rangkaian Buck converter	12
Gambar 2.4 Gelombang persegi saat ON dan OFF Rashid, (Muhammad H. Rashid, 2001)	12
Gambar 2.5 Ilustrasi buck converter ketika saklar (MOSFET) ON dan OFF, (Muhammad H. Rashid, 2001)	13
Gambar 2.6 Penyaklaran pada kondisi kritis (Muhammad H. Rashid, 2001).....	14
Gambar 2.7 Ilustrasi rangkaian buck converter dan bentuk gelombang kondisi diskontinu, (Muhammad H. Rashid, 2001).....	15
Gambar 2.8 Proses charge dengan arus konstan	18
Gambar 2.9 Proses discharge dengan Arus Konstan	19
Gambar 2.10 Proses charge dengan daya konstan	19
Gambar 2.11 Proses discharge dengan daya konstan.....	19
Gambar 2.12 Proses charge dengan arus konstan / tegangan konstan	20
Gambar 2.13 Proses discharge dengan resistansi konstan	20
Gambar 2.14 Pin Konfigurasi Mikrokontrol ATMega328 (Atmel corporation, 2011).....	22
Gambar 2.15 Bentuk gelombang kotak (pulsa) dengan kondisi high 5V dan low 0V (Ari Sulistiono, 2010).....	25
Gambar 2.16 Sinyal Referensi (sinyal tegangan DC)	26
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian.....	31
Gambar 3.2 Diagram blok perencanaan sistem pengisi baterai berbasis mikrokontroler ATMega328.....	32
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> sistem pengisi baterai.....	34
Gambar 3.4 Rangkaian sistem pengisi baterai	35
Gambar 3.5 Desain Rangkaian Buck converter	37

Gambar 3.6 Perancangan Inductor pada Buck converter.....	38
Gambar 3.7 Pengaplikasian PV Panel.....	38
Gambar 3.8 Grafik karakteristik V-I PV panel	39
Gambar 3.9 Pengaplikasian Baterai VRLA	40
Gambar 3.10 Blok Diagram Perancangan <i>Main Board Module</i>	42
Gambar 3.11 Hasil perancangan Main Board Module.....	43
Gambar 3.12 Rangkaian sensor tegangan	43
Gambar 3.13 Sensor Tegangan	44
Gambar 3.14 Rangkaian Sensor arus ACS712-20A-T	45
Gambar 3.15 Modul sensor arus ACS712-20A-T.....	45
Gambar 3.16 Rangkaian LCD.....	46
Gambar 3.17 Tampilan LCD 20 x 4 penampil.....	46
Gambar 4.1 Tampilan hasil pengujian LCD	48
Gambar 4.2 Blok diagram peletakan sensor tegangan dan arus.....	50
Gambar 4.3 Sensor Arus ACS712-20A-T	53
Gambar 4.4 Grafik hubungan tegangan terhadap arus pada output sensor arus ACS712-20A-T.....	53
Gambar 4.5 Blok diagram pengujian PWM.....	55
Gambar 4.6 (a) PWM dengan duty cycle 27,8413%; (b) PWM dengan duty cycle 25,6417%	55
Gambar 4.7 Frekuensi PWM.....	56
Gambar 4.8 Ripple tegangan output buck converter.....	59
Gambar 4.9 Keseluruhan alat sistem pengisi baterai	60
Gambar 4.10 Tampilan LCD ketika memulai proses charging.....	61
Gambar 4.11 Grafik hubungan tegangan dan arus pada buck converter terhadap waktu pengujian ke-1	64
Gambar 4.12 Grafik hubungan tegangan dan arus pada buck converter terhadap waktu pengujian ke-2.....	66

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional, penambahan penduduk serta pola konsumsi energi masyarakat. Ditambah ketergantungan Indonesia pada energi fosil membuat produksi minyak bumi dalam negeri menurun drastis sejak tahun 2001 silam. Keadaan ini didorong oleh kebutuhan yang terus naik dan tumbuhnya sektor industri di Indonesia. Ketergantungan energi fosil ini masih didominasi oleh kebutuhan minyak yang mencapai 41.8 %, disusul batu bara 29 % dan gas 23%. Kebutuhan yang sangat besar ini ternyata tidak bisa ditopang oleh cadangan energi di Indonesia yang kian menipis. Cadangan minyak misalnya, hanya cukup untuk 23 tahun lagi terhitung tahun 2014, sementara cadangan gas masih cukup sampai 50 tahun kedepan dan batu bara 80 tahun kedepan. (Kepala Badan Geologi Kementerian ESDM, 2014)

Masyarakat Indonesia sangat bergantung pada pasokan listrik PLN, selain untuk kebutuhan penerangan juga untuk mendukung kegiatan perekonomian. Kita ketahui bahwa PLN juga masih bergantung pada bahan bakar fosil dalam kegiatan memproduksi listrik sedangkan masih banyak sumber daya lainnya untuk mengurangi atau menggantikan posisi bahan bakar fosil seperti yang sudah ada namun masih belum dimanfaatkan secara optimal, yaitu sumber daya hidro, panas bumi, mini/mikrohidro, biomassa, matahari, angin dan uranium. Adapun gelombang laut yang sama sekali belum dimanfaatkan. (Surono, 2014)

Menurut data Ditjen Ketenagalistrikan dan Pengembangan Energi pada tahun 1997, kapasitas yang terpasang pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia mencapai 0.88 MW potensi yang tersedia 1.2 x 10⁹ MW. Dengan rasio tersebut elektrifikasi di Indonesia baru mencapai 55-60 % dan hampir seluruh daerah yang belum dialiri listrik adalah daerah pedesaan yang jauh pusat pembangkit listrik disebabkan sulitnya medan pemasangan instalasi jaringan listrik untuk menerobos

ke pedesaan. Melihat permasalahan diatas maka Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan solusi yang sangat tepat untuk mengatasi permasalahan diatas sebagai alternatif sumber energi listrik. Dalam kurun waktu tahun 2005-2025 pemerintah telah merencanakan penyediaan satu juta *Solar Home System* berkapasitas 50 WP untuk masyarakat berpendapatan rendah serta 346.5 MWP PLTS hibrid untuk daerah terpencil. Hingga tahun 2025 pemerintah merencanakan akan ada 0.87 GW kapasitas PLTS terpasang. (ESDM, 2006)

Selain itu kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas pulau-pulau yang kecil dan banyak yang terpencil menyebabkan sulit untuk dijangkau oleh jaringan listrik yang bersifat terpusat. Untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah-daerah semacam ini, salah satu jenis energi yang potensial untuk dikembangkan adalah energi surya menggunakan energi surya fotovoltaik (PV).

Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) selain dapat digunakan untuk program listrik pedesaan, peluang pemanfaatan energi surya lainnya seperti lampu penerangan jalan dan lingkungan. Hal tersebut dikarenakan kemudahan pemanfaatannya dan cepatnya perkembangan teknologi dan bisnis, ditambah produksi komponen dasarnya yaitu PV panel yang semakin hari semakin terjangkau.

Pada SESF ini juga masih perlu ada beberapa pengembangan yaitu pada menejemen pengisian baterai, untuk mecegah kerusakan yang dihasilkan kualitas daya, yaitu tegangan yang tidak teratur kadang terlalu tinggi dan kadang terlalu rendah. SESF terdiri panel PV yang mengubah sinar matahari menjadi arus searah (DC), *charging circuits* untuk pengisian baterai, *sistem pengisi baterai* bertugas sebagai jantung SESF, kemudian baterai digunakan untuk penyimpanan daya listrik. Pada penelitian ini SESF yang digunakan adalah *stand alone power system* (SAPS) sehingga semua energi yang dihasilkan PV disimpan pada baterai. Sehingga yang sangat diperhatikan pada penelitian ini terfokuskan pada sistem ini adalah *sistem pengisi baterai* untuk baterai yang tujuan untuk mengatur konsumsi hasil konversi energi listrik pada PV. (Mohammed Shoaib, 2013)

Mengacu permasalahan di atas, sehingga dalam penelitian ini akan dibangun sebuah *sistem pengisi baterai* untuk baterai dengan mikrokontroler ATMEGA 328 yang mampu mengatur proses pengisian atau pemakaian kemudian akan memastikan usia baterai tahan lama. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ankita Dhakate (2014), dibahas *sistem pengisi baterai* dengan menggunakan FPGA berbasis kontroler *neural network*. Dalam penelitian tersebut menggunakan teknik Pulse Width Modulation (PWM) yang sederhana dan kuat Papilio I 250K yang didasarkan pada FPGA Xilinx Spartan 3E dan menggunakan kode VHDL. PWM adaptif sistem cerdas ini sudah dirancang dan dikembangkan dengan *input* daya DC yang tersimpan dalam baterai diperoleh sumber PV. Pada penelitian ini referensi yang digunakan hanya menggunakan tegangan sebagai *input neural network*. Namun pada penelitian tersebut memiliki beberapa kelemahan yaitu seperti perangkat, penelitian tersebut menggunakan komponen yang sudah jadi dalam satu *kit* segi harga cukup tinggi. Selain itu untuk metode *neural network* yang digunakan hanya pada sebatas simulasi saja. (Ankita Dhakate, 2014)

Melihat keadaan di atas, maka pada penelitian mengenai *Stand Alone PV System* (SAPS) dikembangkan dan dikuatkan pada bagian manajemen pengisian baterai atau sistem pengisi baterai, sehingga pengisian baterai dapat lebih optimal dan menjadikan umur baterai memiliki usia yang panjang. Selain itu juga fungsi sistem pengisi baterai ini adalah untuk menjaga baterai kondisi *State of Charge* (SOC) pada keadaan tertinggi sekaligus menjaga *overcharge* oleh PV panel. Sistem pengisi baterai pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler ATmega328, dengan menggunakan mikrokontroler ini dapat mereduksi biaya perancangan jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Selain itu juga metode pada penelitian ini menggunakan metode *decrement* dan *increment* untuk menjaga arus tetap konstan pada saat pengisian dan akan turun arusnya ketika baterai sudah mulai terisi penuh. Dengan metode tersebut sudah dapat mengontrol PWM langsung mikrokontroler secara adaptif. Kelebihan metode ini adalah mudah untuk merancang dan tidak memerlukan banyak data *input* sehingga tidak memerlukan mikrokontroler dengan kapasitas yang besar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimanakah rancang bangun sistem pengisi baterai dengan sumber SAPS?
2. Bagaimanakah kinerja sistem pengisi baterai berbasis mikrokontroler ATmega328 dengan menggunakan PWM yang dihasilkan ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas arah pembahasan penelitian ini agar dapat mencapai sasaran dan tujuan yang diharapkan, maka dalam penelitian ini membatasi pembahasan mejadi beberapa permasalahan berikut ini :

1. Sistem yang akan dirancang dalam penelitian ini tidak membahas atau tidak merancang inverter untuk pembebanan bolak-balik (AC).
2. Skala pembebanan hanya mencakup skala laboratorium.
3. Bahasa Pemrograman yang digunakan yaitu C++ dengan aplikasi Arduino IDE
4. Baterai yang digunakan baterai jenis Valve Regulates Lead Acid 12V 7.2 Ah.
5. Kondisi tegangan baterai yang digunakan adalah 80 % dari tegangan baterai ketika kondisi penuh yaitu sebesar 13.8 V.
6. Proses pengisian baterai dengan mengontrol lebar pulsa (PWM) untuk men-trigger mosfet.

1.4 Tujuan

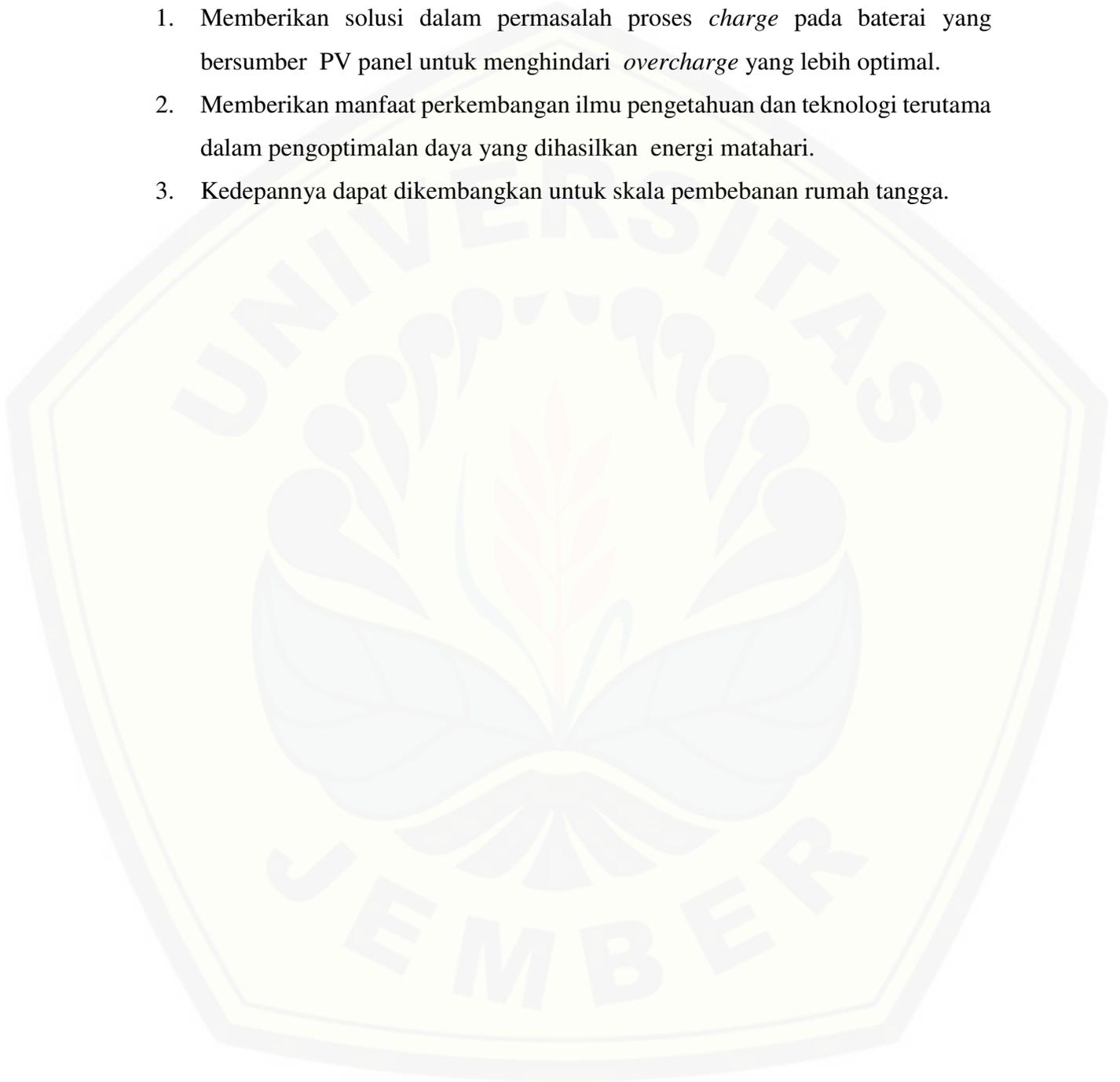
Mengacu pada rumusan masalah di atas tujuan yang akan diperoleh penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan rancang bangun sistem pengisi baterai dengan sumber SAPS.
2. Mengoptimalkan SAPS melalui sistem pengisi baterai berbasis mikrokontroler ATmega328 dengan menggunakan metode *decrement* dan *increment*, sehingga proses *charge* pada baterai dapat terkontrol dengan baik.

1.5 Manfaat

Adapula manfaat yang diharapkan penelitian ini yaitu antara lain sebagai berikut :

1. Memberikan solusi dalam permasalahan proses *charge* pada baterai yang bersumber PV panel untuk menghindari *overcharge* yang lebih optimal.
2. Memberikan manfaat perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dalam pengoptimalan daya yang dihasilkan energi matahari.
3. Kedepannya dapat dikembangkan untuk skala pembebanan rumah tangga.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumber Energi Terbarukan

Merupakan suatu kenyataan bahwa kebutuhan akan energi, khususnya energi listrik di Indonesia, makin berkembang menjadi bagian tak terpisahkan kebutuhan hidup masyarakat sehari-hari seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan di bidang teknologi, industri dan informasi. Namun pelaksanaan penyediaan energi listrik yang dilakukan oleh PT.PLN (Persero), selaku lembaga resmi yang ditunjuk oleh pemerintah untuk mengelola masalah kelistrikan di Indonesia, sampai saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik secara keseluruhan. Kondisi geografis negara Indonesia yang terdiri atas ribuan pulau dan kepulauan, tersebar dan tidak meratanya pusat-pusat beban listrik, rendahnya tingkat permintaan listrik di beberapa wilayah, tingginya biaya marginal pembangunan sistem suplai energi listrik (Ramani,K.V,1992), serta terbatasnya kemampuan finansial, merupakan faktor-faktor penghambat penyediaan energi listrik dalam skala nasional.

Selain itu, makin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil, khususnya minyak bumi, yang sampai saat ini masih merupakan tulang punggung dan komponen utama penghasil energi listrik di Indonesia, serta makin meningkatnya kesadaran akan usaha untuk melestarikan lingkungan, menyebabkan kita harus berpikir untuk mencari alternatif penyediaan energi listrik yang memiliki karakter;

1. dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian energi fosil, khususnya minyak bumi
2. dapat menyediakan energilistrik dalam skala lokal regional
3. mampu memanfaatkan potensi sumber daya energi setempat, serta
4. cinta lingkungan, dalam artian proses produksi dan pembuangan hasil produksinya tidak merusak lingkungan hidup disekitarnya.

Sistem penyediaan energi listrik yang dapat memenuhi kriteria di atas adalah sistem konversi energi yang memanfaatkan sumber daya energi terbarukan, seperti: matahari, angin, air, biomas dan lain sebagainya (Djojonegoro,1992). Tak bisa dipungkiri bahwa kecenderungan untuk mengembangkan dan memanfaatkan potensi sumber-sumber daya energi terbarukan dewasa ini telah meningkat dengan pesat, khususnya di negara-negara sudah berkembang, yang telah menguasai rekayasa dan teknologinya, serta mempunyai dukungan finansial yang kuat. Oleh sebab itu, merupakan hal yang menarik untuk disimak lebih lanjut, bagaimana peluang dan kendala pemanfaatan sumber-sumber daya energi terbarukan ini di negara-negara sedang berkembang, khususnya di Indonesia.

Potensi sumber daya energi terbarukan, seperti; matahari, angin dan air, ini secara prinsip memang dapat diperbarui, karena selalu tersedia di alam. Namun pada kenyataannya potensi yang dapat dimanfaatkan adalah terbatas. Tidak di setiap daerah dan setiap waktu; matahari bersinar cerah air jatuh ketinggian dan mengailr deras serta angin bertiup dengan kencang Di sebabkan oleh keterbatasan-keterbatasan tersebut, nilai sumber daya energi sampal saat ini belum dapat begitu menggantikan kedudukan sumber daya energi fosil sebagai bahan baku produksi energi listrik. Oleh sebab itu energi terbarukan ini lebih tepat disebut sebagai energi aditif, yaitu sumber daya energi tambahan untuk memenuhi peningkatan kebutuhan energi listrik, serta menghambat atau mengurangi peranan sumber daya energi fosil.

Pembangunan sistem pembangkit energi listrik yang memanfaatkan sumber daya energi terbarukan, terutama air, sudah banyak dilaksanakan di Indonesia. Pemanfaatan energi angin banyak diterapkan di daerah pantai, seperti di Jepara, pulau Lombok, Sulawesi dan Bali. Sementara energi matahari telah dimanfaatkan di beberapa wilayah di Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat dan wlayah timur Indonesia. Sebagian besar pembangunan tersebut berupa proyea-proyek percontohan.

Akan tetapi bukan berarti pengembangan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan ini terbebas segala kendala. Khususnya di Indonesia ada beberapa kendala yang menghambat pengembangan energi terbarukan bagi produksi energi listrik (LIPI, 2004), seperti:

1. Harga jual energi fosil, misal; minyak bumi, solar dan batubara, di Indonesia masih sangat rendah. Sebagai perbandingan, harga solar/minyak disel di Indonesia Rp.380,-/liter sementara di Jerman mencapai Rp.2200,-/liter, atau sekitar enam kali lebih tinggi.
2. Rekayasa dan teknologi pembuatan sebagian besar komponen utamanya belum dapat dilaksanakan di Indonesia, jadi masih harus mengimport luar negeri.
3. Biaya investasi pembangunan yang tinggi menimbulkan masalah finansial pada penyediaan modal awal.
4. Belum tersedianya data potensi sumber daya yang lengkap, karena masih terbatasnya studi dan penelitian yang dilakukan.
5. Secara ekonomis belum dapat bersaing dengan pemakaian energi fosil.
6. Kontinuitas penyediaan energi listrik rendah, karena sumber daya energinya sangat bergantung pada kondisi alam yang perubahannya tidak tentu.

