

SKRIPSI

RANCANG BANGUN

**SISTEM KONTROL PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA
GENERATOR AC - SEL SURYA DAN PENGISIAN BATERAI
SKALA KECIL MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560**



Disusun Oleh :

CHRISTIAN CAHYA KARTIKA

13.12.040

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2017

LEMBAR PERSETUJUAN

**RANCANG BANGUN
SISTEM KONTROL PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA
GENERATOR AC - SEL SURYA DAN PENGISIAN BATERAI
SKALA KECIL MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560**

SKRIPSI

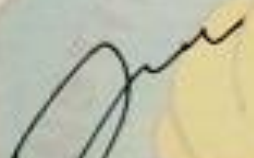
*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

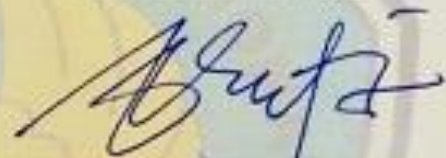
**Disusun oleh :
CHRISTIAN CAHYA KARTIKA
NIM. 1312040**


Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Eng. Arnyanto Soetedjo, ST., MT
NIP. Y. 1030800477


Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT
NIP. Y. 1018800189


**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**

Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT
NIP.197706152005012002

**PROGAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2017**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA GENERATOR AC - SEL SURYA DAN PENGISIAN BATERAI SKALA KECIL MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560

Christian Cahya Kartika, NIM 1312040

Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT

Dosen Pembimbing II : Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

Listrik merupakan energi utama yang sangat dibutuhkan di era modern saat ini. Dimana segala aktifitas sehari-hari tidak lepas dari penggunaan energi listrik. Sedangkan energi bumi semakin lama semakin habis dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu manusia berlomba-lomba untuk mencari solusi energi yang terbarukan dimana energi tersebut tidak akan pernah habis walau dipakai secara terus menerus dan merupakan energi yang ramah lingkungan.

Pada penelitian ini telah direalisasikan suatu sistem pengontrolan dan penyimpanan daya dari energi listrik terbarukan yaitu sel surya dan generator AC yang dapat mengintegrasikan serta mengoptimalkan hasil konversi energi matahari dan putaran generator AC untuk disimpan menggunakan baterai ataupun didistribusikan ke beban secara otomatis. Dalam perancangan sistem menggunakan pengontrol terprogram yaitu Arduino Mega 2560. Dari hasil pengujian alat secara keseluruhan menggunakan sistem kontrol dapat bekerja sesuai dengan perencanaan awal yaitu pada generator AC menghasilkan tegangan stabil mulai pada putaran 700 RPM dengan tegangan keluaran menggunakan kontrol 13,5 VDC untuk pengisian baterai dan 12 VDC untuk beban DC, sedangkan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya mulai jam 08.00-16.00 dengan menggunakan kontrol yaitu 13,5 VDC untuk pengisian baterai dan 12 VDC untuk beban DC. Relay pengisian baterai dapat bekerja secara otomatis menghubungkan sumber pembangkit untuk mengisi baterai dimana pada saat baterai kurang dari 11 VDC relay pengisian baterai akan menghubungkan baterai dengan sumber pembangkit (charging), ketika tegangan baterai telah mencapai 13,8 VDC relay pengisian baterai memutuskan sumber pembangkit dengan baterai (discharging).

Kata Kunci : Sistem Kontrol, Energi Terbarukan, Pembangkit Listrik, Teknologi Hibrida, Arduino Mega 2560

ABSTRACT

DESIGN SYSTEM OF HYBRID ELECTRIC POWER CONTROL AC GENERATOR – SOLAR CELL AND CHARGING THE BATTERY SMALL SCALE USING ARDUINO MEGA 2560

Christian Cahya Kartika, NIM : 1312040
Lecturer I : Dr. Eng. Aryunto Soetedjo, ST., MT
Lecturer II : Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

Electricity is a major energy that is needed in the modern era today. Where all the daily activities can not be separated from the use of electrical energy. What earth energy is getting out of stock and can not be optimized. Therefore humans are competing to find energy solutions that no energy that will never run out even if used continuously and is environmentally friendly energy.

In this research has been realized a system of control and storage of power from renewable electrical energy that is solar cell and AC generator that can integrate and optimize result of solar energy conversion and putraran AC generator to be stored by battery or distributed to load automatically. In system design using programmable controller that is Arduino Mega 2560. From result of testing tool as a whole using control system can work according to initial planning that is at generator AC generate stable voltage start at 700 RPM rotation with output voltage use 13,5 VDC control for battery charging and 12 VDC for DC load, while the voltage generated by solar cells start at 08.00-16.00 by using control ie 13.5 VDC for battery charging and 12 VDC for DC load. Battery charging relay can work automatically connect power source to charge battery which when battery voltage less than 11 VDC relay will connect battery with charging source, when battery voltage has reached 13,8 VDC battery charge relay disconnect power source with battery (discharging).

Keyword : *Control Systems, Renewable Energy, Power Generation, Hybrid Technology, Arduino Mega 2560*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga kami selaku penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini yang berjudul **“RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA GENERATOR AC - SEL SURYA DAN PENGISIAN BATERAI SKALA KECIL MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560”** dapat terselesaikan.

Penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penyusun mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang
2. Bapak Dr. Ir. F. Yudi Limpraptono, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST., MT dan Bapak Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT selaku dosen pembimbing.
5. Sahabat-sahabat dan rekan-rekan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu baik dari segi teknis maupun dukungan moral dalam terselesaikannya skripsi ini.
6. Kepada kedua orang tua yang telah membantu penulis baik itu dalam bentuk materi dan dukungan doa yang selalu menyertai penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya akan keterbatasan dan pengetahuan dalam menyelesaikan laporan penelitian ini. Untuk itu penulis berharap kritik dan saran masukan yang bersifat membangun, dengan tujuan menyempurnakan laporan ini dan dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTARGAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Teknologi Hibrida	5
2.2 Arduino Mega 2560	5
2.2.2 Deskripsi Pin Atmega 2560.....	7
2.3 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	7
2.3.1 Konfigurasi Pin LCD.....	8
2.4 Relay	8
2.5 Optocoupler.....	10
2.6 LED (Light Emitting Diode).....	11
2.7 Pembagi Tegangan.....	12
2.8 Sensor Arus	13
2.9 Baterai [6]	13
2.9.1 Jenis-Jenis Baterai	14
2.9.2 Konstruksi Baterai Aki	15
2.10 MPPT (<i>Maximum Power Point Tracker</i>).....	15
2.11 <i>Buck Boost Converter</i>	16
2.12 Penyearah Tegangan	16

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	18
3.1 Pendahuluan.....	18
3.2 Perancangan Sistem	18
3.2.1 Prinsip Kerja.....	21
3.3 Perancangan Mekanik.....	21
3.3.1 Pemilihan Bahan.....	22
3.4 Perancangan Perangkat Keras	22
3.4.1 Perancangan Sensor Tegangan	22
3.4.2 Perancangan LCD 2x16.....	24
3.4.3 Perancangan Pin Data Pada Arduino Mega 2560.....	25
3.4.4 Perancangan Driver Relay	26
3.5 Perancangan Perangkat Lunak	27
3.6 Flowchart Sistem	28
BAB IV PENGUJIAN DAN DATA HASIL	29
4.1 Pendahuluan.....	29
4.2 Pengujian <i>Output</i> Arduino Mega 2560.....	30
4.2.1 Peralatan Yang Digunakan	30
4.2.2 Langkah – Langkah Yang Dilakukan.....	30
4.2.3 Hasil Pengujian Output Arduino Mega 2560.....	30
4.2.4 Analisa Pengujian <i>Output</i> Arduino Mega 2560	31
4.3 Pengujian LCD 16X2 Karakter.....	32
4.3.1 Peralatan Yang Digunakan	32
4.3.2 Langkah – Langkah Pengujian LCD 16X2 Karakter	32
4.3.3 Hasil Pengujian LCD 16X2 Karakter	32
4.3.4 Analisa Pengujian LCD 16X2 Karakter	32
4.4 Pengujian Driver Relay.....	33
4.4.1 Peralatan Yang Digunakan	33
4.4.2 Langkah – Langkah Pengujian Driver Relay	33
4.4.3 Hasil Pengujian Driver Relay	33
4.4.4 Analisa Pengujian Driver Relay	33
4.5 Pengujian Relay Sumber Hibrida.....	34
4.5.1 Peralatan Yang Digunakan	34
4.5.2 Langkah – Langkah Pengujian Relay Sumber Hibrida	34