Berdasar atas kendala-kendala yang dihadapi dalam upaya mengembangkan dan meningkatkan peran energi terbarukan pada produksi energi listrik khususnya, maka beberapa strategi yang mungkin diterapkan (LIPI, 2004), antara lain:

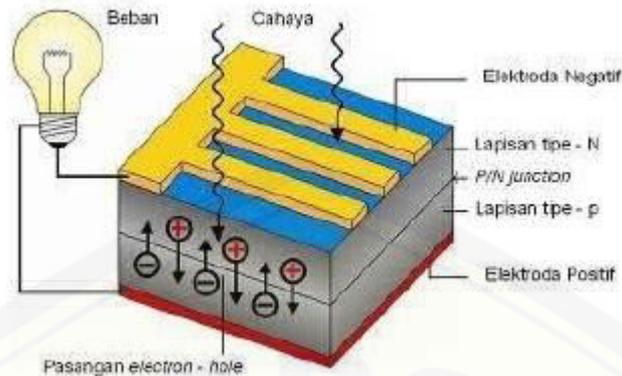
1. meningkatkan kegiatan studi dan penelitian yang berkaitan dengan; pelaksanaan identifikasi setiap jenis potensi sumber daya energi terbarukan secara lengkap di setiap wilayah; upaya perumusan spesifikasi dasar dan standar rekayasa sistem konversi energinya yang sesuai dengan kondisi di Indonesia; pembuatan *prototype* yang sesuai dengan spesifikasi dasar dan standar rekayasanya; perbaikan kontinuitas penyediaan energi listrik; pengumpulan pendapat dan tanggapan masyarakat tentang pemanfaatan energi terbarukan tersebut.
2. menekan biaya investasi dengan menjajagi kemungkinan produksi massal sistem pembangkitannya, dan mengupayakan agar sebagian komponennya dapat diproduksi di dalam negeri, sehingga tidak semua komponen harus diimport luar negeri. Penurunan biaya investasi ini akan berdampak langsung terhadap biaya produksi.

3. memasyarakatkan pemanfaatan energi terbarukan sekaligus mengadakan analisis dan evaluasi lebih mendalam tentang kelayakan operasi sistem di lapangan dengan pembangunan beberapa proyek percontohan .
4. meningkatkan promosi yang berkaitan dengan pemanfaatan energi dan upaya pelestarian lingkungan.
5. memberi prioritas pembangunan pada daerah yang memiliki potensi sangat tinggi, baik teknis maupun sosio-ekonomisnya.
6. memberikan subsidi silang guna meringankan beban finansial pada tahap pembangunan. Subsidi yang diberikan, dikembalikan oleh konsumen berupa rekening yang harus dibayarkan pada setiap periode waktu tertentu. Dana yang terkumpul rekening tersebut digunakan untuk mensubsidi pembangunan sistem pembangkit energi listrik di wilayah lain.

2.2 Stand-Alone PV System (SAPS)

Fotovoltaik (PV) merupakan suatu teknologi konversi yang mengubah cahaya (foto) menjadi listrik (volt) secara langsung (*direct conversion*). Peristiwa ini dikenal sebagai efek fotolistrik (*PV effect*). Efek sel PV terjadi akibat lepasnya elektron yang disebabkan adanya cahaya yang mengenai logam. Logam-logam yang tergolong golongan 1 pada sistem periodik unsur-unsur seperti Lithium, Natrium, Kalium, dan Cesium sangat mudah melepaskan elektron valensinya. Selain karena reaksi redoks, elektron valensilogam-logam tersebut juga mudah lepas oleh adanya cahaya yang mengenai permukaan logam tersebut. Diantara logam-logam diatas Cesium adalah logam yang paling mudah melepaskan elektronnya. (Made Dani Pradipta, 2012)

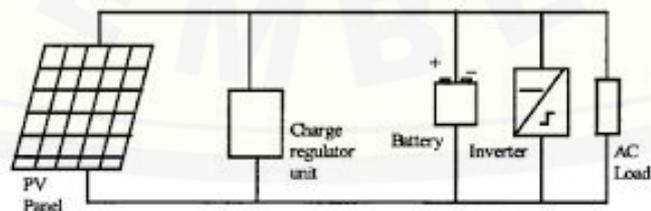
Tegangan yang dihasilkan oleh sensor PV adalah sebanding dengan frekuensi gelombang cahaya (sesuai konstanta Plank $E = h.f$). Semakin ke arah warna cahaya biru, makin tinggi tegangan yang dihasilkan. Tingginya intensitas listrik akan berpengaruh terhadap arus listrik. Bila PV diberi beban maka arus listrik dapat dihasilkan adalah tergantung intensitas cahaya yang mengenai permukaan semikonduktor.



Gambar 2.1 Cara Kerja PV Panel (Made Dani Pradipta, 2012)

Bila sel PV dikenakan pada sinar matahari, maka timbul elektron dan *hole*. Elektron-elektron dan *hole-hole* yang timbul di sekitar *pn junction* bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan *hole-hole* itu melintasi *pn junction*, timbul beda potensial pada kedua ujung sel PV. Jika pada kedua ujung sel PV diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban.

SAPS atau Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS-Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil/pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Sistem PLTS Sistem Terpusat disebut juga SAPS yaitu sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian PV panel untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan. Secara skematik SAPS dapat diilustrasikan sebagai berikut. (Anugrah Rahman Rusadi, 2013)



Gambar 2.2 Diagram blok SAPS (Anugrah Rahman Rusadi, 2013)

Menurut Hasan (2012) menyatakan komponen PLTS terdiri atas:

1. Modul PV

Komponen utama PV yang dapat menghasilkan energi listrik DC disebut panel PV. Panel PV terbuat bahan semikonduktor (umumnya silikon) yang apabila disinari oleh cahaya matahari dapat menghasilkan arus listrik.

2. Baterai/Aki

Baterai atau aki adalah penyimpan energi listrik pada saat matahari tidak ada. Baterai yang cocok digunakan untuk PV adalah baterai *deep cycle lead acid* yang mampu menampung kapasitas 100 Ah, 12 V, dengan efisiensi sekitar 80%. Waktu pengisian baterai/aki selama 12 jam - 16 jam.

3. Regulator Baterai

Regulator baterai adalah alat yang mengatur pengisian arus listrik modul PV ke baterai dan sebaliknya.

Saat isi baterai tersisa 20% sampai 30%, maka regulator akan memutuskan dengan beban. Regulator baterai juga mengatur kelebihan mengisi baterai dan kelebihan tegangan modul PV. Manfaat alat ini juga untuk menghindari *full discharge* dan *overloading* serta memonitor suhu baterai. Kelebihan tegangan dan pengisian dapat mengurangi umur baterai. Regulator baterai dilengkapi dengan *diode protection* yang menghindarkan arus DC baterai agar tidak masuk ke panel surya lagi.

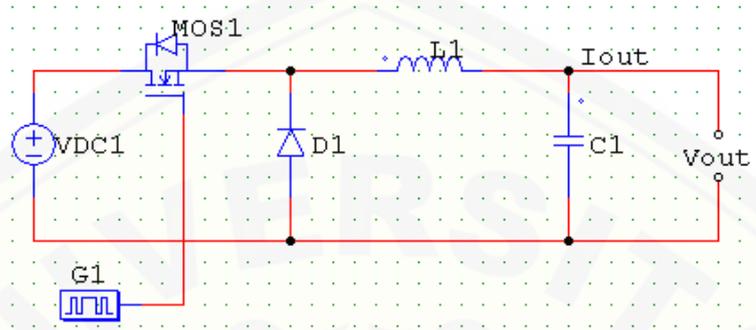
4. Inverter

Inverter adalah alat yang mengubah arus DC menjadi AC sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik yang digunakan. Alat ini mengubah arus DC panel surya menjadi arus AC untuk kebutuhan beban-beban yang menggunakan arus AC

2.3 Buck converter

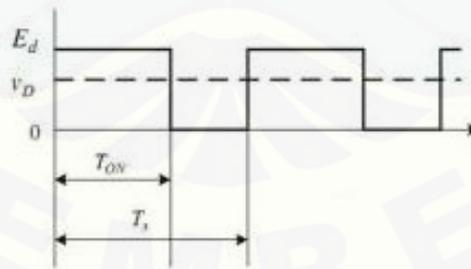
Buck converter merupakan *converter* penurun tegangan yang mengkonversikan tegangan masukan DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. Seperti terlihat pada gambar 2.3, rangkaian ini terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET), satu saklar pasif (dioda), kapasitor dan induktor sebagai tapis keluarannya. Cara kerjanya sendiri ketika *switch closed*, dioda bekerja

reversed/block sehingga suplai *input* mengalir ke induktor juga ke beban. Dan ketika *switch opened* dioda bekerja *forward/unblock* sehingga energi yang disimpan di induktor dapat mengalir ke beban.



Gambar 2.3 Rangkaian *Buck converter*

Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif (dioda) sering diganti dengan saklar aktif (MOSFET) sehingga susut daya pada saklar bisa dikurangi. Apabila menggunakan 2 saklar aktif, kedua saklar ini akan bekerja secara bergantian, dan hanya ada satu saklar yang menutup setiap saat. Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar (saklar konduksi OFF / ON) terhadap periode penyaklarannya. Untuk mengetahui tegangan rata-rata *buck converter* yaitu sebagai berikut.



Gambar 2.4 Gelombang persegi saat ON dan OFF Rashid, (Muhammad H. Rashid, 2001)

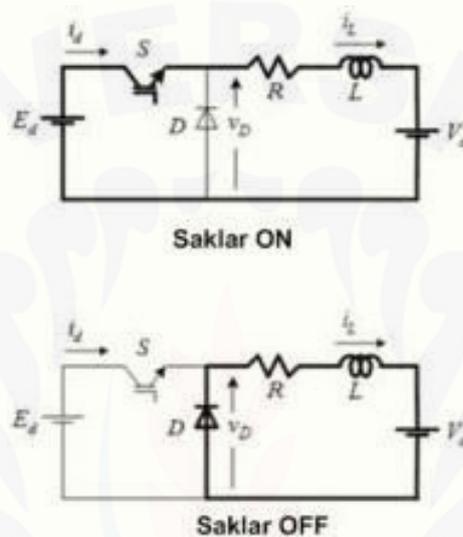
$$\tilde{v}_D = \frac{T_{ON}}{T_S} E_d \dots\dots\dots(2.1)$$

Maka tegangan rata-ratanya:

$$\tilde{v}_D = \frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} E_D = \frac{T_{ON}}{T_S} E_d = dE_d \dots\dots\dots(2.2)$$

Biasanya nilai faktor daya ini tidak lebih kecil 0.2, karena jika dioperasikan pada rasio tegangan yang lebih tinggi, saklar akan bekerja dibawah keandalannya dan menyebabkan efisiensi konverter turun. Untuk rasio (V_d / E_d) yang sangat tinggi, biasanya digunakan konverter DC-DC yang terisolasi atau topologi yang dilengkapi dengan trafo.

Adapula persamaan tegangan *buck converter* yaitu sebagai berikut



Gambar 2.5 Ilustrasi *buck converter* ketika saklar (*MOSFET*) ON dan OFF, (Muhammad H. Rashid, 2001)

Ketika Saklar ON

$$v_D = Ri_L + L \frac{di_L}{dt} + v_o \dots\dots\dots(2.3)$$

$$0 \leq t < T_{ON} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$v_D = E_d \dots\dots\dots(2.5)$$

Ketika Saklar OFF

$$T_{ON} \leq t < T_s \dots\dots\dots(2.6)$$

$$v_D = 0 \dots\dots\dots(2.7)$$

Analisis riak arus keluaran diperlukan untuk bisa mendesain tapis atau filter keluaran *buck converter*. Persamaan 2.8, 2.9, dan 2.10, terlihat bahwa untuk mendapatkan riak arus *output buck converter* yang kecil, diperlukan tapis induktor (L) yang nilainya akan semakin kecil dengan meningkatkan frekuensi penyaklaran.

Riak arus keluaran *buck converter* akan bernilai maksimum apabila konverter bekerja pada *duty cycle* (d) = 0,5. Untuk analisi riak arus *buck converter* dapat dilihat dibawah ini.

$$i_L = \tilde{i}_L + \bar{i}_L \quad v_D = \tilde{v}_D \bar{v}_D \quad v_O = V_O$$

Maka

$$\tilde{v}_D = R\tilde{i}_L + V_O \quad \tilde{v}_D = R\tilde{i}_L + L \frac{d\tilde{i}_L}{dt} \dots\dots\dots(2.8)$$

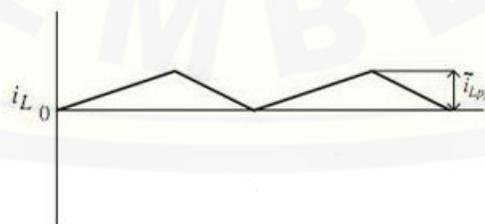
Jika Nilai $R\tilde{i}_L$ dianggap kecil maka

$$\tilde{i}_L = \frac{1}{L} \int \tilde{v}_D dt = \frac{1}{L} \int (v_D - \bar{v}_D) dt \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\begin{aligned} \tilde{i}_{L,PP} &= \frac{E_d - \bar{v}_D}{L} T_{ON} = \frac{\bar{v}_D}{L} T_{OFF} \dots\dots\dots(2.10) \\ &= \frac{E_d - dE_d}{L} dT_s = \frac{E_d}{Lf_s} (1 - d)d \end{aligned}$$

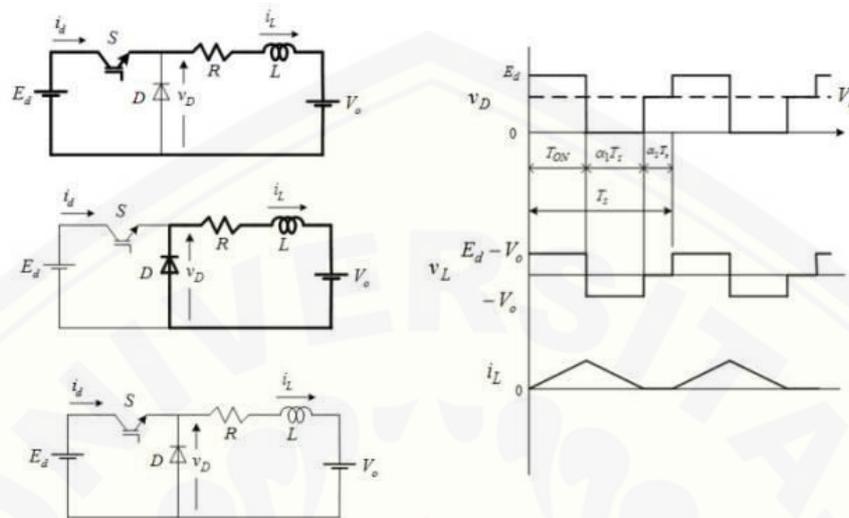
$f_s = 1/T_s$ adalah frekuensi penyaklaran

Gambar dibawah ini adalah kondisi arus yang mengalir di induktor pada saat *buck converter* bekerja pada kondisi kritis. Yang dimaksud dengan kondisi kritis disini adalah kondisi dimana arus di induktor mengalir ke beban sampai tepat bernilai nol pada saat saklar OFF, atau induktor bekerja sebagai sumber arus. gambar 2.6 terlihat bahwa arus yang mengalir di induktor sebanding dengan nilai riak arus keluaran. Pada kondisi ini, gambar terlihat bahwa nilai riak arus keluaran rata-rata sebanding dengan 1/2 riak arus puncak ke puncak yang dapat dihitung dengan persamaan 2.11 sebagai berikut.



Gambar 2.6 Penyaklaran pada kondisi kritis (Muhammad H. Rashid, 2001)

$$\tilde{i}_L = \frac{i_{Lpp}}{2} = \left(\frac{E_d}{Lf_s}\right) \frac{(1-d)d}{2} \dots\dots\dots(2.11)$$



Gambar 2.7 Ilustrasi rangkaian *buck converter* dan bentuk gelombang kondisi diskontinu, (Muhammad H. Rashid, 2001)

Setelah mengetahui analisis diatas, Tahapan-tahapan yang perlu diperhatikan dalam merancang *buck converter* yaitu:

1. Menentukan daya *output* maksimum, tegangan *output*, dan tegangan *input*.
2. Menentukan frekuensi *switching* ini tergantung sumber *switching*.
3. Menentukan *dutycycle* dengan rumusan V_{in}/V_{out} . Dengan menggunakan persamaan berikut.

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} \dots\dots\dots(2.12)$$

4. Menentukan *ripple* arus maksimum (ΔI_L) biasanya 10% arus beban (disunting microchip), serta mementukan *ripple* tegangan (ΔV_o).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out} * I_{out}}{V_{in} * I_{in}} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$I_{in} = \frac{V_{out} * I_{out}}{V_{in} * \eta} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\Delta I_L = 10\% * I_{out} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$r = \frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} = 4\% \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\Delta V_o = r * V_o, \Delta V_o = 4\% * V_o \dots\dots\dots(2.17)$$

5. Menghitung nilai Induktor, nilai kapasitor *output*.

$$L = \frac{1}{f} * (V_{in} - V_o) * \frac{V_o}{V_{in}} * \frac{1}{\Delta L} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$C = \frac{V_o(1-D)}{8*L*\Delta V_o*f^2} \dots\dots\dots(2.19)$$

6. Mencari arus induktor untuk menentukan penampang induktor:

$$I_L = IR = \frac{V_o}{R} \text{ sehingga } I_{max} = I_L + \frac{\Delta L}{I_L} \dots\dots\dots(2.20)$$

7. Mencari jumlah lilitan induktor

$$N = \frac{L*I_{max}}{B_{max}*Ac} * 10^4 \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan nilai Ac menyesuaikan besar arus induktor

Komponen-komponen pendukung lainnya adalah :

1. *Diode ultra fast recovery*
2. Rangkaian penyulutan dapat menggunakan mikrokontrol, atau menggunakan rangkaian analog.
3. Komponen *switch* dapat menggunakan *power MOSFET*.

2.4 Baterai

2.4.1 Struktur Baterai

Baterai adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan baterai untuk dapat menghidupkan mesin kendaraan (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). baterai mampu mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik. Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder.

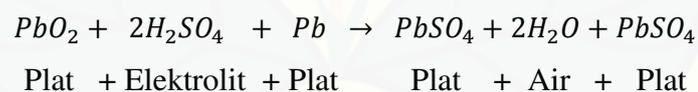
Elemen primer terdiri elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir elektroda negatif (katoda) ke elektroda positif (anoda) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian

bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (*dry cells*). Elemen sekunder dalam pemakaiannya harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan baterai.

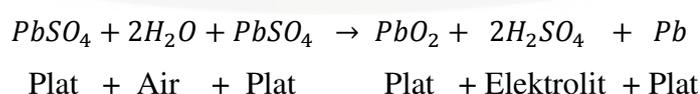
Dalam sebuah baterai berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam baterai saat dipakai berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (*discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*charging*). Pada aki kendaraan bermotor arus yang terdapat di dalamnya dinamakan dengan kapasitas baterai yang disebut *Ampere-Hour/AH* (Amper-jam). Contohnya untuk baterai dengan kapasitas arus 5 AH, maka baterai tersebut dapat mencatu arus 5 A selama 1 jam atau 1 A selama 5 jam.

2.4.2 Reaksi Kimia Baterai

Pengosongan dan pengisian baterai merupakan suatusiklus seperti reaksi kimia di bawah ini. Reaksi kimia pada waktu baterai mengeluarkan arus :



Ketika baterai mengeluarkan arus listrik, timah hitam pada plat positif maupun negatif bergabung dengan SO_4 yang terdapat dalam elektrolit, sehingga membentuk $PbSO_4$. Dengan adanya reaksi tersebut, elektrolit H_2SO_4 sedikit demi sedikit menjadi air, sehingga elektrolit berkurang konsentrasinya, mengakibatkan berat jenisnya pun menurun. Reaksi kimia pada waktu baterai diisi:



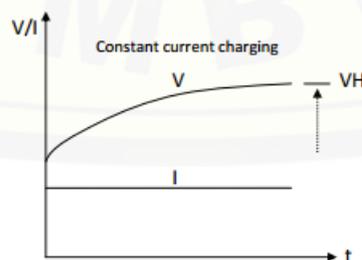
Selama pengisian, arus listrik mengalir ke dalam baterai dengan arah yang berlawanan, sehingga mengakibatkan kebalikan reaksi di dalam baterai. H_2SO_4 terpisah $PbSO_4$ pada tiap-tiap plat sehingga plat positif akan terdapat Pb. Dalam reaksi ini H_2SO_4 akan terbentuk kembali di dalam elektrolit sehingga konsentrasi dan berat jenisnya akan naik. Akibat reaksi kimia (ketika akai dipakai), pada kutub-kutub anoda dan katoda lama kelamaan terjadi endapan PbO sehingga tidak terjadi selisih potensial lagi (baterai kosong). Untuk mengisinya kembali maka kita harus mengalirkan arus listrik ke arah yang berlawanan dengan arus yang dikeluarkan oleh baterai tersebut. Gaya gerak listrik (GGL) baterai ini sekitar 2 V. Efisiensi baterai ialah perbandingan energi listrik yang dapat dipakai menjadi kalor dibandingkan dengan energi listrik yang diisikan. berkisar 80-90%.