4.5.3	Hasil Pengujian Relay Sumber Hibrida.....	35
4.5.4	Analisa Pengujian Relay Sumber Hibrida.....	35
4.6	Pengujian Relay Pengisian Baterai	35
4.6.1	Peralatan Yang Digunakan	35
4.6.2	Langkah – Langkah Pengujian Relay Pengisian Baterai.....	36
4.6.3	Hasil Pengujian Relay Pengisian Baterai	36
4.6.4	Analisa Pengujian Relay Pengisian Baterai	36
4.7	Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban	37
4.7.1	Peralatan Yang Digunakan	37
4.7.2	Langkah – Langkah Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban	37
4.7.3	Hasil Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban.....	38
4.7.4	Analisa Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban.....	39
4.8	Pengujian Tegangan <i>Output</i> Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban	39
4.8.1	Peralatan Yang Digunakan	39
4.8.2	Langkah – Langkah Pengujian Tegangan <i>Output</i> Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban	39
4.8.3	Hasil Pengujian Tegangan <i>Output</i> Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban	40
4.8.4	Analisa Pengujian Tegangan <i>Output</i> Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban	41
4.9	Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC Dan Lampu 3 Watt 220 VAC	42
4.9.1	Peralatan Yang Digunakan	42
4.9.2	Langkah – Langkah Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC Dan Lampu 3 Watt 220 VAC	42

4.9.3 Hasil Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC dan Lampu 3 Watt 220 VAC.....	43
4.9.4 Analisa Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC dan Lampu 3 Watt 220 VAC	44
4.10 Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC	44
4.10.1 Peralatan Yang Digunakan	45
4.10.2 Langkah – Langkah Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC.....	45
4.10.3 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC.....	46
4.10.4 Analisa Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP dan Generator AC.....	47
4.11 Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt.....	48
4.11.1 Peralatan Yang Digunakan	48
4.11.2 Langkah – Langkah Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt.....	48
4.11.3 Hasil Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt	49
4.11.4 Analisa Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC.....	50

BAB V PENUTUP 51

5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	52

DAFTAR PUSTAKA..... 53

DAFTARGAMBAR

Gambar 2.1	Blok Diagram Teknologi Hibrida[15].....	5
Gambar 2.2	Arduino Mega 2560 [5].....	6
Gambar 2.3	LCD Character 16 X 2 [18].....	8
Gambar 2.4	Bentuk Fisik Relay[19]	9
Gambar 2.6	Simbol LED dan Polaritas Pin LED (<i>Light Emitting Dioda</i>) [6].....	11
Gambar 2.7	Rangkaian Pembagi Tegangan [22]	12
Gambar 2.8	Rangkaian Sensor Arus[8]	13
Gambar 2.9	Konstruksi Bagian-bagian Baterai Asam[23]	14
Gambar 2.10	Kontruksi Dan Bagian – Bagian Baterai Aki	15
Gambar 2.11	Gambar Rangkaian Dasar <i>Buck Boost Converter</i> [24].....	16
Gambar 2.12	Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang (<i>Half Wave Rectifier</i>)[25].	17
Gambar 2.13	Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang (<i>full Wave Rectifier</i>) [26]..	17
Gambar 3.1	Perancangan Pembangkit Hibrida	18
Gambar 3.2	Blok Diagram Sistem	19
Gambar 3.3	Perancangan Sistem Mekanik Box Panel Kontrol Tampak Luar.....	21
Gambar 3.4	Perancangan Penempatan Komponen Perangkat Keras Pada Box Panel Kontrol Tampak Dalam.....	22
Gambar 3.5	Rangkaian Sensor Tegangan Pada MPPT Sel Surya	23
Gambar 3.6	Rangkaian Sensor Tegangan Pada <i>Buck Boost</i> Generator AC.....	23
Gambar 3.7	Rangkaian Sensor Tegangan Pada Baterai Aki.....	23
Gambar 3.8	Skema Rangkaian Modul 2x16	25
Gambar 3.9	Skematik Rangkaian Driver Relay	26
Gambar 3.10	Tampilan Awal <i>Software</i> IDE Arduino.....	27
Gambar 3.11	<i>Flowchart</i> Keseluruhan Sistem	28
Gambar 4.1	Hasil Pengujian <i>Output</i> Tegangan Pin Digital Arduino Mega 2560 pada Keadaan Logika <i>High</i>	30
Gambar 4.2	Hasil Pengujian <i>Output</i> Tegangan Pin Digital Arduino Mega 2560 pada Keadaan Logika <i>Low</i>	31
Gambar 4.3	Hasil Pengujian Modul LCD 16X2.....	32
Gambar 4.4	Grafik Hasil Pengujian Tegangan Generator AC Tanpa Beban Menggunakan Kontrol Hibrida	38