2.4.3 Metode *Charge* dan *Discharge* Baterai

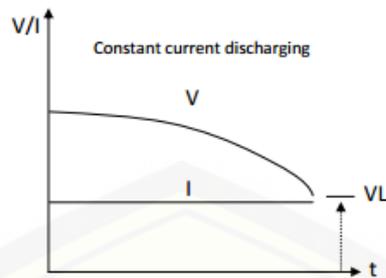
Baterai merupakan salah satu komponen yang sangat penting untuk memberikan suplai tenaga, akan tetapi dalam alat ini, baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik yang berasal PV panel. Penelitian atau percobaan tentang proses *charge* dan *discharge* telah menghasilkan banyak sekali metode yaitu antara lain:

a. Proses *Charge* dan *Discharge* dengan Arus Konstan.

Proses *charge* dan proses *discharge* dengan arus konstan ditunjukkan pada gambar 2.8 dan 2.9. Berdasarkan pada gambar tersebut diketahui bahwa, proses *charge discharge* akan berakhir ketika waktu yang telah diset terlampaui atau apabila kapasitas baterai yang ditentukan telah terpenuhi.



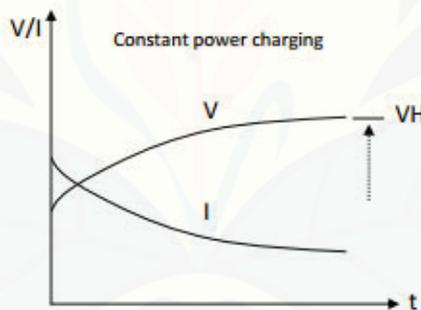
Gambar 2.8 Proses *charge* dengan arus konstan
(Wulan Triyas Ika, 2010)



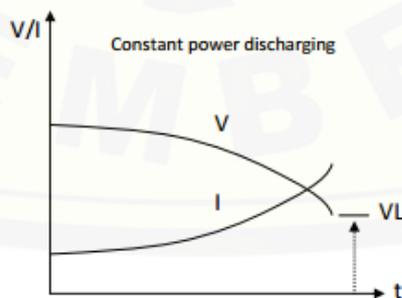
Gambar 2.9 Proses *discharge* dengan Arus Konstan (Wulan Triyas Ika, 2010)

b. Proses *Charge* dan *Discharge* dengan Daya Konstan.

Proses *charge* dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dilakukan ketika tegangan naik dan arus turun. Pada proses ini berakhir ketika *set time* terpenuhi atau tegangan pada baterai terpenuhi. Sedangkan proses *discharge* dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 dilakukan ketika tegangan baterai turun dan arus naik dan *discharge* berakhir saat *set time* terlampaui atau tegangan beban terpenuhi.



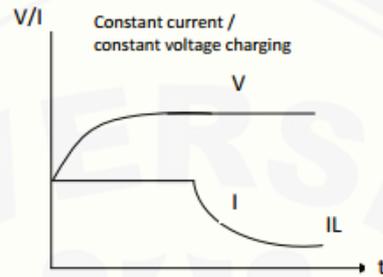
Gambar 2.10 Proses *charge* dengan daya konstan (Wulan Triyas Ika, 2010)



Gambar 2.11 Proses *discharge* dengan daya konstan (Wulan Triyas Ika, 2010)

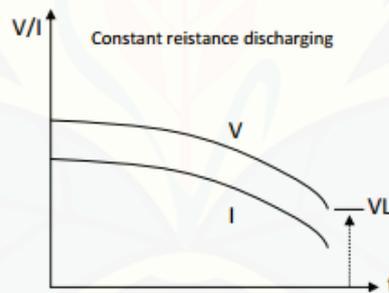
- c. Proses *Charge* dengan Arus dan Tegangan Konstan dan *Discharge* dengan Resistansi Konstan.

Gambar 2.12 menunjukkan proses *charge* dengan arus konstan ketika tegangan terminal lebih rendah pada tegangan *charge*.



Gambar 2.12 Proses *charge* dengan arus konstan / tegangan konstan (Wulan Triyas Ika, 2010)

Gambar 2.13 menunjukkan proses *discharge* dengan resistansi konstan ketika tegangan baterai turun dan arus juga turun.



Gambar 2.13 Proses *discharge* dengan resistansi konstan (Wulan Triyas Ika, 2010)

Untuk mengetahui waktu dalam proses pengisian baterai, dapat menggunakan perhitungan pada persamaan (2.22) dan persamaan (2.23):

- a. Lama pengisian Arus:

$$Ta = \frac{Ah}{A} \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

Ta = Lamanya pengisian arus (jam).

Ah = Besarnya kapasitas baterai (*Ampere hours*).

A = Besarnya arus pengisian ke baterai (*Ampere*).

b. Lama pengisian Daya:

$$T_d = \frac{\text{daya Ah}}{\text{daya A}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

Td = Lamanya pengisian Daya (jam).

Daya Ah = Besarnya daya yang didapat perkalian Ah dengan besar tegangan baterai (*Watt hours*).

Daya A = Besarnya daya yang didapat perkalian A dengan besar tegangan baterai (*Watt*).

2.4.4 State Of Charge Baterai

Status pengisian baterai dapat diketahui berdasarkan tegangan atau berat jenis elektrolit. Perubahan kepadatan berat jenis asam sulfat baterai memberikan suatu keadaan pengisian yang berbeda. Berat jenis elektrolit baterai dapat dibaca menggunakan hydrometer untuk memberikan informasi tentang keadaan pengisian secara tepat. Namun hydrometer tidak dapat digunakan untuk baterai berjenis *sealed*, AGM, dan baterai *gel cell*.

Voltmeter juga dapat digunakan untuk menunjukkan kondisi pengisian baterai. Voltmeter memberikan akurasi untuk membaca tegangan dan mudah untuk digunakan.

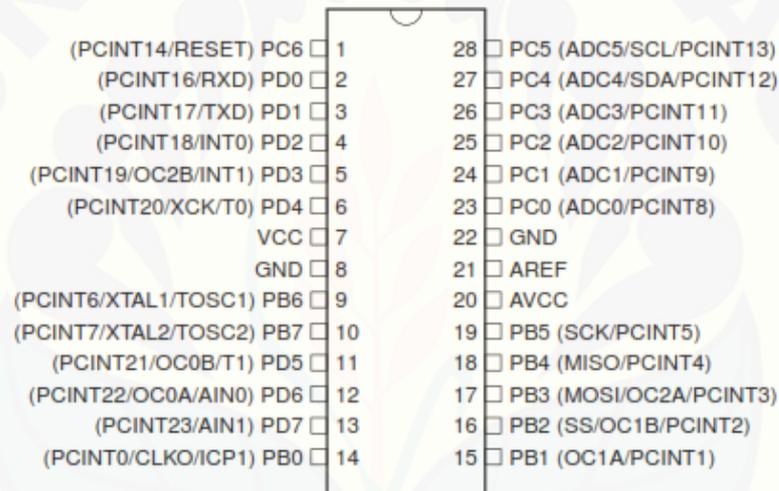
Tabel 2.1 *State of charge standart batteries*

Percent Of Charge	Specific Grafity	6v (volt)	8v (volt)	12v (volt)	24v (volt)	36v (volt)	42v (volt)	48v (volt)	72v (volt)	120v (volt)
100%	1.277	6.37	8.49	12.73	25.48	38.22	44.59	50.96	76.44	127.4
90%	1.258	6.31	8.41	12.62	25.24	27.86	44.17	50.48	75.72	126.2
80%	1.238	6.25	8.33	12.5	25	27.5	43.75	50	75	125
70%	1.217	6.19	8.25	12.37	24.76	37.14	43.33	49.52	74.28	123.8
60%	1.195	6.12	8.15	12.24	24.48	36.72	42.84	48.96	73.44	122.4
50%	1.172	6.05	8.07	12.1	24.2	36.3	42.35	48.5	72.6	121
40%	1.148	5.98	7.97	11.86	23.92	35.88	41.86	47.84	71.76	119.6
30%	1.124	5.91	7.88	11.71	23.64	35.46	41.37	47.28	70.92	118.2
20%	1.098	5.83	7.77	11.66	23.32	34.98	40.81	46.64	69.96	116.6
10%	1.073	5.75	7.67	11.51	23	34.5	40.25	46	69	115

Sumber : <http://www.cartaholics.com>

2.5 Mikrokontroler ATmega328

ATmega328 merupakan mikrokontroler keluarga AVR 8 bit. Beberapa tipe mikrokontroler yang sama dengan ATmega8 ini antara lain ATmega8535, ATmega16, ATmega32, ATmega328, yang membedakan antara mikrokontroler antara lain adalah, ukuran memori, banyaknya GPIO (pin *input/output*), peripheral (USART, *timer*, *counter*, dll). segi ukuran fisik, ATmega328 memiliki ukuran fisik lebih kecil dibandingkan dengan beberapa mikrokontroler diatas. Namun untuk segi memori dan peripheral lainnya ATmega328 tidak kalah dengan yang lainnya karena ukuran memori dan peripheralnya relatif sama dengan ATmega8535, ATmega32, hanya saja jumlah GPIO lebih sedikit dibandingkan mikrokontroler diatas.



Gambar 2.14 Pin Konfigurasi Mikrokontrol ATmega328 (Atmel corporation, 2011)

ATmega328 memiliki 3 buah PORT utama yaitu PORTB, PORTC, dan PORTD dengan total pin *input/output* sebanyak 23 pin. PORT tersebut dapat difungsikan sebagai *input/output* digital atau difungsikan sebagai peripheral lainnya.

1. Port B

Port B merupakan jalur data 8 bit yang dapat difungsikan sebagai *input/output*. Selain itu PORTB juga dapat memiliki fungsi alternatif seperti di bawah ini.

- a. ICP1 (PB0), berfungsi sebagai *Timer Counter 1 input capture* pin.

- b. OC1A (PB1), OC1B (PB2) dan OC2 (PB3) dapat difungsikan sebagai keluaran PWM (*Pulse Width Modulation*).
- c. MOSI (PB3), MISO (PB4), SCK (PB5), SS (PB2) merupakan jalur komunikasi SPI.
- d. Selain itu pin ini juga berfungsi sebagai jalur pemrograman serial (ISP).
- e. TOSC1 (PB6) dan TOSC2 (PB7) dapat difungsikan sebagai sumber *clock external* untuk *timer*.
- f. XTAL1 (PB6) dan XTAL2 (PB7) merupakan sumber *clock* utama mikrokontroler.

2. Port C

Port C merupakan jalur data 7 bit yang dapat difungsikan sebagai *input / output* digital. Fungsi alternatif PORTC antara lain sebagai berikut.

- a. ADC6 *channel* (PC0, PC1, PC2, PC3, PC4, PC5) dengan resolusi sebesar 10 bit. ADC dapat kita gunakan untuk mengubah *input* yang berupa tegangan analog menjadi data digital
- b. I2C (SDA dan SDL) merupakan salah satu fitur yang terdapat pada PORTC. I2C digunakan untuk komunikasi dengan sensor atau *device* lain yang memiliki komunikasi data tipe I2C seperti sensor kompas, *accelerometer nunchuck*.

3. Port D

Port D merupakan jalur data 8 bit yang masing-masing *pin*-nya juga dapat difungsikan sebagai *input / output*. Sama seperti *Port B* dan *Port C*, *Port D* juga memiliki fungsi alternatif dibawah ini.

- a. USART (TXD dan RXD) merupakan jalur data komunikasi serial dengan *level* sinyal TTL. Pin TXD berfungsi untuk mengirimkan data serial, sedangkan RXD kebalikannya yaitu sebagai pin yang berfungsi untuk menerima data serial.
- b. *Interrupt* (INT0 dan INT1) merupakan pin dengan fungsi khusus sebagai interupsi *hardware*. Interupsi biasanya digunakan sebagai selaan program, misalkan pada saat program berjalan kemudian terjadi interupsi *hardware /*

software maka program utama akan berhenti dan akan menjalankan program interupsi.

- c. XCK dapat difungsikan sebagai sumber *clock external* untuk USART, namun kita juga dapat memanfaatkan *clock* CPU, sehingga tidak perlu membutuhkan *external clock*.
- d. T0 dan T1 berfungsi sebagai masukan *counter external* untuk *timer 1* dan *timer 0*.
- e. AIN0 dan AIN1 keduanya merupakan masukan *input* untuk *analog comparator*.

ATMega328 adalah mikrokontroler keluaran atmel yang mempunyai arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) yang mana setiap proses eksekusi data lebih cepat pada arsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*). Mikrokontroler ini memiliki beberapa fitur antara lain:

1. Memiliki *EEPROM* (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanen karena *EEPROM* tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.
2. Memiliki *SRAM* (*Static Random Access Memory*) sebesar 2KB.
3. Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya *PWM* (*Pulse Width Modulation*) *output*.
4. 32 x 8-bit register serba guna.
5. Dengan *clock* 16 MHz kecepatan mencapai 16 MIPS.
6. 32 KB *Flash memory* dan pada arduino memiliki *bootloader* yang menggunakan 2 KB flash memori sebagai *bootloader*.
7. 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus *clock*.

2.6 Pulse Width Modulation (PWM)

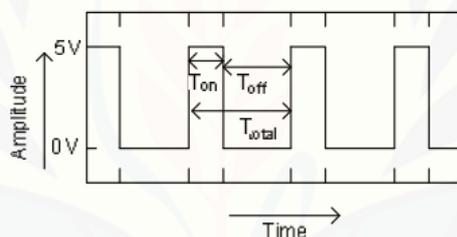
PWM merupakan sebuah mekanisme untuk membangkitkan sinyal keluaran yang periodenya berulang antara high dan low dimana kita dapat mengontrol durasi sinyal *high* dan *low* sesuai dengan yang kita inginkan. *Duty cycle* merupakan prosentase periode sinyal *high* dan periode sinyal, prosentase *duty cycle* akan

bebanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan. Berikut ilustrasi sinyal PWM, misalkan kondisi *high* 5V dan kondisi *low* 0V.

Pengaturan lebar pulsa modulasi atau PWM merupakan salah satu teknik yang “ampuh” yang digunakan dalam sistem kendali (*control system*) saat ini. Pengaturan lebar modulasi dipergunakan di berbagai bidang yang sangat luas, salah satunya adalah: *speed control* (kendali kecepatan), *power control* (kendali sistem tenaga), *measurement and communication* (pengukuran atau instrumentasi dan telekomunikasi).

2.6.1 Prinsip Dasar PWM

Modulasi lebar pulsa (PWM) dicapai/diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*) gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata gelombang tersebut.



Gambar 2.15 Bentuk gelombang kotak (pulsa) dengan kondisi *high* 5V dan *low* 0V (Ari Sulistiono, 2010)

T_{on} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (baca: high atau 1) dan, T_{off} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah (baca: low atau 0). Anggap T_{total} adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara T_{on} dengan T_{off} , biasa dikenal dengan istilah “periode satu gelombang”.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \dots\dots\dots(2.24)$$

Siklus kerja atau *duty cycle* sebuah gelombang di definisikan sebagai,

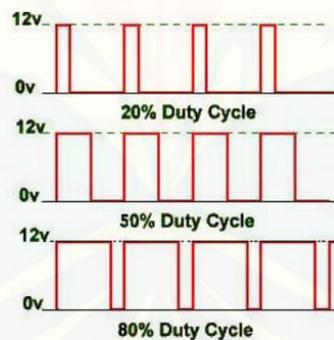
$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \dots\dots\dots(2.25)$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan duty-cycle dan dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$V_{out} = D \times V_{in} \text{ sehingga: } V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \dots\dots\dots(2.26)$$

rumus diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan keluaran dapat diubah ubah secara langsung dengan mengubah nilai T_{on} . Apabila T_{on} adalah 0, V_{out} juga akan 0. Apabila T_{on} adalah T_{total} maka V_{out} adalah V_{in} atau katakanlah nilai maksimumnya.

PWM bekerja sebagai *switching power supply* untuk mengontrol *on* dan *off*. Tegangan dc dikonvert menjadi sinyal kotak bolak balik, saat *on* mendekati tegangan puncak dan saat *off* menjadi nol (0) volt. Jika frekuensi *switching* cukup tinggi maka pengisian baterai yang dikendalikan akan semakin sesuai dengan yang diharapkan. Dengan mengatur *duty cycle* sinyal (modulasi lebar pulsa sinyal disebabkan oleh PWM). Terlihat pada gambar di bawah sinyal referensi adalah sinyal tegangan dc yang dikonversi oleh sinyal gergaji dan menghasilkan sinyal kotak.



Gambar 2.16 Sinyal Referensi (sinyal tegangan DC)
(Ari Sulistiono, 2010)

Informasi analog dapat dikirimkan dengan menggunakan pulsa-pulsa tegangan atau pulsa- pulsa arus. Dengan modulasi pulsa, pembawa informasi terdiri pulsa pulsa persegi yang berulang-ulang. Salah satu teknik modulasi yang sering digunakan adalah teknik modulasi durasi atau lebar waktu tunda positif ataupun waktu tunda negatif pulsa- pulsa persegi tersebut. Untuk membangkitkan sinyal

PWM adalah dengan menggunakan fungsi *timer/counter* yang dibandingkan nilainya dengan sebuah register tertentu.

2.6.2 Pembangkitan sinyal PWM dengan Mikrokontroler

Mengingat bahwa hanya ada dua kondisi amplitudo sinyal PWM (yaitu *low* dan *high*) sedang informasi PWM terletak pada perubahan lebar pulsanya, maka sinyal ini dapat dibangkitkan dengan mikrokontroler, yaitu dengan membuat suatu program yang menghasilkan sinyal seperti sinyal PWM.

2.7 State of The Art Review on Charge Controller for PV system

Dalam tulisan (Lee, J. H.) algoritma kontrol baru untuk sistem pengisian baterai telah dikembangkan oleh para peneliti. Ini terdiri jenis *buck dc / dc converter*. Tujuan algoritma kontrol pengisian dan proses pemakaian dengan mengubah *input buck-boost converter* dengan beban dikendalikan oleh mikrokontroler. Algoritma yang diusulkan sederhana dan fleksibel untuk digunakan.

Dalam tulisan (Raju, P) penulis telah menyarankan metode untuk sistem hibrida PV dan angin dalam manajemen baterai dengan kecerdasan buatan. Logika *fuzzy* dan jaringan syaraf digunakan untuk memanfaatkan baterai maksimum. Sebuah model MATLAB Simulink telah dikembangkan untuk sistem manajemen daya. *Neural network* lebih baik dibandingkan dengan logika *fuzzy* dalam baterai sistem manajemen daya saat pengisian dan proses pengosongan.

Dalam tulisan (Shiau, J. K) menjelaskan sistem pengisian baterai untuk sistem manajemen baterai PV. Sistem ini terdiri *buck-boost converter*. Tergantung pada tegangan suplai panel surya sistem beroperasi dalam mode yang berbeda yaitu modus *buck*, modus *boost-buck*, atau modus *boost*. MATLAB Simulink alat simulasi digunakan untuk memverifikasi hasil. *Buck-boost converter* dengan mikrokontroler adalah bagian yang sangat penting sistem manajemen daya.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab tiga barikut ini akan dijelaskan mengenai metodologi peneliti sendiri dalam penelitian ini, sehingga tidak keluar terlalu jauh rumusan masalah pada bab satu. Dalam penelitian ini secara keseluruhan menggunakan metode *action research* dan *applied research*. Dikarenakan pada penelitian ini untuk tahapan pertama melakukan tindakan terhadap penemuan atau penelitian sebelumnya yang kemudian akan dilakukan pengembangan di beberapa bagian SAPS. Kemudian dilanjutkan dengan penerapan hasil pengembangan yang sebelumnya sudah dikaji. Sehingga mampu mengoptimalkan SAPS terutama di proses *charge* pada baterai.

3.1 Prosedur Penelitian

Dalam pembuatan skripsi dan penelitian ini memiliki beberapa langkah atau prosedur penelitian, secara garis besar meliputi :

1. Tahapan persiapan

Dalam tahap persiapan ini berisi tentang pengurusan administrasi, izin, survey, pelatihan dan membuat secara garis besar rencana / konsep penelitian.

2. Studi literatur terhadap objek dan penelitian

Pada tahap ini adalah proses menggali dan mempelajari materi yang didapat jurnal-jurnal, buku atau artikel baik lokal maupun internasional demi menunjang penelitian ini, yang nanti akan dijadikan sebagai rujukan untuk menentukan hipotesis awal penelitian. Bahan studi literatur diambil yang mencakup SAPS, karakteristik PV, komponen-komponen yang menunjang dalam merancang bangun, dan atau kapasitas baterai.

3. Pengumpulan data intensitas cahaya matahari, spesifikasi baterai yang akan digunakan

Pengumpulan data intensitas cahaya untuk mengetahui letak atau posisi panel yang paling optimal untuk menghasilkan energi, sedangkan pengumpulan data untuk baterai untuk mengetahui besar tegangan dan arus.

Dengan data tersebut sehingga didapat kapasitas baterai pada kondisi rendah atau tinggi sehingga mampu mengatur proses *charge* pada baterai.

4. Perencanaan komponen sistem yang diperlukan dalam rancang bangun *charge controller* untuk baterai

Pada perencanaan ini meliputi perencanaan sumber dan beban serta komponen perangkat keras yang akan dipakai. Pembebanan menggunakan beban skala laboratorium yang hanya menggunakan beban searah (DC).

5. Rancang bangun sistem serta algoritma sistem pengisi baterai pada SAPS

Perancangan sistem pengisi baterai untuk baterai menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++ dengan algoritma *decrement* dan *increment*.

6. Melakukan pengujian hasil performa rancang bangun

Setelah melakukan rancang bangun kemudian dilakukan pengujian. Dalam pengujian ini digunakan untuk mengetahui respon atau variabel yang terkait dengan sehingga didapat hasil yang optimal. Pengujian pada sistem pengisi baterai ini terdiri pengujian sensor (sensor tegangan dan sensor arus), pengujian *Pulse Width Modulation (PWM)*, Pengujian *buck converter*, pengujian keseluruhan sistem.

7. Analisis sistem

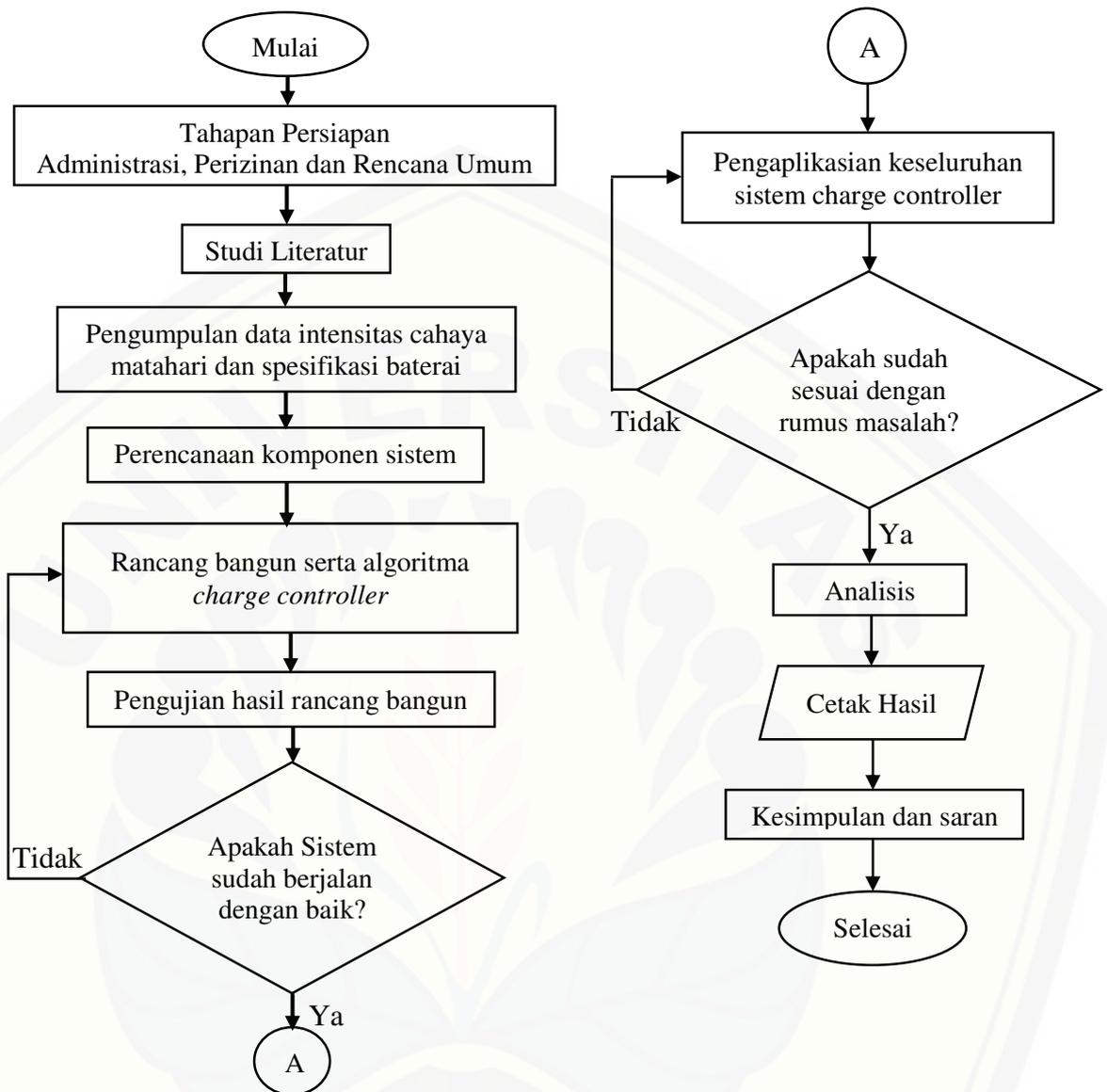
Analisis yang dilakukan adalah analisis teknik yang meliputi perancangan sistem dan ekonomis yang meliputi optimalisasi biaya rancang bangun dan optimalisasi daya yang dihasilkan

8. Pengambilan keputusan dan saran

Tahap terakhir penelitian ini adalah pengambilan kesimpulan rancangan sistem

3.2 Diagram Alir Penelitian

Pada subbab ini akan dijelaskan alir dari penelitian mulai dari tahapan persiapan, perancangan, pengujian, analisis, kesimpulan dan saran. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Pada *flowchart* gambar 3.1 terdapat dua *decision* atau sebuah penyeleksi data yang memberikan pilihan untuk langkah sebelumnya. *Decision* pertama mengatakan “Apakah sistem sudah berjalan dengan baik?” dapat dikatakan sistem sudah berjalan dengan baik apabila hasil perancangan sudah mampu mengontrol tegangan yang keluar dari *buck converter*, dapat melakukan *start* dan *stop charging* yaitu ketika 14,7 V sistem pengisi baterai ini akan berhenti melakukan proses *charging*. Dan *decision* kedua mengatakan “Apakah sudah sesuai rumusan

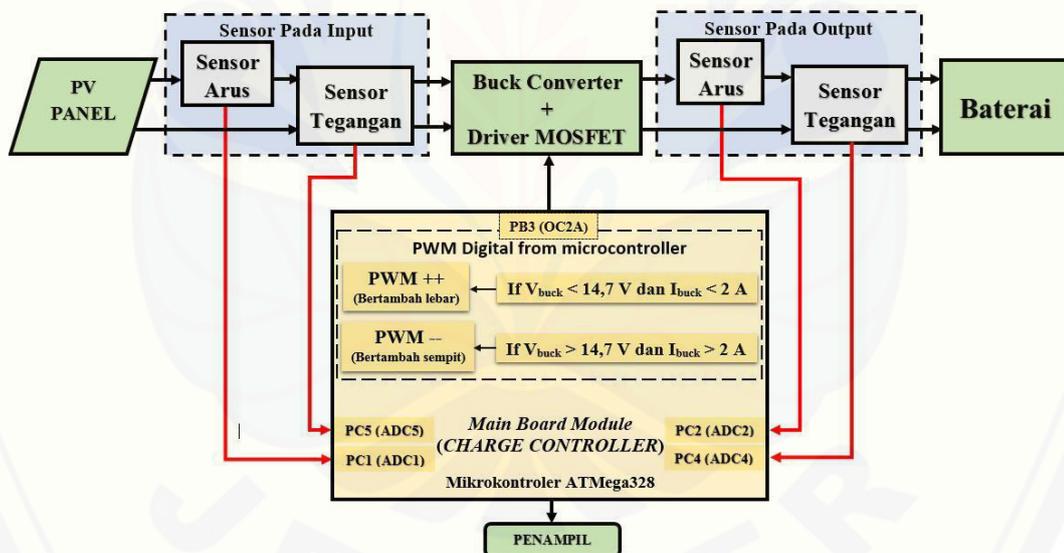
masalah?" dikatakan sistem sudah sesuai rumusan masalah apabila sistem yang dibuat sudah mampu menjawab rumusan masalah seperti seberapa optimal sistem pengisi baterai ini, kemudian performa sistem pengisi baterai yang dihasilkan sudah baik atau tidak dengan membandingkan pada penelitian sebelumnya.

3.3 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. PV Panel
2. Baterai
3. PC/Laptop
4. Eagle
5. PCB
6. Komponen elektronika

3.4 Diagram Blok Sistem



Gambar 3.2 Diagram blok perencanaan sistem pengisi baterai berbasis mikrokontroler ATmega328

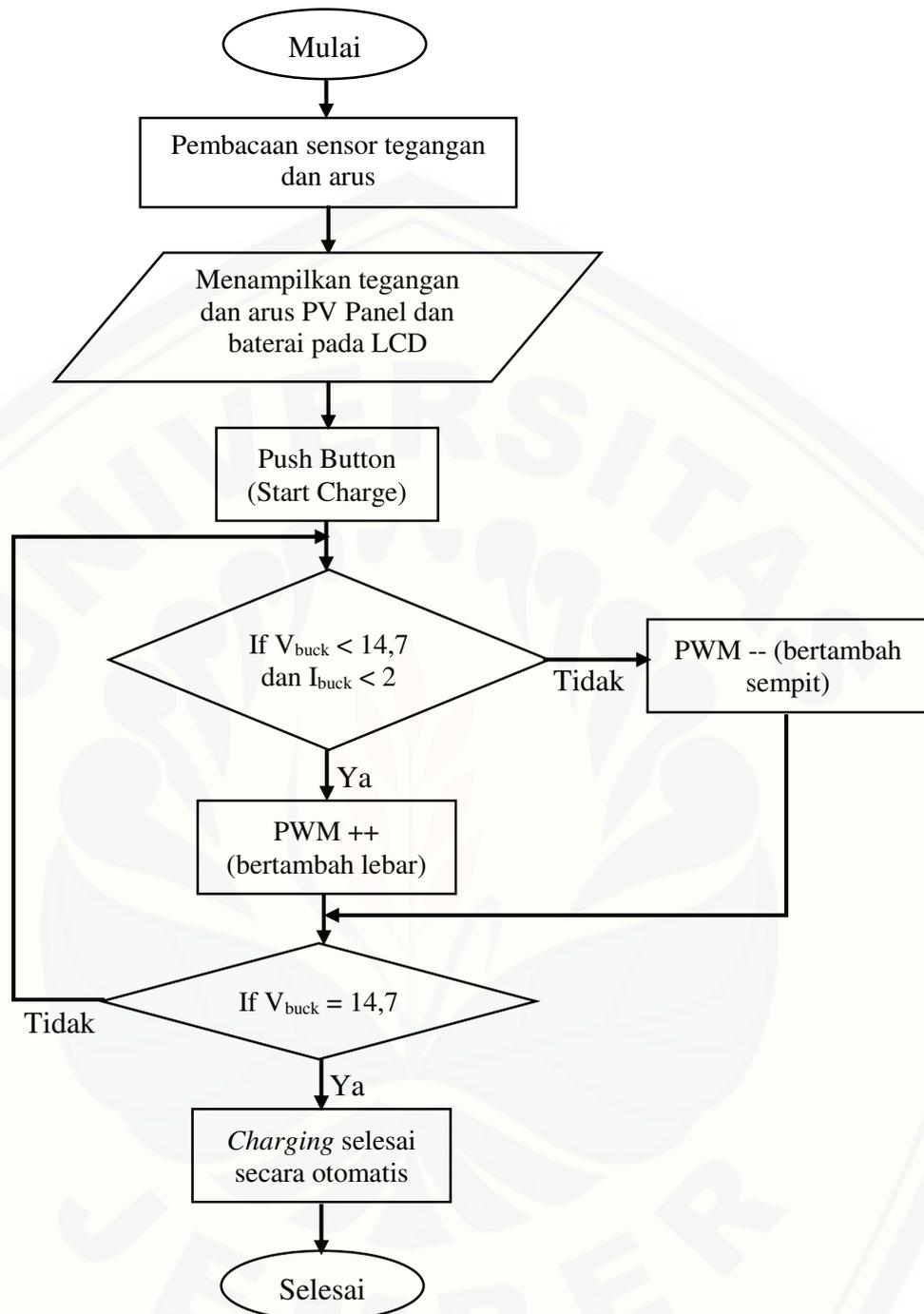
Sistem yang diusulkan seperti pada gambar 3.2 terdiri tujuh unit yaitu *PV panel*, sirkuit pengisian, baterai, *analog to digital converter (ADC)*, *charge control* dengan mikrokontroler ATmega328, *DC-DC Converter(buck converter)*, beban DC, satuan indikator, masing-masing dengan fungsi sendiri. Unit-unit ini terhubung

sesuai dengan diagram blok yang ditampilkan pada gambar 3.2. Penjelasan mengenai bagian-bagiannya yaitu sebagai berikut :

1. Unit pertama yaitu panel PV memiliki daya dinilai 100 WP, tegangan saat daya maksimum sebesar 17.6 V dan arus ketika daya maksimum 5.69 A. Ketika matahari berada pada posisi lurus dengan panel PV akan menghasilkan *output* yang maksimum. *Output* panel PV menuju unit kedua
2. Unit kedua yaitu sirkuit yang mencakup *buck converter* dikontrol oleh pengisian dengan sinyal PWM. Pada *output buck converter* terdapat sensor tegangan dan arus yang keduanya merasakan (*sensing*) kondisi baterai sehingga memberi *feedback* menuju mikrokontrol untuk mengatur PWM pada *buck converter*.
3. Unit ketiga adalah ADC, tegangan dan arus baik panel surya PV dan baterai diberikan sebagai umpan balik kepada analog ke digital. Kemudian ADC mengkonversi nilai analog menjadi nilai digital yang setara kemudian dikirim menuju mikrokontroler. Pada ATmega328 untuk ADC sudah tertanam pada satu *chip*, tepatnya pada *port C* pada kaki 23 sampai 28.
4. Unit keempat yaitu unit kontrol yang terdiri satu unit *charger* yang didalamnya terdapat *buck converter* dikontrol oleh sinyal PWM, dan mikrokontroler sebagai *control center* yang menerima informasi dari sensor tegangan dan arus kemudian memerintah PWM yang perlu di supply ke mosfet pada *buck converter*. Serta terdapat *Liquid Crystal Display (LCD)* sebagai penampil informasi sensor, PWM dan status sistem sedang *charge* atau *discharge*
5. Unit kelima yaitu baterai *valve regulated lead acid (VRLA)* dengan tegangan dan kapasitas 12V, 7.2Ah. Sebagai penyimpan energi panel PV yang terkontrol.
6. Unit keenam adalah beban DC. Dua buah lampu LED berukuran 7 watt yang digunakan sebagai beban DC.

3.5 Flowchart Sistem Sistem pengisi baterai

Pada subbab ini dijelaskan mengenai alur sistem sistem pengisi baterai, jika alat yang sudah dirancang bangun sesuai dengan *flowchart* dibawah ini sehingga dapat dikatakan sistem berjalan dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan.



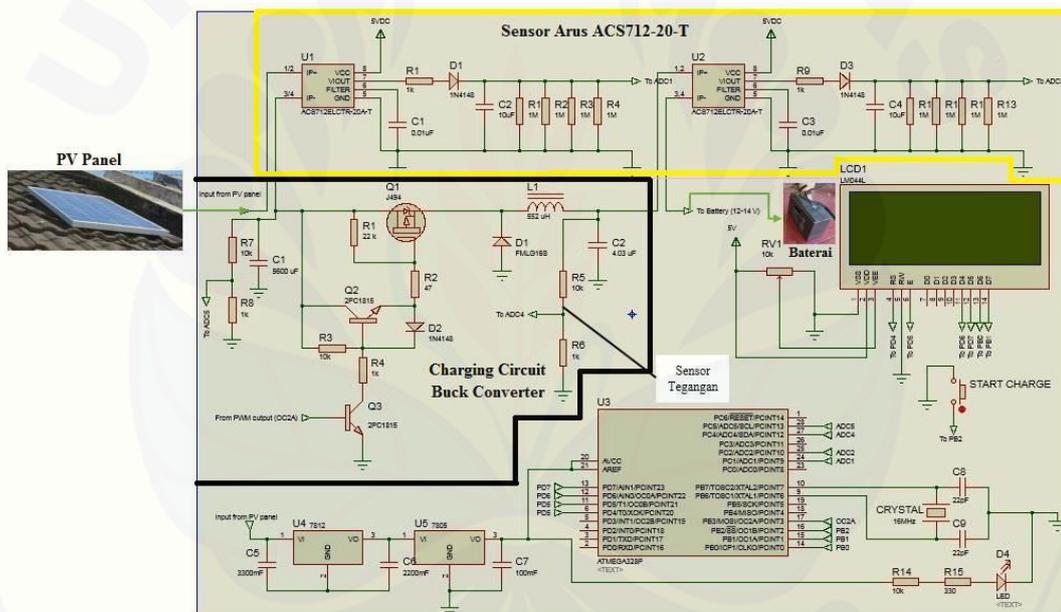
Gambar 3.3 Flowchart sistem pengisi baterai

Pada gambar 3.3 terdapat *decision* “if V_{buck} sebesar 14.7 V” maka proses charging akan berhenti secara otomatis, alasan pemilihan pembatasan tegangan output *buck converter* (V_{buck}) sebesar 14.7 V adalah sebagai berikut.

Tegangan baterai dikatakan penuh untuk jenis VRLA sebesar 13.8 V maka saat proses charging diperlukan tegangan sebesar 5 % diatas tegangan baterai saat penuh yaitu sebesar 14.5 V, namun untuk keamanan pada saat proses charging agar tidak terjadi overcharge maka pada program menggunakan 14.7 V sebagai batas baterai dikatakan penuh.

3.6 Perancangan Sistem

Pada subbab ini akan dijelaskan penjelasan rangkaian secara menyeluruh sistem pengisi baterai dengan mengacu pada diagram blok sistem di subbab 3.4. Berikut ini adalah rangkaian secara keseluruhan sistem pengisi baterai.



Gambar 3.4 Rangkaian sistem pengisi baterai

Untuk penjelasan yang lebih mendetail dapat dilihat pada penjelasana dibawah ini dimana akan dijelaskan bagian-bagian sistem pengisi baterai.

3.6.1 Charging Circuit

Charging circut disini terdiri rangkaian buck converter dirancang dalam konfigurasi buck converter yang dikontrol oleh mikrokontroler. Mikrokontroler dapat mengontrol buck converter dengan cara menghasilkan sinyal PWM yang

men-switch MOSFET pada frekuensi 31 kHz. Rasio *Output buck converter* bergantung pada seberapa besar *duty cycle* sinyal PWM. Berdasarkan pada persamaan dirancang *buck converter* dengan desain seperti Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Perancangan *Buck converter*

Parameter	Nilai
$V_{in \text{ Min}}$	13 V
$V_{in \text{ Maks}}$	22.6 V
$V_{out \text{ Min}}$	12 V
$V_{out \text{ Max}}$	14.7 V
I Maks	2 A
Frekuensi PWM	31 kHz
ΔI_o	0.3 A
ΔV_o	0.3 V

$$D = \frac{V_o}{V_g} = \frac{14,7}{22,6} = 0,65$$

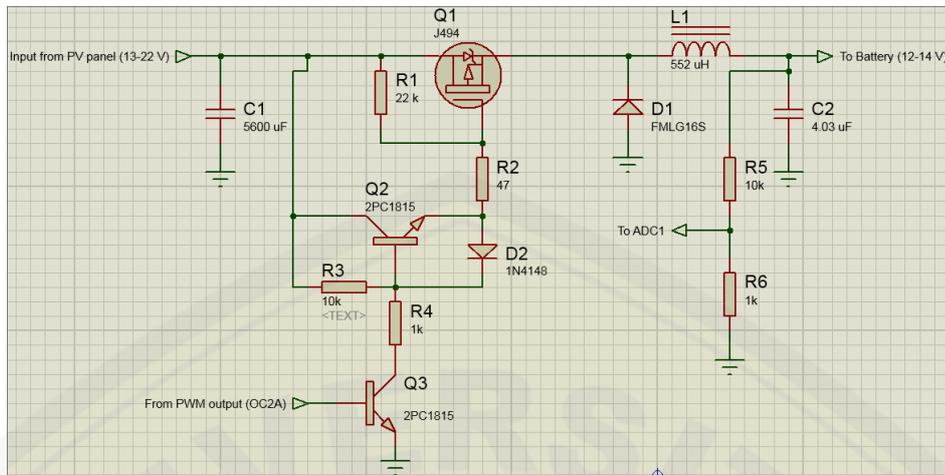
$$\Delta I = \frac{V_i - V_o \times V_o}{f \times L \times V_i}$$

$$L = \frac{(V_i - V_o) \times V_o}{f \times \Delta I \times V_i} = \frac{(22,6 - 14,7) \times 14,7}{(0,3) \times 31.000 \times 22,6} = 552 \mu H$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta I}{8 \times f \times C}$$

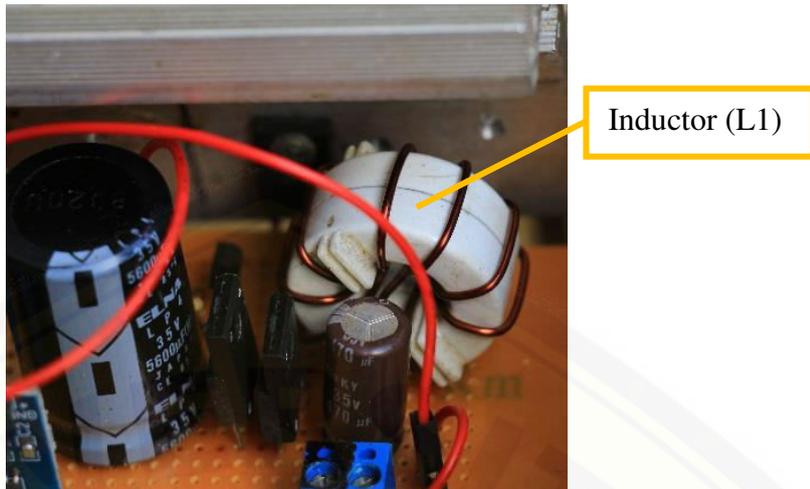
$$C = \frac{\Delta I}{\Delta V_o \times 8 \times f} = \frac{0.3}{0,3 \times 8 \times 31000} = 4,03 \mu F$$

Nilai L, C diatas merupakan nilai minimum yang diminta untuk pembuatan *buck converter*, sehingga dipilih L = 552 uH dan C = 4.03 uF.

Gambar 3.5 Desain Rangkaian *Buck converter*

Q1 merupakan MOSFET utama untuk *switching buck converter*, tipe MOSFET yang dipakai yaitu dengan kode J494 yang memiliki spesifikasi tegangan *drain to source* (V_{DSS}) sebesar 60V, tegangan *gate to source* (V_{GSS}) sebesar 20 V dan arus *drain* (I_D) sebesar 20 A. Sehingga dapat dikatakan sistem pengisi baterai ini memiliki spesifikasi 120 W dengan arus mencapai 20A. MOSFET di-*drive* oleh transistor NPN 2PC1815 ditandai dengan Q2 dan Q3 dengan spesifikasi V_{CBO} sebesar 60V, V_{CEO} sebesar 50V dan V_{EBO} sebesar 5V, pada basis transistor Q3 diberi pulsa PWM mikrokontroler dan menggunakannya untuk men-*drive switching* MOSFET. Q1 merupakan P-Channel MOSFET, sehingga membutuhkan *input* tegangan *gate* lebih besar pada tegangan drain (yang merupakan *input* panel PV). Maka terdapat R1 selain untuk membatasi arus juga sebagai *input* tegangan *gate* sehingga dapat dikatakan rangkaian ini merupakan rangkaian.

Duty cycle PWM selalu dimonitor dan dikontrol oleh mikrokontroler, dan tidak pernah dibiarkan untuk 100% agar rangkaian pembesar tegangan dapat selalu bekerja. Setelah itu terdapat D1 adalah *ultra fast recovery diodes* dengan kode FMLG16S dengan spesifikasi V_{RM} sebesar 600V, I_D sebesar 5A dan I_{FSM} sebesar 50A, dioda ini akan selalu bekerja ketika *switching* pada MOSFET kondisi OFF difungsikan untuk meneruskan arus. Hal ini akan membuat *buck converter* lebih efisien. L1 adalah Induktor utama yang berfungsi untuk menyimpan arus hasil *switching* serta C2 yang berfungsi untuk memfilter *output* tegangan.



Gambar 3.6 Perancangan *Inductor* pada *Buck converter*

3.6.2 PV Panel

PV panel disini berperan sebagai sumber energi listrik yang memiliki keluaran arus searah (DC).

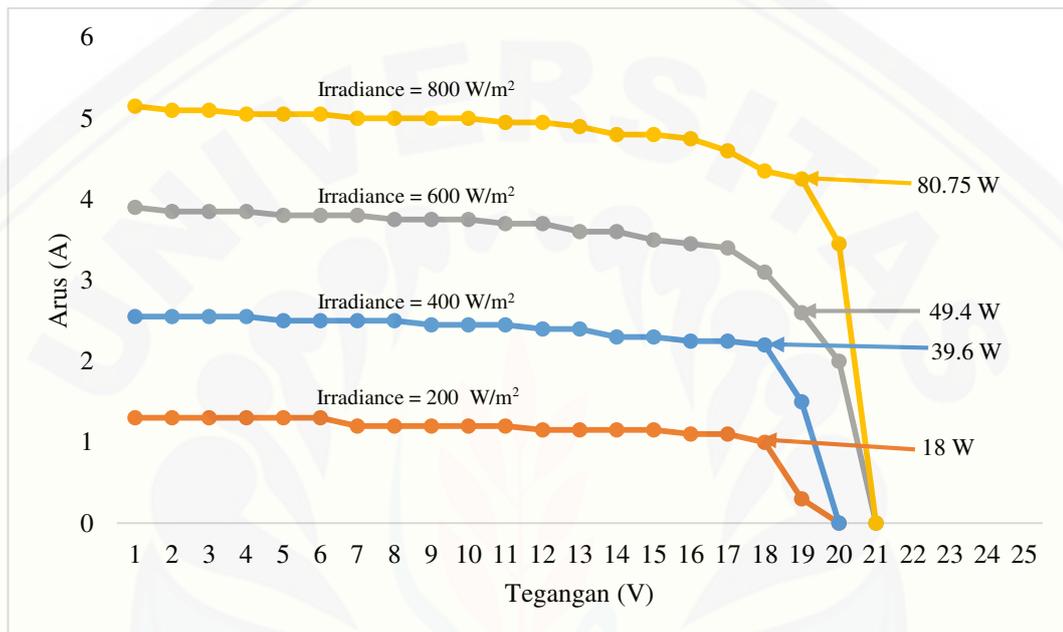


Gambar 3.7 Pengaplikasian *PV Panel*

Spesifikasi PV yang digunakan pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

Modul type	: SP-100-P36
Rated Max. Power (P_{max})	: 100 WP
Open circuit voltage (V_{oc})	: 22,6 V
Short circuit current (I_{sc})	: 6,09 A
Max power voltage (V_{pm})	: 17,6 V
Max power current (I_{pm})	: 5,69 A
Numner of cell	: 36
Test condition	: 1000 V/m ² , 25 ⁰ C

Gambar 3.8 merupakan grafik karakteristik V-I yang dihasilkan dari PV panel, grafik ini memiliki dua parameter, yaitu arus (A) dan tegangan (V). terdapat empat kondisi yaitu besar irradiance-nya pertama 200 W/m^2 , 400 W/m^2 , 600 W/m^2 , 800 W/m^2 . Empat keadaan ini menghasilkan daya maksimal masing-masing secara urut sebesar 18 W, 39.6 W, 49.4 W, dan 80.75 W.



Gambar 3.8 Grafik karakteristik V-I PV panel

3.6.3 Baterai

Adapula baterai sebagai penyimpan energi listrik panel PV, jenis baterai yang digunakan adalah *valve regulated lead acid (VRLA)*. Pemilihan tipe baterai ini dikarekan Baterai dapat dipasang dalam posisi apapun, karena katup hanya beroperasi pada kesalahan *overpressure*. Bebas perawatan mengurangi inspeksi dan pemeliharaan. Lebih Aman, karena sistem baterai ini dirancang untuk menjadi rekombinan dan menghilangkan emisi gas/uap pada *overcharge*, maka tidak ada uap yang dipancarkan selama operasi normal. (Uap dapat mengakibatkan korosi dan karat pada logam bila terjadi kebocoran/retak). spesifikasi baterai yang digunakan yaitu sebagai berikut:

Tipe Baterai	: LC-V127R2NA1
Tegangan	: 12V
Capacity 10 HR	: 7.2Ah
Standby Use	13.6 ~ 13.8 V (25°C)
Size	
Panjang	: 151 mm
Lebar	: 64.5 mm
Tinggi	: 94 mm



Gambar 3.9 Pengaplikasian Baterai VRLA

3.6.4 Pulse Width Modulation (PWM)

Untuk mengontrol pengisian baterai pada penelitian ini menggunakan PWM sebagai kontrol keluaran *buck converter*, PWM ini dihasilkan pembacaan sensor arus dan tegangan keluaran *buck converter* dengan batasan yang telah dijelaskan pada *flowchart* sistem sehingga dapat dikatakan PWM ini bekerja secara *adaptive* menyesuaikan kondisi keluaran *buck converter*. PWM ini berbasis mikrokontroler sehingga dapat diprogram untuk menghasilkan keluaran atau *duty cycle* yang kita inginkan, yaitu ada dua kategori, jika $V_{buck} < 14,7$ dan $I_{buck} < 1,5$ maka PWM akan melebar atau bertambah besar dan selain kondisi tersebut PWM akan menyempit atau berkurang, perubahan bertambah atau berkurang PWM prosesnya terjadi

sangat cepat dikarekan menyesuaikan pembacaan sensor tegangan dan arus pada keluran *buck converter*. Berikut ini adalah cuplikan program perancangan PWM pada arduino IDE.

```
TCCR2A=_BV(COM2A1) | _BV(COM2B1) _BV(WGM20);
TCCR2B=_BV(CS20);
OCR2B=0;
OCR2A=0;

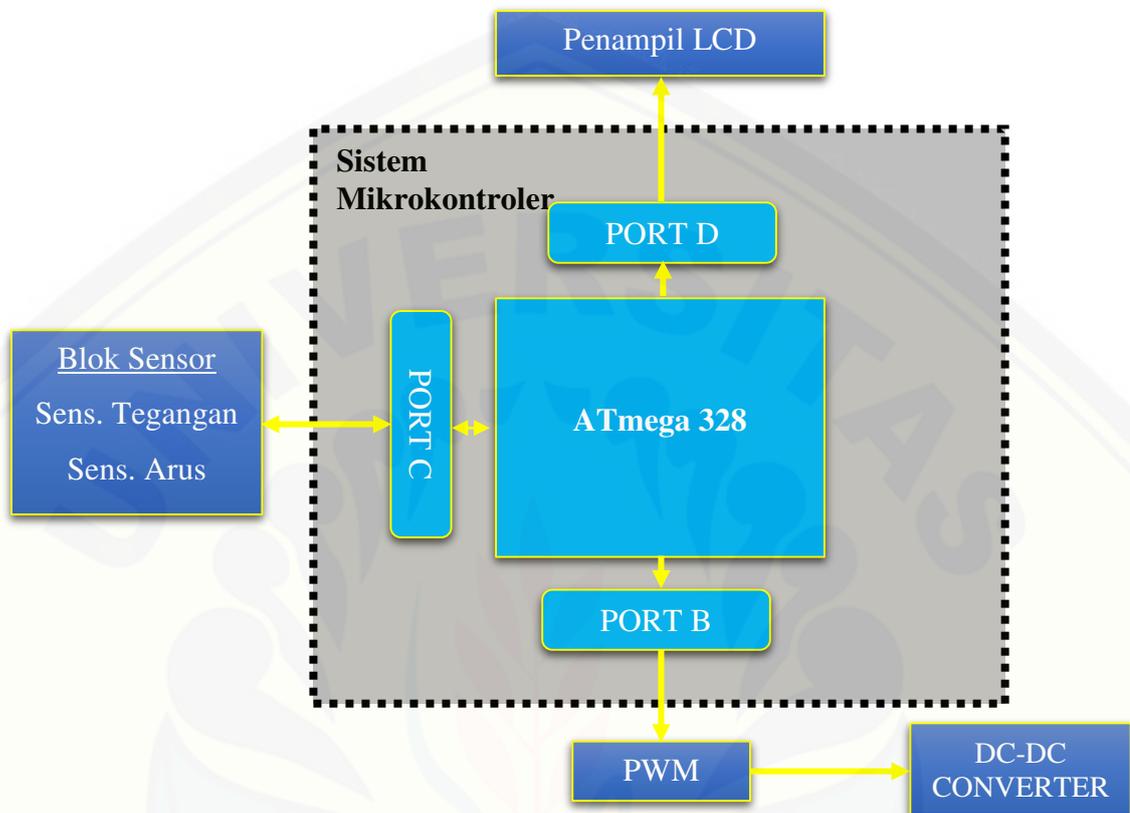
if(CHARGE)
{
  if(avgv_buck<14)
  {
    if(OCR2A < 120)
    {
      if(Amp[2]<1.5)
      {
        OCR2A++;
      }
    }
    else
    {
      OCR2A--;
    }
  }
  else
  {
    if(OCR2A > 0)OCR2A--;
    if(millis()-timer_charge>5000)
    {
      charge_penuh();
    }
  }
}
```

Proses ini dapat dikatakan secara *adaptive*. Pada sistem ini PWM dibatasi hanya sampai 47% dikarenakan untuk mencegah terjadinya *short* atau hubung singkat dan juga membuat MOSFET tidak cepat panas. PWM inilah yang berperan penting dalam mengontrol keluran *buck converter* sehingga keluran bisa diperoleh sesuai keinginan. Pada sistem ini keluran yang diharapkan adalah menghasilkan arus yang konstan untuk pengisian baterai VRLA.

3.6.5 Perancangan *Main Board Module*

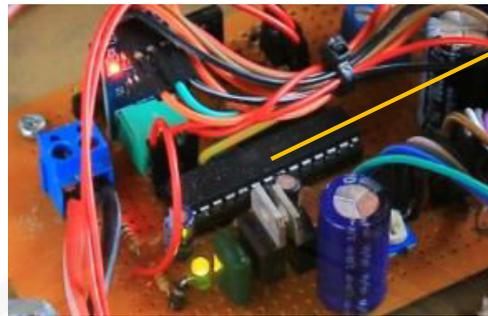
Dalam sistem ini terdapat duan buah jenis sensor, yakni sensor tegangan sensor arus. Pada perancangan perangkat keras ini dibagi menjadi dua bagian

board, yakni *main board module*, dan *board buck converter*. Blok Diagram perancangan perangkat keras ini sendiri dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Blok Diagram Perancangan *Main Board Module*

Perancangan *main board module* berisi minimum sistem ATmega328 beserta sistem minimumnya. Pada ATmega328 ini memiliki tiga buah jenis *port* yaitu *port* B, C dan D keempat *port* ini memiliki jumlah yang berbeda pada *port* B sebanyak 8 buah *port*, *port* C sebanyak 7 buah *port* dan *port* D sebanyak 8 buah *port*, serta terdapat *port* VCC, GND, AREF dan AVCC yang kesemuanya memiliki fungsi masing-masing. Dan berikut ini adalah hasil perancangan *main board module* beserta sistem minimumnya

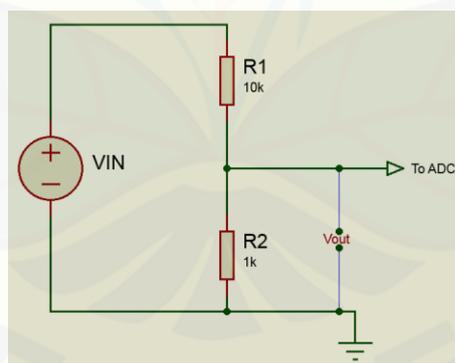


Gambar 3.11 Hasil perancangan *Main Board Module*

3.6.6 Perancangan Sensor Tegangan dan Arus

Pada sistem pengisi baterai ini menggunakan dua jenis sensor yaitu sensor tegangan dengan prinsip pembagi tegangan (*divider*) dan sensor arus yang sudah dalam bentuk kit dengan menggunakan IC ACS712 yang mampu mendeteksi arus sampai 20A.

Sensor tegangan pada sistem pengisi baterai ini menggunakan prinsip pembagi tegangan, komponen utama sensor tegangan ini yaitu memparalel dua resistor yang memiliki besar berbeda. Untuk ilustrasi rangkaian sensor tegangan dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Rangkaian sensor tegangan

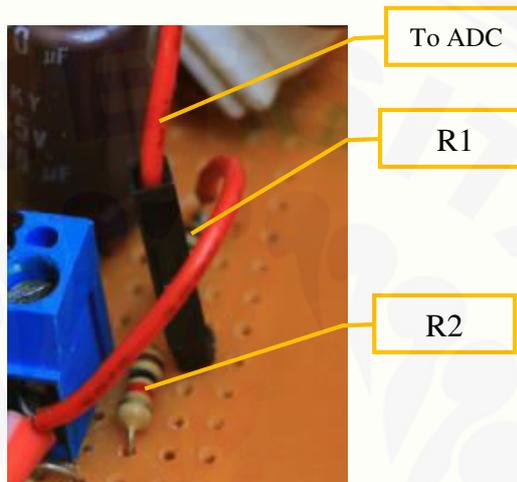
Untuk perancangan sensor tegangan dengan prinsip pembagi tegangan, dapat dilihat pada perhitungan dengan menggunakan rumus pembagi tegangan. Tegangan *input* (V_{in}) diperoleh keluaran *buck converter* yaitu sebesar 14,7 sedangkan tegangan *output* (V_{out}) adalah keluaran sensor tegangan yang akan diteruskan menuju *port* ADC mikrontroler. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

$$1,3 = \frac{R_2}{10k + R_2} \times 14,7$$

$$1300 = (14,7 - 1,3) \times R_2$$

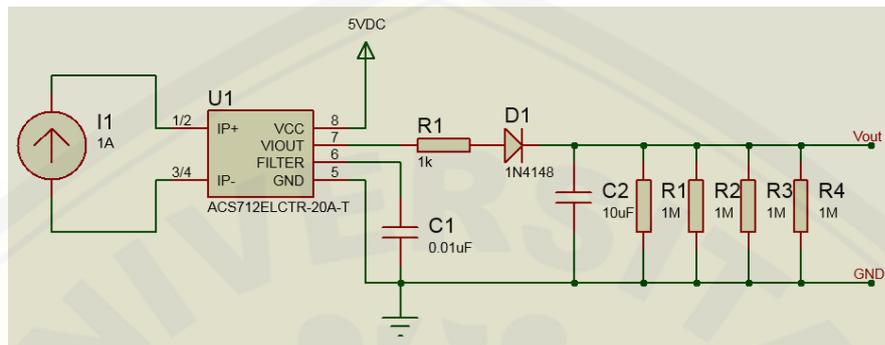
$$R_2 = \frac{13000}{13,34} = 974,51 \Omega \approx 1k \Omega$$



Gambar 3.13 Sensor Tegangan

Sensor arus yang digunakan pada sistem ini menggunakan sensor arus sudah dalam bentuk *kit* dengan basis ACS712-20A-T yang kemampuannya sampai 20A. ACS712-20A-T adalah *Hall Effect current sensor*. *Hall effect* allegro ACS712 merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus pada pengaplikasian deteksi beban listrik, *switched-mode power supplies* dan lain-lain. Sensor ini memiliki ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat *low-offset linier hall* dengan satu lintasan yang terbuat tembaga. Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan *hall transducer* secara berdekatan. Lebih tepatnya tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan Bi CMOS *Hall IC* yang didalamnya telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh

pabrik. Hambatan pada penghantar sensor sebesar kurang lebih $1.2 \text{ m}\Omega$ dengan daya rendah. Berikut ini adalah gambar rangkaian sensor arus ACS712-20A-T dengan kemampuan 20A.



Gambar 3.14 Rangkaian Sensor arus ACS712-20A-T

Keluaran sensor arus ACS712-20A-T ini adalah berupa tegangan yang sangat kecil, dengan perubahan 100mV per setiap 1A ini merupakan referensi *data sheet*. Untuk merubah keluaran ACS712-20A-T yang berupa mejadi besaran arus pada LCD dengan cara memanipulasi dengan program pada mikrokontroler. Berikut ini adalah gambar modul ACS712-20A-T yang sudah teraplikasi pada sistem pengisi baterai.

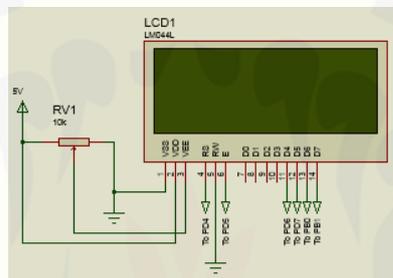


Gambar 3.15 Modul sensor arus ACS712-20A-T

3.6.7 Perancangan LCD Penampil

Pada sistem pengisi baterai ini juga terdapat LCD sebagai penampil informasi sistem saat bekerja. LCD (*liquid crystal display*) sendiri adalah suatu alat penampil bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem *dot* matriks. Pada perancangan ini, LCD yang digunakan adalah LCD 20×4 yang memiliki *backlamp*.

LCD yang digunakan pada perancangan ini adalah LCD paralel berbasis HD44780 produksi Hitachi. Kontroler dan penggerak LCD dapat menampilkan karakter alfanumerik, karakter Jepang (katakana), dan beberapa simbol. Kontroler ini mengandung ROM pembentuk karakter (*character generator ROM*) berukuran 9920 bit yang menghasilkan 240 karakter yang terdiri atas 208 karakter dengan resolusi 5x8 titik (*dot, pixel*) dan 32 karakter dengan resolusi 5x10 titik. Kontroler ini juga mengandung RAM pembentuk karakter yang dapat menyimpan 64 karakter 8 bit.



Gambar 3.16 Rangkaian LCD

Seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.16, hubungan perangkat keras dengan mikrokontroler terdiri atas 8 saluran data (D0-D7) dan kontrol yang terdiri atas *Enable* (E, *Clock*) untuk memalangkan data ke *buffer*-nya, sinyal *Read/Write* (R/W), *Register Select* (RS): RS = 0 modus komando, RS = 1 modus data, ditambah jalur catu daya: Vss (*ground*), Vdd (Vcc, +5V), dan Vee (*contrast control*). Pada umumnya, VEE ini dihubungkan ke pembagi tegangan (*potensiometer*) antara VCC dan *ground*. Karena LCD yang digunakan mempunyai *backlamp*, maka ditambahkan 2 pin yaitu pin ke-15 berfungsi untuk catu daya +5 Volt dan pin ke-16 berfungsi sebagai *ground*. Dan berikut ini ada tampilan LCD pada sistem pengisi baterai.



Gambar 3.17 Tampilan LCD 20 x 4 penampil

BAB 4. ANALISIS DAN HASIL PERCOBAAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai bagian-bagian sistem pengisi baterai yang meliputi:

1. Pengujian LCD 20 x 4 sebagai penampil informasi kinerja *sistem pengisi baterai*,
2. Pengujian mikrokontroler ATmega328,
3. Pengujian sensor yaitu sensor tegangan dan sensor arus,
4. Pengujian PWM,
5. Pengujian *buck converter*
6. Pengujian keseluruhan sistem.

Setiap pengujian terdapat analisis dan hasil percobaan. Pengujian - pengujian yang dilakukan pada rancangan alat ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dan proses kerja rangkaian- rangkaian yang diuji serta sistem secara keseluruhan apakah telah bekerja sesuai dengan yang diharapkan atau tidak. Pengujian pada rancangan alat ini akan dilakukan per bagian rancangan sehingga diketahui apakah masing-masing perangkat keras dan perangkat lunak sudah bekerja dengan baik.

4.1 Pengujian LCD

Pengujian LCD bertujuan untuk mengetahui apakah LCD sudah bekerja dengan baik atau tidak dengan ditandai mampu menampilkan karakter sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian LCD dilakukan dengan membuat program pada aplikasi arduino IDE kemudian di upload ke mikrokontroler kemudian dicocokkan antara program dengan yang ditampilkan pada LCD. Berikut ini adalah potongan program menggunakan arduino IDE untuk pengujian LCD.

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(RS, EN, D4, D5, D6, D7);
String PROJECT_NAME = "Solar charge Control";
String AUTHOR       = " Yanu Arif Santoso ";
String STUDY        = " Teknik Elektro ";
String Camp         = " Universitas Jember ";
```

```
lcd.begin(20,4);  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print(PROJECT_NAME);  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print(AUTHOR);  
lcd.setCursor(0,2);  
lcd.print(STUDY);  
lcd.setCursor(0,3);  
lcd.print(Camp);  
delay(1000);
```

Program diatas akan menampilkan tampilan awal berupa *project name*, *author*, *study* dan *camp* kemudian diletakan pada kursor sesuai dengan koordinat yang sudah ditentukan dengan perintah `lcd.setCursor(x,y)`. Untuk tampilannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 Tampilan hasil pengujian LCD

Melihat hasil pengujian diatas dapat dikatakan *software* dan *hardware* sudah terkoneksi dengan baik terutama untuk tampilan informasi ke LCD dan LCD masih layak untuk dipakai.

4.2 Pengujian Mikrokontroler ATmega328

Bagian ini merupakan *main board module* atau dapat dikatakan sebagai otak sistem pengisi baterai. Pada mikrokontroler dapat dimasukan program untuk mengontrol suatu *driver*. Dalam sistem ini mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega328, pemilihan mikrokontroler ini dikarenakan memiliki performa yang cukup baik untuk pembangkitan PWM, yaitu mampu menghasilkan frekuensi pada PWM sebesar 31kHz dengan menggunakan kristal sebesar 16MHz. Frekuensi sebesar itu sudah cukup untuk membangkitkan PWM. Selain itu pemilihan mikrokontroler ini untuk program yang sudah terisi dalam mikrokontroler dapat

dihapus atau diganti secara berulang-ulang, sehingga jika terjadi kesalahan pada program tidak perlu mengganti mikrokontroler.

Pada sistem pengisi baterai penggunaan mikrokontroler selain untuk mengolah informasi pembacaan sensor tegangan dan arus, juga sebagai penyulutan untuk MOSFET pada *buck converter* berupa PWM. Namun untuk melihat kondisi mikrokontroler ini masih layak atau tidak untuk digunakan, maka dilakukan pengujian yaitu dengan menghubungkan setiap kaki-kaki/*port* pada mikrokontroler dengan sebuah led serta resistor 330Ω untuk membatasi arusnya. Kemudian dihubungkan dengan tegangan 5V dari IC regulator pada sistem minimum mikrokontroler. Untuk mengetahui led nyala atau tidak, yaitu dengan mengisi program sederhana kedalam mikrokontroler ATmega328. Berikut ini adalah hasil pengujian mikrokontroler ATmega328.

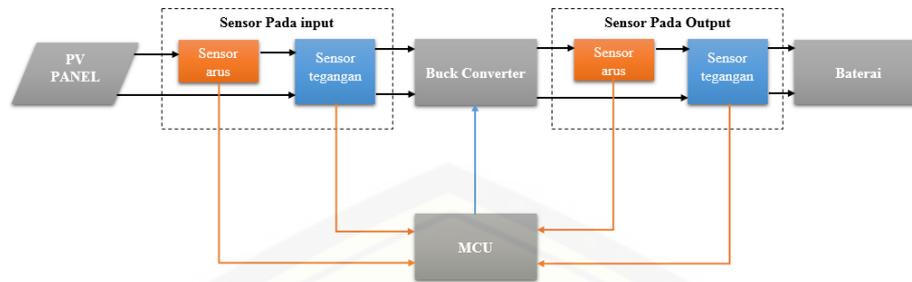
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Mikrokontroler

Nama PORT	Kondisi LED
PORTB.0 – PORTB.7	Nyala
PORTC.0 – PORTC.6	Nyala
PORTD.0 – PORTD.7	Nyala

Melihat hasil pengujian diatas mikrokontroler dalam keadaan baik dan masih layak untuk digunakan dengan ditanda led yang dihubungkan ke mikrokontroler nyala semua. Sehingga dapat melanjutkan untuk membuat rangkaian selanjutnya, yaitu pembuatan sensor tegangan dan arus serta *buck converter*

4.3 Pengujian Sensor

Pada sistem pengisi baterai penelitian ini terdapat empat buah sensor, yaitu dua sensor tegangan dan dua sensor arus. Masing-masing sensor diletakan pada *input* dan *output* rangkaian *buck converter*. Satu pasang sensor tegangan dan arus pada *input buck converter* dan satu pasang lagi diletakan pada *output buck converter*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat diagram blok gambar 4.2. Gambar 4.2 merupakan gambaran letak sensor arus dan tegangan yang dipasang pada sistem pengisi baterai.



Gambar 4.2 Blok diagram peletakan sensor tegangan dan arus

4.3.1 Pengujian Sensor Tegangan

Sensor tegangan pada sistem pengisi baterai ini menggunakan prinsip pembagi tegangan. Sesuai dengan pada gambar 4.2 peletakan sensor tegangan terdapat pada *input* dan *output buck converter*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sensor yang digunakan sudah sesuai alat ukur multimeter yang dijadikan sebagai acuan. Tabel 4.2 merupakan hasil pengujian dari sensor tegangan, pengujian ini terdapat dua para meter yaitu V_{in} dan V_{out} , V_{in} merupakan tegangan *input* dari sensor tegangan dan V_{out} merupakan tegangan *output* dari sensor ini kemudian dilanjutkan menuju ADC pada mikrokontroler. Berikut hasil pengujian sensor dapat dilihat tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor tegangan

No.	V_{in}	V_{out}
1	1	0,09
2	3	0,27
3	5	0,45
4	7	0,64
5	9	0,82
6	11	1,00
7	13	1,18
8	15	1,36
9	17	1,55
10	19	1,73
11	21	1,91

Teknik pengukuran sensor tegangan yaitu dengan mengukur tegangan *input* dan tegangan keluaran sensor yang akan dilanjutkan menuju ADC kemudian diolah

pada mikrokontroler yang sudah diisi dengan program. Melihat tabel 4.2 diatas pengujian dilakukan dengan memberi tegangan 1V sampai 21V. Hasil tegangan keluran sensor dapat dilihat ketika diberi 1V tegangan keluran sensor sebesar 0,09V naik terus menyesuaikan pada tegangan *input*, sampai pada tegangan *input* 21 tegangan keluaran sensor sebesar 1.91V, pengujian tersebut dapat dikatakan sensor tegangan mampu membaca tegangan sampai 21V bahkan lebih dengan syarat tegangan keluaran sensor kurang dari 5V dikarenakan mikrokontrol hanya mampu bekerja pada tegangan 5V.

Selain itu juga dilakukan pengujian dengan menggunakan alat ukur untuk mencocokkan tegangan yang ditampilkan pada LCD dengan yang diukur dengan alat ukur pada sensor tegangan. Pada pengujian kedua ini terdapat dua bagian yaitu pada *input* dan *output buck converter*. Parameter sensor tegangan dikatakan baik dengan melihat error % yang dihasilkan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{error \%} = \frac{|V_{CE}(\text{alat sendiri}) - V_{CE}(\text{alat ukur})|}{V_{CE}(\text{alat ukur})} \times 100\%$$

Tabel 4.3 merupakan hasil pengujian sensor tegangan yang dibandingkan dengan alat ukur pabrikan, pengujian ini dilakukan pada *input buck converter*.

Tabel 4.3 Hasil pengujian dengan alat ukur pada *input buck converter*

V_{CE} (Alat)	V_{CE} (Alat Ukur)	Error (%)
16,3	16,15	0,929
16,5	16,41	0,548
16,6	16,5	0,606
16,8	16,7	0,599
16,9	16,8	0,595
17	16,87	0,771
17,1	17	0,588
18,6	18,4	1,087
18,9	18,75	0,800
19	18,89	0,582
19,1	18,98	0,632
19,2	19	1,053

Pada tabel 4.3 terdapat parameter V_{CE} yang merupakan tegangan *input buck converter*. Perbandingan antara V_{CE} alat buatan sendiri dengan alat ukur pabrikan memiliki *error %* yang sangat kecil hanya berkisar pada 0-1 %, sehingga dapat dikatakan sensor sudah berjalan dengan baik.

Setelah itu pengujian sensor tegangan pada *output buck converter*. Tabel 4.4 merupakan hasil pengujian sensor tegangan dengan membandingkan sensor pada alat sendiri dengan alat ukur pabrikan pada *output buck converter*, hasil pengujiannya dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil pengujian dengan alat ukur pada *output buck converter*

V_{BC} (Alat)	V_{BC} (Alat Ukur)	Error (%)
12,4	12,61	1,665345
12,3	12,5	1,6
12,2	12,45	2,008032
12,1	12,34	1,944895
12	12,22	1,800327
11,9	12,13	1,896125
11,8	12,05	2,074689
11,7	11,95	2,09205
11,6	11,81	1,778154
11,5	11,65	1,287554

Pada tabel 4.4 terdapat parameter V_{BC} yaitu tegangan *output buck converter*, pengujiannya yaitu dengan membandingkan tegangan yang muncul pada LCD dengan yang muncul pada alat ukur pabrikan sebagai acuannya. Untuk pengujian sensor tegangan pada *output buck converter* memiliki *error %* kisaran 1.2 – 2 %, dengan *error %* sekecil itu dapat dikatakan baik karena batas dikatakan *error* yaitu sampai 30%.

4.3.2 Pengujian Sensor Arus

Sensor ACS712-20A-T merupakan sensor untuk mendeteksi besar arus, sensor arus ini memiliki kemampuan membaca arus hingga 20A. Sensor pada sistem pengisi baterai dihubungkan seri pada *input buck converter* dan *output buck converter*. Terdapat *port VCC*, *OUT* dan *GND* seperti pada gambar 4.3, ketiga port

ini dihubungkan ke mikrokontroler. Untuk VCC dihubungkan ke tegangan 5V, GND dihubungkan pada ground dan OUT dihubungkan ke port ADC pada mikrokontroler ATmega328. Gambar 4.3 merupakan tampilan dari sensor arus ACS712-20A-T.

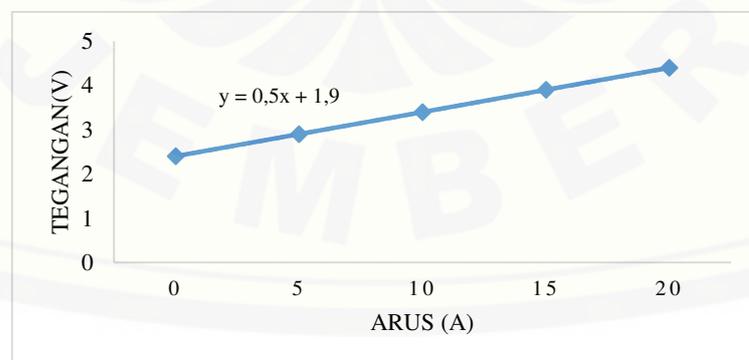


Gambar 4.3 Sensor Arus ACS712-20A-T

Pada sensor arus ini diperlukan pengujian kelinieran dikarenakan keluran sensor ini ada berupa tegangan yang nantinya akan dikonversikan dengan fungsi kelinieran untuk dapat menampilkan arus pada LCD penampil. Pengetesan kelinieran dapat dilihat tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 4.5 Pengujian kelinieran antara tegangan keluaran sensor arus ACS712-20A-T dengan arus

No	Tegangan	Arus
1	2,4	0
2	2,9	5
3	3,4	10
4	3,9	15
5	4,4	20



Gambar 4.4 Grafik hubungan tegangan terhadap arus pada *output* sensor arus ACS712-20A-T

Gambar 4.4 merupakan hubungan tegangan terhadap arus pada *output* sensor arus ACS712-20A-T, terlihat grafik tersebut linier. *Output* sensor arus berupa tegangan, mengacu pada grafik gambar 4.4, dapat dikatakan setiap kenaikan 100mV maka arusnya naik sebanyak 1A. Tegangan DC pada *output* sensor arus digunakan untuk pengolahan nilai pada mikrokontroler. Tegangan DC sebagai tegangan masukkan pada ADC mikrokontroler yang nantinya tegangan DC dikonversi menjadi data digital (ADC 8 bit). Nilai ADC ini yang akan diolah untuk penskalaan pada pemrograman dalam menampilkan besaran arus pada LCD penampil.

Pengujian sensor arus dilakukan dengan melihat tegangan *output* sensor arus ketika diberi arus dari 0 sampai 4A. Tabel 4.6 merupakan tabel hasil pengujian sensor arus ACS712-20A-T.

Tabel 4.6 Hasil pengujian sensor arus ACS712-20A-T

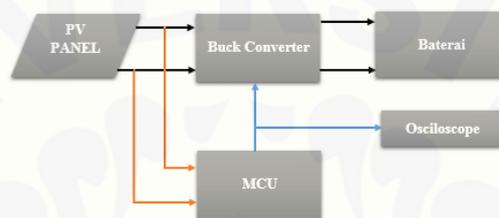
No	Arus (A)	Tegangan <i>output</i> sensor arus (V)
1	0	2,4
2	1	2,5
3	2	2,6
4	3	2,7
5	4	2,8

Mengacu pada tabel 4.6 setiap kenaikan arus sebesar 1A tegangan keluar dari sensor arus sebesar 0.1 V atau 100mV. Hasil pengujian sensor arus tersebut sudah sesuai seperti pada datasheet sensor arus ACS712-20A-T. Sehingga sensor dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan.

4.4 Pengujian PWM

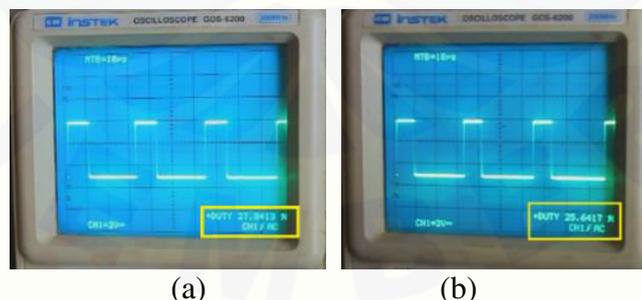
PWM yang digunakan adalah PWM digital yang sudah dihasilkan langsung dari mikrokontroler dengan manipulasi program. Pada pengujian PWM ini bertujuan untuk melihat bentuk gelombang PWM dan frekuensi yang dibutuhkan oleh MOSFET pada *buck converter*. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur menggunakan *oscilloscope* pada keluaran PWM pada mikrokontroler.

Buck converter yang dirancang membutuhkan frekuensi sebesar 31kHz. Dengan frekuensi sebesar itu sudah cukup untuk membangkitkan PWM dan mengontrol *switching* pada MOSFET, sedangkan PWM yang dibutuhkan yaitu kisaran 10- 47 % namun pada penelitian ini PWM dibatasi hanya sampai 47% bertujuan untuk menghindari *short* dan tidak cepat panas pada MOSFET. Gambar 4.5 berikut adalah blok diagram untuk pengujian PWM, letak *oscilloscope* setelah mikrokontroler atau MCU.



Gambar 4.5 Blok diagram pengujian PWM

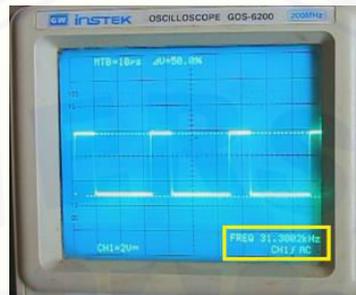
Pada saat pengujian PWM *duty cycle* yang dikeluarkan mikrokontroler berubah-ubah mulai *range* 10-47%, hal ini dikarenakan manipulasi program yang di *upload* ke dalam mikrokontroler. Program pada mikrokontroler bekerja mengontrol PWM agar keluaran *buck converter* tetap stabil. Gambar 4.6 berikut adalah beberapa cuplikan PWM yang dikeluarkan mikrokontroler dengan menggunakan *oscilloscope*.



Gambar 4.6 (a) PWM dengan *duty cycle* 27,8413%; (b) PWM dengan *duty cycle* 25,6417%

Dengan melihat gambar 4.6 PWM yang dihasilkan dari mikrokontroler sudah dicapai yaitu hanya bekerja maksimal *duty cycle* sebesar 47%. Setelah mengetahui

PWM, pengujian selanjutnya adalah memastikan frekuensi yang dihasilkan mikrokontroler yaitu sebesar 31kHz. Dapat dilihat seperti pada gambar 4.7 yang menunjukkan besar frekuensi yang dibangkitkan dari mikrokontroler dengan memanipulasi program yang di *upload* ke mikrokontroler.



Gambar 4.7 Frekuensi PWM

Terlihat pada gambar 4.7 bahwa frekuensi sebesar 31kHz sudah dapat dicapai, dengan PWM antara 10-47% dan dengan frekuensi sebesar 31kHz sudah mampu membangkitkan switch untuk MOSFET pada *buck converter*. Pada implementasi dengan frekuensi yang lebih besar sebenarnya lebih baik namun juga harus didukung komponen yang baik juga seperti kapasitor. Pemilihan kapasitor juga berpengaruh, jika menggunakan frekuensi tinggi kapasitor yang digunakan harus yang berjenis *low ESR* karena termasuk kapasitor yang memiliki *losses* yang sangat kecil. Pada sistem ini dengan frekuensi sebesar 31kHz sudah cukup untuk proses *switching* pada MOSFET.

4.5 Pengujian *Buck Converter*

Pada pengujian *buck converter* dilakukan dengan sumber PV panel yang sangat bergantung pada *irradiance* yang jatuh ke PV panel. Pengujian dilakukan saat proses *charging*, dikarenakan saat pengujian *buck converter* langsung dihubungkan dengan beban yaitu berupa baterai. Pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali, bertujuan untuk melihat performa *buck converter* sebagai pengatur tegangan dan arus sebesar *supply* untuk baterai dengan sumber energi PV panel yang sangat tergantung pada *irradiance*.

4.5.1 Pegujian Tegangan *Input* dan *Output Buck Converter*

Hasil pengujian tegangan *input* dan *output buck converter* ditunjukkan seperti pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tabel Pengujian Tegangan *Input dan Output Buck converter* Ke-1, 2 dan 3

No	Pengujian Ke-1		Pengujian Ke-2		Pengujian Ke-3	
	V_{ce} (V)	V_{bc} (V)	V_{ce} (V)	V_{bc} (V)	V_{ce} (V)	V_{bc} (V)
1	14,6	12,8	16,5	13,5	16,6	13,3
2	15,3	12,8	16,4	13,5	16,4	13,3
3	15,3	12,9	16,4	13,5	12,6	12,3
4	15,3	13	16,6	13,6	17,3	13,3
5	15,4	13	16,5	13,7	16,6	13,4
6	16	13	16,6	13,7	17,1	13,4
7	16,2	13	16,6	13,7	16,9	13,4
8	16,4	13	16,6	13,9	16,9	13,4
9	16,5	13	16,7	13,9	16,8	13,5
10	16,7	13,1	16,8	13,9	17	13,5
11	16,8	13,1	16,8	14	17,1	13,6
12	16,9	13,2	16,8	14	16,8	13,8
13	16,8	13,3	16,5	14,1	16,8	13,8
14	16,9	13,5	16,6	14,2	16,7	13,9
15	17	14,1	16,9	14,3	16,7	13,9
16	17,1	14,3	14	13,7	16,7	13,9
17	17,1	14,7	14,3	13,9	16,7	14

Tabel 4.7 merupakan tabel hasil pengujian tegangan *input* dan *output buck converter*. Terdapat beberapa parameter pada pengujian ini, yaitu V_{ce} merupakan tegangan PV panel, sedangkan V_{bc} merupakan tegangan *buck converter*. Mengacu pada tabel 4.7 bahwa *buck converter* sudah berjalan dengan baik dikarenakan sudah mampu menurunkan tegangan, sebagai sampel diambil pada pengujian ke-1 baris pertama dimana V_{ce} sebagai *input* sebesar 14.6V menjadi 12.8V. Pada data ke-3 dalam pengujian ke-3 mengalami penurunan tegangan pada V_{ce} sebesar 12.6V, dengan tegangan sebesar itu *buck converter* tidak bisa menurunkan dikarenakan tegangan 12.6V sudah termasuk tegangan minimal untuk *input buck converter*, sehingga V_{bc} yang dihasilkan hanya sebesar 12.3V. Kondisi seperti ini disebabkan kondisi cuaca sekitar terutama awan tebal yang melintas dibawah matahari

sehingga menghalangi *irradiance* yang jatuh ke PV panel. Hal ini juga mempengaruhi tegangan *input buck converter*.

4.5.2 Pegujian Arus *Input* dan *Output Buck Converter*

Hasil pengujian arus *input* dan *output buck converter* ditunjukkan seperti pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Tabel Pengujian Arus *Input* dan *Output Buck converter* Ke-1, 2 dan 3

No	Pengujian Ke-1		Pengujian Ke-2		Pengujian Ke-3	
	I_{ce} (A)	I_{bc} (A)	I_{ce} (A)	I_{bc} (A)	I_{ce} (A)	I_{bc} (A)
1	3,87	2,75	2,75	1,91	2,41	1,93
2	3,8	2,85	2,81	1,99	2,16	1,92
3	3,77	2,89	2,88	2,03	1,15	1,05
4	3,77	2,97	2,81	1,99	2,72	1,92
5	3,66	2,99	2,81	1,93	2,78	1,98
6	3,4	2,8	2,74	1,94	2,61	1,99
7	3,39	2,7	2,7	1,99	2,83	1,97
8	3,37	2,83	2,81	1,96	2,66	1,95
9	3,21	2,78	2,72	1,96	2,75	1,95
10	3,3	2,94	2,82	1,98	2,42	1,9
11	3,24	2,75	2,81	1,99	2,51	1,88
12	3,04	2,42	2,73	1,87	2,54	1,92
13	2,91	2,44	2,7	1,9	2,55	1,94
14	2,98	2,35	2,6	1,85	2,47	1,91
15	2,65	2,03	2,78	1,88	2,5	1,92
16	2,53	1,91	1,27	0,9	2,45	1,93
17	2,47	1,52	1,34	1,03	2,27	1,81

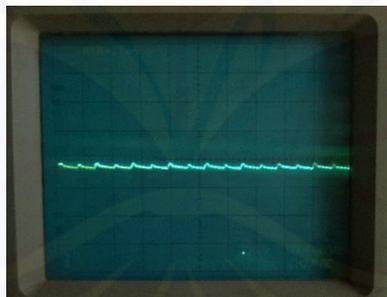
Tabel 4.8 merupakan tabel hasil pengujian arus *input* dan *output buck converter*. Terdapat beberapa parameter pada pengujian ini, yaitu I_{ce} merupakan arus PV panel, sedangkan I_{bc} merupakan arus *buck converter*. Arus yang berasal dari PV panel kemudian menuju buck converter, dengan adanya buck converter arus yang keluar dari buck converter juga diturunkan, yaitu seperti pada tabel 4.8 dapat diambil satu sampel pada pengujian ke-1 data ke 2 yang awalnya I_{ce} sebesar 3.8 A dengan adanya buck converter menjadi arusnya menjadi 2.85 A. Akan tetapi pada pengujian ke-2 dan ke-3 ada yang berbeda yaitu pada arus *output* pada *buck*

converter yaitu berada dibawah 2A, ini dikarenakan ada perubahan program pada arduino IDE yaitu hanya dibatasi sampai 2A saja. Selain itu juga dikarenakan arus yang dibutuhkan oleh baterai lebih baik kurang 2A agar baterai tidak cepat rusak. Karena sifat baterai sangat bergantung pada arus yang di *supply* ke baterai. Namun dengan perubahan ini masih tetap tidak merubah kinerja *buck converter* itu sendiri.

4.5.3 Pengujian *Ripple* Tegangan Pada *Output Buck Converter*

Ripple tegangan adalah suatu gangguan atau sinyal yang tidak diinginkan, namun ripple tidak dapat dihindarkan atau dihilangkan tetapi bisa dikurangi. Cara untuk mengurangi ripple tegangan yang dihasilkan dari buck converter pada penelitian ini adalah dengan menggunakan kapasitor sebesar 4.03 μF . Kapasitor ini berfungsi sebagai filter atau penyaringan pada output buck converter.

Pada gambar 4.8 merupakan hasil pengujian ripple dengan menggunakan oscilloscope, terlihat bahwa ripple tegangan output buck converter pada penelitian ini cukup kecil sekitar 5% atau sebesar 0.735 V. Hasil ini tidak melenceng jauh dari perencanaan buck converter yaitu sebesar 3% atau 0.3 V.



Gambar 4.8 *Ripple* tegangan *output buck converter*

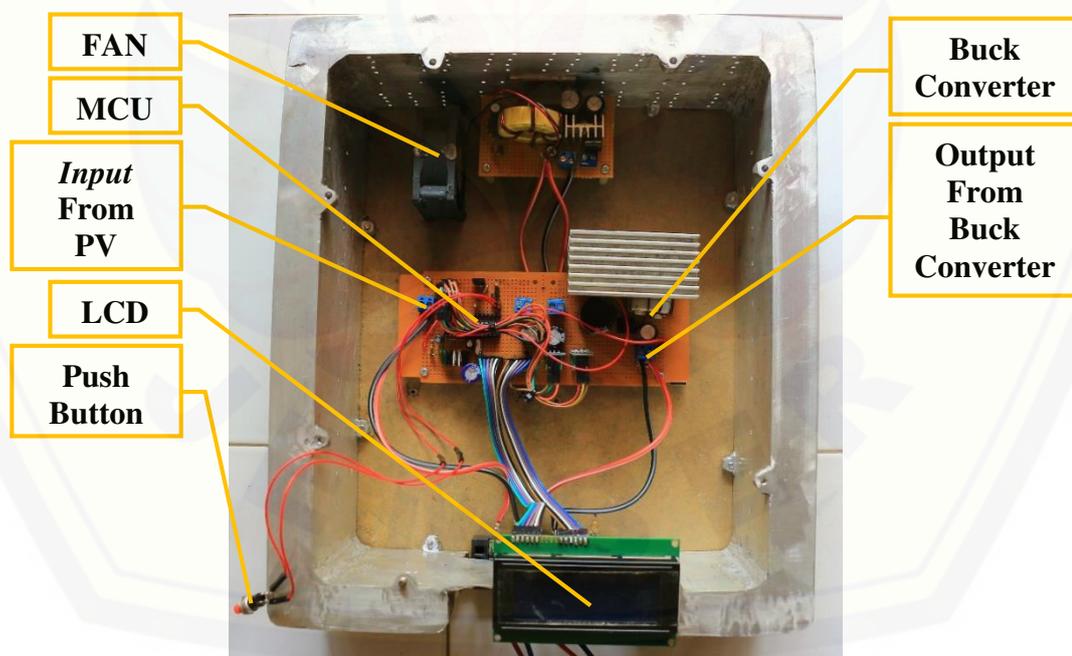
4.6 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem pengisi baterai terhadap lama waktu proses *charging*. Pada pengujian ini ada beberapa pengujian yang dilakukan yaitu:

1. Pengujian karakteristik PV panel terhadap *irradiance*,
2. Pengujian *start charging* ketika ditekan *push button*,
3. Kemudian pengujian proses *charging* terhadap waktu

4. Pengujian *stop charging* yang menandakan proses *charging* selesai secara otomatis.

Sebelum masuk pada pembahasan pengujian diatas, berikut gambar 4.9 adalah gambar alat keseluruhan yang memiliki bagian-bagian utama dan bagian pendukung. Bagian utama terdiri Mikrokontroler (MCU) sebagai pengolah data yang diperoleh dari sensor tegangan dan arus serta memiliki *output* berupa pulsa PWM digital kemudian pulsa PWM tersebut dilanjutkan untuk men-*trigger* MOSFET pada *buck converter*, *buck converter* sebagai penurun tegangan dengan *input* yang berasal dari PV panel kemudian *output*-nya yang terkontrol dapat men-*charging* baterai sebagai penyimpan energi, kemudian LCD sebagai penampil informasi dari pengolahan data pada mikrokontroler serta penampil untuk status *start charging* atau *stop charging* dan *push button* sebagai saklar untuk memulai proses *charging*, sedangkan untuk bagian pendukung adalah *fan* yang digunakan untuk mendinginkan bagian-bagian pada rangkaian seperti IC *regulator* pada sistem minimum mikrokontroler dan MOSFET ketika bekerja pada proses *switching*.



Gambar 4.9 Keseluruhan alat sistem pengisi baterai

Proses kerja sistem pengisi baterai ini dimulai dari *input from* PV panel sebagai sumber tegangan dan arus untuk men-*supply* sistem, kemudian MCU memproses sebagai penghasil PWM digital yang terkontrol melalui informasi yang dikirim dari sensor tegangan dan arus, selanjutnya ada *push button* sebagai saklar untuk memulai proses *charging*, terdapat *buck converter* yaitu bagian utama untuk menurunkan tegangan dan arus agar *output*-nya konstan untuk men-*supply* baterai.

4.7 Pengujian Start Charging

Pengujian *start charging* adalah pengujian untuk mengetahui sudah bekerja atau tidak *push button* yang digunakan untuk memulai proses *charging*. Pengujian dilakukan dengan meng-*upload* program arduino IDE ke mikrokontroler. Untuk cuplikan programnya dapat dilihat program berikut ini.

```
digitalWrite(10,HIGH);  
if(digitalRead(10)==LOW && !CHARGE){  
  last_pin = 0;  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("Processing charge");  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print("Start.....");  
  delay(1000);
```

Cuplikan program diatas maksudnya adalah pada kondisi awal inialisasi *digitalwrite (10,HIGH)* dalam kondisi high jika ketika kondisi insialisasi *digitalread (10) == LOW* artinya proses *charging* dimulai, dan kemudian mikrokontroler memrintahkan untuk mulai *charging* serta LCD menampilkan status *charging* yaitu dengan tanda “*Prosessing Charge Start*”. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.10 yaitu tampilan LCD ketika *push button* ditekan dan proses *charging* dimulai.



Gambar 4.10 Tampilan LCD ketika memulai proses *charging*

4.8 Pengujian *Charging* Terhadap Waktu

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui lama proses *charging* dengan sumber energi listrik PV panel untuk men-*supply* baterai. PV panel yang digunakan dengan kapasitas 100 WP untuk men-*supply* baterai VRLA dengan tegangan 12 V dan kapasitas baterai sebesar 7 Ah. Pengujian ini juga untuk mengetahui apakah kontrol PWM sudah bekerja dengan baik dengan melihat tegangan dan arus pada *output buck converter*.

Tahapan pengujian ini adalah pertama menghubungkan PV panel sebagai sumber energi ke *charging circuits* kemudian tegangan dan arus yang diterima mikokontroler diolah di *main board module*, setelah itu mengaktifkan PWM untuk men-*trigger* MOSFET pada *buck converter*, dan *output*-nya untuk men-*supply* baterai. Pengambilan data dilakukan dalam waktu tiga kali sehari yang berbeda dan dengan cara me-*monitoring* setiap 5 menit sekali pada tampilan LCD.

4.8.1 Pengujian *Charging* Terhadap Waktu Pada Hari ke-1

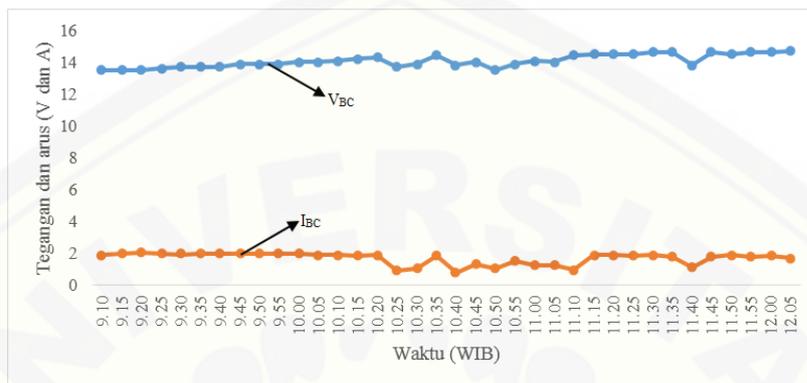
Pada pengujian ke-1 terdapat perbaikan program, yaitu dengan melihat pengujian hari ke-1 dimana arus *output buck converter* hanya dibatasi sampai 2 A, pembatasan besar arus ini bertujuan untuk mengamankan kondisi baterai agar tidak cepat rusak, karena jika dipaksakan dengan *supply* arus yang cukup besar dapat merusak baterai.

Pembatasan arus ini juga tergantung spesifikasi baterai yang digunakan. Baterai dikatakan rusak jika ketika tegangan awal dibawah 10 V dan ketika di *charge* tegangan naik secara cepat dan tiba-tiba kemudian ketika dilepas *charger* tiba-tiba *drop* atau turun secara cepat tegangannya, kondisi seperti itulah dapat dikatakan baterai rusak sehingga tidak bisa digunakan lagi. Sedangkan untuk teknik pengambilan datanya sama seperti pada pengujian pertama. Tabel 4.14 merupakan tabel hasil pengujian *charging* terhadap waktu saat pengujian ke-1 sebagai berikut.

Tabel 4.9 Pengujian *Charging* Terhadap Waktu Pengujian ke-1

Lama Charging	Waktu (WIB)	Vce (V)	Vbc (V)	Ice (A)	Ibc (A)	Pce (W)	Pbc (W)	Irradiance (W/m ²)
60 Menit	9.10	16,5	13,5	2,75	1,91	45,375	25,785	715
	9.15	16,4	13,5	2,81	1,99	46,084	26,865	716
	9.20	16,4	13,5	2,88	2,03	47,232	27,405	705
	9.25	16,6	13,6	2,81	1,99	46,646	27,064	704
	9.30	16,5	13,7	2,81	1,93	46,365	26,441	708
	9.35	16,6	13,7	2,74	1,94	45,484	26,578	711
	9.40	16,6	13,7	2,7	1,99	44,82	27,263	711
	9.45	16,6	13,9	2,81	1,96	46,646	27,244	712
	9.50	16,7	13,9	2,72	1,96	45,424	27,244	730
	9.55	16,8	13,9	2,82	1,98	47,376	27,522	732
	10.00	16,8	14	2,81	1,99	47,208	27,86	730
	10.05	16,8	14	2,73	1,87	45,864	26,18	734
	10.10	16,5	14,1	2,7	1,9	44,55	26,79	730
	60 Menit	10.15	16,6	14,2	2,6	1,85	43,16	26,27
10.20		16,9	14,3	2,78	1,88	46,982	26,884	724
10.25		14	13,7	1,27	0,9	17,78	12,33	179
10.30		14,3	13,9	1,34	1,03	19,162	14,317	194
10.35		17	14,4	2,62	1,85	44,54	26,64	743
10.40		14,1	13,8	1,02	0,75	14,382	10,35	150
10.45		14,3	14	1,6	1,31	22,88	18,34	238
10.50		13,9	13,5	1,31	1,01	18,209	13,635	203
10.55		14,1	13,9	1,8	1,51	25,38	20,989	298
11.00		14,4	14,1	1,58	1,24	22,752	17,484	230
11.05		14,4	14	1,54	1,25	22,176	17,5	256
11.10	14,7	14,4	1,27	0,94	18,669	13,536	174	
55 Menit	11.15	17,3	14,5	2,89	1,89	49,997	27,405	779
	11.20	17	14,5	2,7	1,91	45,9	27,695	734
	11.25	17	14,5	2,61	1,85	44,37	26,825	753
	11.30	17	14,6	2,67	1,87	45,39	27,302	735
	11.35	17	14,6	2,7	1,8	45,9	26,28	742
	11.40	14	13,8	1,46	1,12	20,44	15,456	206
	11.45	17,1	14,6	2,31	1,75	39,501	25,55	703
	11.50	16,7	14,5	2,55	1,89	42,585	27,405	707
	11.55	17	14,6	2,6	1,8	44,2	26,28	710
	12.00	17,1	14,6	2,67	1,85	45,657	27,01	691
	12.05	17,1	14,7	2,57	1,7	43,947	24,99	687

Untuk mengetahui lamanya proses *charging* dengan faktor penyebab tersebut dapat dilihat grafik pada gambar 4.11, gambar 4.11 merupakan hubungan antara tegangan dan arus pada *output buck converter* terhadap waktu.



Gambar 4.11 Grafik hubungan tegangan dan arus pada *buck converter* terhadap waktu pengujian ke-1

Pada grafik gambar 4.11 menjelaskan hubungan tegangan dan arus pada *output buck converter* terhadap waktu. Dengan arus yang rata-rata dibawah 2 A lama proses *charging* yaitu 2 jam 55 menit. ini terlihat bentuk grafik diatas dimana tegangan semakin lama semakin naik yang menandakan bahwa kapasitas baterai mulai terisi dan arusnya jika dilihat semakin turun, ini karena ketika baterai sudah mendekati penuh maka arus yang men-*supply* baterai semakin kecil walaupun tidak terlalu jauh perubahannya.

4.8.2 Pengujian Charging Terhadap Waktu Pada Hari ke-2

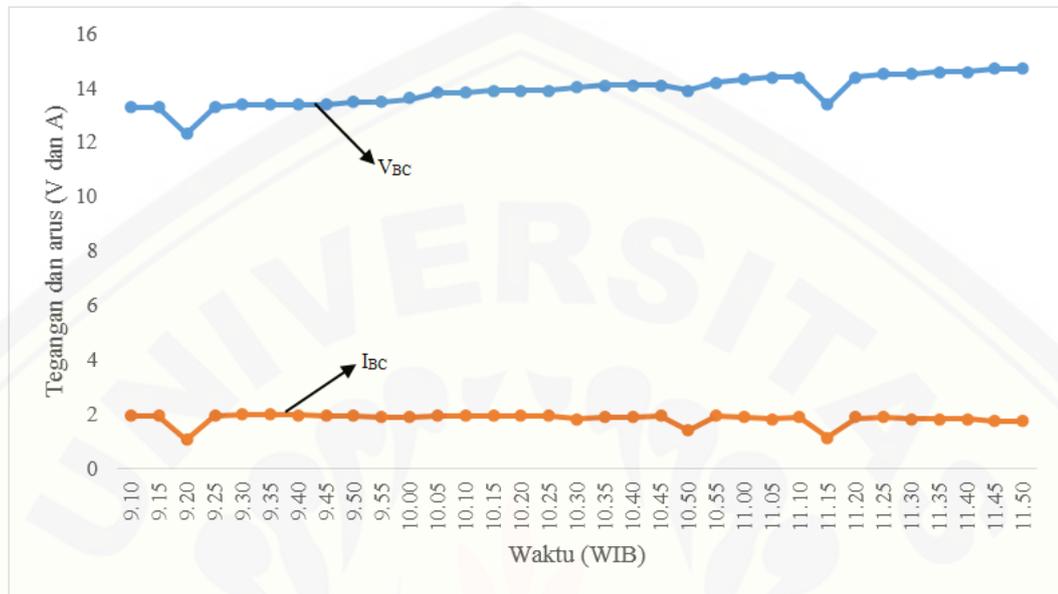
Untuk memastikan bahwa kontrol yang digunakan berjalan dengan baik pada penelitian ini dilakukan pengujian yang ke-2 yaitu dengan cara pengambilan data yang sama, hasil pengujian dapat dilihat seperti pada tabel 4.15. Pada tabel ini memberikan informasi mulai lamanya proses *charging*, waktu pengambilan data dimana setiap 5 menit sekali, kemudian memberikan informasi tegangan, arus dan daya yang dikeluarkan PV panel, ada juga tegangan, arus dan daya yang dihasilkan *buck converter*, serta informasi *irradiance* cahaya matahari. Pengukuran *irradiance* menggunakan alat ukur *solar mater* dengan mengikuti kemiringan PV panel.

Tabel 4.10 Pengujian *Charging* Terhadap Waktu Pengujian ke-2

Lama Charging	Waktu (WIB)	Vce (V)	Vbc (V)	Ice (A)	Ibc (A)	Pce (W)	Pbc (W)	Irradiance (W/m ²)
60 Menit	9.10	16,6	13,3	2,41	1,93	40,006	25,669	753
	9.15	16,4	13,3	2,16	1,92	35,424	25,536	725
	9.20	12,6	12,3	1,15	1,05	14,49	12,915	137
	9.25	17,3	13,3	2,72	1,92	47,056	25,536	764
	9.30	16,6	13,4	2,78	1,98	46,148	26,532	740
	9.35	17,1	13,4	2,61	1,99	44,631	26,666	816
	9.40	16,9	13,4	2,83	1,97	47,827	26,398	714
	9.45	16,9	13,4	2,66	1,95	44,954	26,13	755
	9.50	16,8	13,5	2,75	1,95	46,2	26,325	755
	9.55	17	13,5	2,42	1,9	41,14	25,65	750
	10.00	17,1	13,6	2,51	1,88	42,921	25,568	755
	10.05	16,8	13,8	2,54	1,92	42,672	26,496	768
	10.10	16,8	13,8	2,55	1,94	42,84	26,772	760
	60 Menit	10.15	16,7	13,9	2,47	1,91	41,249	26,549
10.20		16,7	13,9	2,5	1,92	41,75	26,688	758
10.25		16,7	13,9	2,45	1,93	40,915	26,827	753
10.30		16,7	14	2,27	1,81	37,909	25,34	735
10.35		16,8	14,1	2,33	1,87	39,144	26,367	728
10.40		16,7	14,1	2,61	1,9	43,587	26,79	755
10.45		16,8	14,1	2,43	1,93	40,824	27,213	777
10.50		14,2	13,9	1,44	1,38	20,448	19,182	237
10.55		17,1	14,2	2,56	1,92	43,776	27,264	774
11.00		17	14,3	2,49	1,86	42,33	26,598	743
11.05		17,1	14,4	2,43	1,83	41,553	26,352	743
11.10	16,6	14,4	2,49	1,87	41,334	26,928	737	
40 Menit	11.15	13,8	13,4	1,18	1,12	16,284	15,008	112
	11.20	17	14,4	2,41	1,85	40,97	26,64	740
	11.25	17,1	14,5	2,42	1,87	41,382	27,115	704
	11.30	16,9	14,5	2,34	1,83	39,546	26,535	712
	11.35	17,1	14,6	2,25	1,81	38,475	26,426	728
	11.40	16,8	14,6	2,3	1,81	38,64	26,426	725
	11.45	17,2	14,7	2,33	1,73	40,076	25,431	734
	11.50	17,2	14,7	2,41	1,71	41,452	25,137	744

Data yang didapat uagar lebih jelas dikonversikan menjadi dalam bentuk grafik, sehingga dapat dianalisa dengan melihat pergerakan data pada grafik.

Gambar 4.12 merupakan grafik hubungan tegangan dan arus pada *buck converter* terhadap waktu saat pengujian ke-2.



Gambar 4.12 Grafik hubungan tegangan dan arus pada *buck converter* terhadap waktu pengujian ke-2

Pada pengujian ke-3 ini kontrol juga sudah bekerja dengan baik yaitu arus yang dihasilkan *buck converter* kurang 2 A dan men-*supply* baterai secara konstan. Pada gambar 4.12 Terlihat lama waktu proses charging baterai dengan kapasitas 7.2 Ah selama 2 jam 40 menit, lama proses *charging* baterai seperti ini sudah cukup wajar.

4.9 Pengujian *Stop Charging*

Pada pengujian ini akan membahas salah satu kontrol dalam sistem ini yaitu *stop charging*. *Stop charging* ini berfungsi untuk melakukan tindakan berhenti melakukan *charging*, agar menjaga kondisi baterai. Karena jika baterai di beri arus terus-menerus akan mengakibatkan baterai rusak dan umur baterai tidak akan lama. Yang menjadi batas untuk melakukan tindakan *stop charging* adalah tegangan, ketika tegangan pada *output buck converter* (V_{bc}) sudah mencapai 14.7 V maka mikrokontroler akan memerintahkan untuk *stop charging*.

Pengujian ini merupakan tahap terakhir jadi dilakukan dengan cara menunggu atau setelah pengujian sebelum-sebelumnya telah dilakukan. Berikut ini adalah gambar ketika LCD menampilkan status bahwa proses *charging* sudah selesai.



Gambar 4.13 Tampilan LCD ketika proses *charging* berhenti secara otomatis

4.10 Perbandingan Proses Charging antara Referensi dengan Penelitian

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ankita Dhakate pada tahun 2014 diperoleh hasil konsumsi daya saat proses charging seperti pada tabel 4.16 berikut ini yang merupakan hasil pengujian konsumsi daya pada saat charging dengan menggunakan FPGA.

Tabel 4.11 Pengujian konsumsi daya penelitian sebelumnya

Waktu	Tegangan Baterai (V)	Arus Baterai (mA)	Daya (W)
10:00 am	5.5	9.45	0.05
12:00 pm	9.1	15.20	0.13
2:00 pm	12.9	21.1	0.27

Penelitian sebelumnya lama proses charging selama 4 jam dengan batas tegangan mencapai 12.9 dan arus maksimal 21.1 mA sehingga daya yang dihasilkan 0.27 W. Data tersebut menandakan bahwa penelitian sebelumnya saat proses charging lebih lama. Disamping itu penggunaan FPGA membutuhkan biaya yang cukup mahal.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Pada perancangan sistem pengisian baterai penelitian ini dengan menggunakan ATmega328 dengan kristal sebesar 16 MHz sudah mampu memebangkitkan *trigger* MOSFET dengan frekuensi sebesar 31kHz, serta pada *buck converter* menggunakan MOSFET dengan kemampuan 60 V dan 20 A serta induktor dirancang menggunakan tembaga 1.5 mm dan toroid berbahan inti ferit.
2. Kontrol pengisian baterai menggunakan metode *decrement* dan *increment* dengan arus konstan dibatasi sekitar 2 A dan dibatasi tegangan sebesar 14.7 V sebagai indikator baterai penuh.
3. Kinerja sistem pengisian baterai pada penelitian ini dilihat melakukan dua kali pengujian, dengan dibatasi arusnya hanya 2 A proses charging pada pengujian ke-1 dalam waktu 2 jam 40 dan pada pengujian ke-2 dalam waktu 2 jam 50 menit sudah mampu mengisi baterai.

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan kinerja *buck converter* itu sendiri yaitu dengan meninggikan frekuensi *switching*, serta penggunaan dioda dan kapasitor juga harus sesuai dengan spesifikasi frekuensi tinggi. Untuk dioda penggunaan jenis *ultra fast recovery* dan untuk kapasitor penggunaanya jenis *low ESR*.
2. Dalam penggunaan PV panel hendaknya memperhitungkan posisi sudut peletakan PV panel itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Ankita Dhakate. (2014). *Power Optimization of Battery Charging System Using FPGA Based Neural Network Controller. Int. Journal of Engineering Research and Applications. Vol. 4, Issue 8(Version 6), pp.112-122*
- Çınar, S. M., & Akarşlan, E. (2012), *Design of an Intelligent Battery Charge Controller for PV Panels, Journal of Engineering Science and Technology Review, 5(4), 30-34.*
- Carlos Manuel Ferreira Santos, *Optimized Photovoltaic Solar Charger With Voltage Maximum Power Point Tracking, PhD diss., Universidade Técnica de Lisboa, 2008.*
- G. C. Hsieh L. R. Chen and K. S. Huang, *Fuzzy-Controlled Li-Ion Battery Charge System with Active State-of-Charge Controller, IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 48, No. 3, 2001.*
- L. Anand, B. L. Mathur. *State Of Charge Estimation Of Lead Acid Batteries Using Neural Networks. International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies. 978-1-4673-4922-2/13 ©2013 IEEE*
- Lee, J. H., H. S. Bae, and Bo-Hyung Cho., *Resistive control for a photovoltaic battery charging system using a microcontroller, Industrial Electronics, IEEE Transactions on 55.7 (2008): 2767-2775*
- M. Dakkaka and A. Hasana, "A charge Controller Based on Microcontroller In Stand-alone Photovoltaic Systems", *Energy Procedia V. 19, pp. 87 – 90, 2012*
- Mohammed Shoaib¹, V Nagaraj², *Novel Battery Charging Control System for Batteries Using On/Off and PWM Controllers for Stand Alone Power Systems, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) e-ISSN: 2278-1676,p-ISSN: 2320-3331, Volume 6, Issue 3 (May. - Jun. 2013), PP 44-52*
- Panom Petchjaturorn, Phaophak Sirisuk, *A Solar-powered Battery Charger with Neural Network Maximum Power Point Tracking Implemented on a Low-Cost PICmicrocontroller, IEEE Power Electronics and Drives Systems, 2005. Pp.507-510.*

Raju, P., & Vijayan, S. (2013). *Artificial Intelligence based Battery Power Management for Solar PV And Wind Hybrid Power System. International Journal of Engineering Research and General Science Volume 1, Issue 2*

Rashid, Muhammad H. 2001. *Power Electronics Handbook*. California : Academic Press

Salam, Zainal. (2003). *Power Electronic and Drives. UTM-JB, Version 3.*

Shiau, J. K., & Ma, C. W. (2013), *Li-ion battery charging with a buck-boost power converter for a solar powered battery management system. Energies, 6(3), 1669-1699*

Wulan, Triyas Ika. 2010. *Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari*. Surabaya: Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November

Atmel corporation. 2011. Datasheet of ATmega328P. www.atmel.com/Images/doc8161.pdf. Diakses pada tanggal 4 Februari 2015

LAMPIRAN

A. LISTING PROGRAM PADA ARDUINO IDE

```
#define A_IN1 A0
#define A_IN2 A1
#define A_IN3 A2
#define V_IN1 A5
#define V_IN2 A4
#define V_IN3 A3

int mVperAmp = 100; // for 20A
int RawValue[6];
int ACSoffset = 2500;
double Voltage[3];
double Amp[3];

#define RS 4
#define EN 5
#define D4 6
#define D5 7
#define D6 8
#define D7 9
//3 out pwm
//11 out pwm
boolean CHARGE = false;
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(RS, EN, D4, D5, D6, D7);
String PROJECT_NAME = "Solar charge Control";
String AUTHOR = " Yanu Arif Santoso ";
String STUDY = " Teknik Elektro ";
String Camp = " Universitas Jember ";
float bat_current[2] = {3,2};
float bat_voltage = 13.8;

void setup(){
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(11, OUTPUT);
  TCCR2A=_BV(COM2A1)|_BV(COM2B1)|_BV(WGM20);
  TCCR2B=_BV(CS20);
  OCR2B=0;
  OCR2A=0;
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("#start");
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(10, INPUT);
  digitalWrite(10, HIGH);
  delay(200);
  lcd.begin(20, 4);
  lcd.setCursor(0, 0);
```

```

lcd.print(PROJECT_NAME);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(AUTHOR);
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print(STUDY);
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print(Camp);
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("VCe :");
lcd.setCursor(10,0);
lcd.print("ICe :");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("VBs :");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("VBs :");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("VBc :");
lcd.setCursor(10,2);
lcd.print("IBc :");
/*lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("PWM1:");*/
lcd.setCursor(10,3);
lcd.print("PWM :");
delay(500);

}

unsigned long timer_disp,timer_charge;
int max_count=1000;
int index_count;
float tmp[6];
float tmp_avg[6];
float amp_buck,amp_boost,amp_cell;
float avg_ampbuck,avg_ampboost,avg_ampcell;
float v_cell,v_boost,v_buck;
float avgv_cell,avgv_boost,avgv_buck;

int last_pin = 1;

void clear_cursor(int x,int y){
  for(int i=x;i<(x+4);i++){
    lcd.setCursor(i,y);
    lcd.print(" ");
  }
}

//unsigned long timer_charge;
void loop(){
  RawValue[0] = analogRead(A_IN1);
  float value = ((float)RawValue[0] / 1023.0) * 5000;//
  Amp[0] = ((value - 2500) / mVperAmp);
  RawValue[1] = analogRead(A_IN2);
  value = ((float)RawValue[1] / 1023.0) * 5000;//
  Amp[1] = ((value - 2500) / mVperAmp);
  RawValue[2] = analogRead(A_IN2);

```

```

value = ((float)RawValue[2] / 1023.0) * 5000;//
Amp[2] = ((value - 2500) / mVperAmp);
if (Amp[0]<0)Amp[0]*=-1;
if (Amp[1]<0)Amp[1]=0;
if (Amp[2]<0)Amp[2]=0;
RawValue[3] = analogRead(A5);
Voltage[0]= ((float)RawValue[3]/1023)*4.9*11.35;
RawValue[4] = analogRead(A4);
Voltage[1]= ((float)RawValue[4]/1023)*4.9*11;
RawValue[5] = analogRead(A3);
Voltage[2]= ((float)RawValue[5]/1023)*5*11;

if(index_count<max_count){
  index_count++;
  amp_cell+=Amp[0];
  amp_boost+=Amp[1];
  amp_buck+=Amp[2];
  v_cell+=Voltage[0];
  v_boost+=Voltage[1];
  v_buck+=Voltage[2];
}else{
  avg_ampcell = amp_cell/max_count;
  avg_ampboost = amp_boost/max_count;
  avg_ampbuck = amp_buck/max_count;
  avgv_cell = v_cell/max_count;
  avgv_boost = v_boost/max_count;
  avgv_buck = v_buck/max_count;
  amp_cell =0;
  amp_boost=0;
  amp_buck=0;
  v_cell=0;
  v_boost=0;
  v_buck=0;
  Serial.print(avg_ampcell);//amp
  Serial.print(",");
  Serial.print(avg_ampboost);//amp
  Serial.print(",");
  Serial.print(avg_ampbuck);//amp
  Serial.print(",");
  Serial.print(avgv_cell);//volt
  Serial.print(",");
  Serial.print(avgv_boost);//volt
  Serial.print(",");
  Serial.print(avgv_buck);//volt
  Serial.println();
  index_count=0;
}

if(millis()-timer_disp > 500){
  /*if(digitalRead(13)==HIGH){
    digitalWrite(13,LOW);
  }else{
    digitalWrite(13,HIGH);
  }*/
}

```

```

/*lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("VcE :");
lcd.setCursor(10,0);
lcd.print("IcE :");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("VbS :");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("IbS :");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("VbC :");
lcd.setCursor(10,2);
lcd.print("IbC :");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("PWM1:");
lcd.setCursor(10,3);
lcd.print("PWM2:");*/
clear_cursor(5,0);
lcd.setCursor(5,0);
lcd.print(avgv_cell,1);//v cell
clear_cursor(15,0);
lcd.setCursor(15,0);
lcd.print(avg_ampcell,2);//amp cell
clear_cursor(5,1);
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print(avgv_boost,1);
clear_cursor(15,1);
lcd.setCursor(15,1);
lcd.print(avg_ampboost,2);
clear_cursor(5,2);
lcd.setCursor(5,2);
lcd.print(avgv_buck,1);
clear_cursor(15,2);
lcd.setCursor(15,2);
lcd.print(avg_ampbuck,2);
/*clear_cursor(5,3);
lcd.setCursor(5,3);
lcd.print(((float)OCR2B/255)*100,0);
lcd.setCursor(8,3);
lcd.print("%");*/
clear_cursor(15,3);
lcd.setCursor(15,3);
lcd.print(((float)OCR2A/255)*100,0);
lcd.setCursor(18,3);
lcd.print("%");
timer_disp = millis();
}

//OCR2B=122;
//OCR2A=122;
//delay(50);
if(digitalRead(10)==LOW && !CHARGE){
  last_pin = 0;
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Processing charge");
}

```

```

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Start.....");
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("VcE :");
lcd.setCursor(10,0);
lcd.print("IcE :");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("VbS :");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("IbS :");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("VbC :");
lcd.setCursor(10,2);
lcd.print("IbC :");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("");
lcd.setCursor(10,3);
lcd.print("PWM :");
delay(500);
CHARGE = true;
timer_charge = millis();
}else{
  //CHARGE =false;
}

/* if(last_pin!= digitalRead(10) && !CHARGE){
  CHARGE = true;
  delay(500);
}*/

//if buck *****
if(CHARGE){

if(avgv_buck<14.7){
  if(OCR2A < 120){
    if(Amp[2]<2){
      OCR2A++;
    }else{
      OCR2A--;
    }
  }
}
}else{

if(millis()-timer_charge>600000){
  charge_penuh();
}else{
  if(OCR2A > 0)OCR2A--;
}
}
}
}

```

```

/* if(Voltage[2]>16){
    if(millis()-timer_charge>5000){
        charge_penuh();
    }
    0    if(OCR2A > 0)OCR2A--;
    }else{
        if(OCR2A > 5)OCR2A--;
    }
}
delay(5);*/
}

```

```

void charge_penuh(){
    OCR2A = 0;
    OCR2B = 0;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Charging complete");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Bateray full");
    //delay(1000);
    pinMode(13,OUTPUT);
    for(int i=0;i<5;i++){
        digitalWrite(13,LOW);
        delay(500);
        digitalWrite(13,HIGH);
        delay(500);
    }
    digitalWrite(13,LOW);
    delay(1000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("VCe :");
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print("ICe :");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("VBs :");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print("IBs :");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("VBc :");
    lcd.setCursor(10,2);
    lcd.print("IBc :");
    /*lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("PWM1:");*/
    lcd.setCursor(10,3);
    lcd.print("PWM2:");
    CHARGE = false;
    delay(500);
}

```

```

void PUSH_PWM(){
    //if boost *****

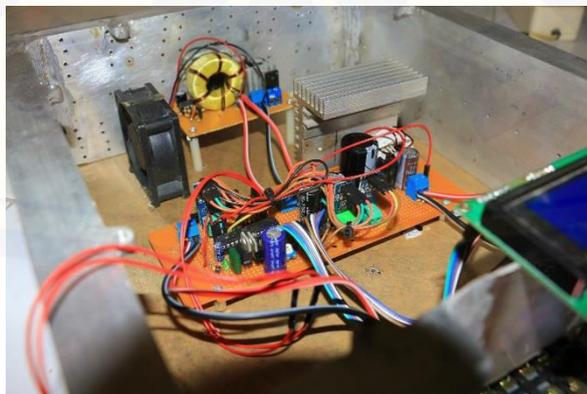
```

```
if(CHARGE){
if(avgv_cell < 24){
    if(OCR2B < 110)OCR2B++;
}else if(avgv_cell > 24){
    if(OCR2B > 5)OCR2B--;
}
//if buck *****
if(tmp_avg[5]<14.7){
    if(OCR2A < 110){
        if(tmp[2]<2){
            OCR2A++;
        }
    }
}else if(tmp_avg[4]>14.7){
    if(OCR2A > 5)OCR2A--;
    charge_penuh();
}
}else{
    OCR2A = 0;
    OCR2B = 0;
}
}
```

B. Dokumentasi Alat Penelitian



Tampilan casing sistem pengisi baterai



Tampilan rangkaian sistem pengisi baterai



Rangkaian *buck converter*



Pemasangan PV panel dengan sudut kemiringan mengikuti atap rumah



Pengukuran *irradiance* yang jatuh ke PV panel



Proses pengukuran dan pengambilan data