Gambar 4.5	Pengujian Tegangan <i>Output</i> Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban	40
Gambar 4.6	Grafik Hasil Pengujian Tegangan Output Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban	41
Gambar 4.7	Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC dan Lampu 3 Watt 220 VAC	43
Gambar 4.8	Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC	46
Gambar 4.9	Grafik Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC	47
Gambar 4.10	Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt	49
Gambar 4.11	Grafik Hasil Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Deskripsi Pin Atmega 2560[5].....	7
Tabel 2.2	Konfigurasi pin LCD dan fungsinya[5]	8
Tabel 2.3	Tegangan spesifikasi kerja led menurut warna yang di hasilkan.....	12
Tabel 3.1	Fungsi pin setiap sinyal pada LCD	24
Tabel 3.2	Perancangan Konfigurasi Pin Pada Arduino Mega 2560	25
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Tegangan <i>Output</i> Arduino Mega 2560.....	31
Tabel 4.2	Data Pengamatan Pengujian Driver Relay.....	33
Tabel 4.3	Data Pengamatan Pengujian Relay Sumber Hibrida.....	35
Tabel 4.4	Data Pengamatan Pengujian Relay Pengisian Baterai	36
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban	38
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Tegangan Output Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban.....	40
Tabel 4.7	Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC dan Lampu 3 Watt 220 VAC	44
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC	46
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt.....	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi merupakan masalah yang hingga saat ini masih menyelimuti kehidupan di era modern dimana hampir segala aktifitas sangat bergantung pada energi.[1] Seiring dengan pertambahan penduduk, kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya dari tahun ke tahun semakin meningkat.[2] Karena energi juga merupakan unsur penunjang yang sangat penting dalam proses pertumbuhan ekonomi dan ikut menentukan keberhasilan pembangunan di sektor lain.

Pembangkit energi di dunia khususnya di Indonesia hingga saat ini cenderung dipenuhi dengan pemanfaatan bahan bakar fosil yang semakin lama semakin menipis karena sumber energi ini telah digunakan sejak berabad-abad yang lalu. Hal ini disebabkan oleh kondisi tidak meratanya pusat-pusat beban listrik, rendahnya tingkat permintaan listrik di beberapa wilayah, tingginya biaya marginal pembangunan sistem suplai energi listrik serta terbatasnya kemampuan finansial, merupakan faktor-faktor penghambat penyediaan energi listrik dalam skala nasional.

Akan tetap di Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi pembangkit energi baru dan terbarukan yang besar yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu cara mengatasi krisis energi yaitu menggunakan pembangkit energi alternatif. Dimana sumber yang diambil atau diolah merupakan sumber yang dapat tidak akan pernah habis dan selalu diperbarui. Berdasarkan masalah tersebut, maka dalam penelitian ini dirancang sistem kontrol pembangkit listrik hibrida dan unit penyimpanan daya.

Teknologi hibrida adalah sistem yang menggunakan dua atau lebih pembangkit energi yang bekerja sama untuk mengatasi kekurangan maupun memanfaatkan kelebihan masing – masing agar tercipta suatu sistem yang handal.[1] Dalam perancangan ini, kedua pembangkit tersebut yaitu generator AC dan sel surya. Dimana kedua pembangkit tersebut diintegrasikan menjadi satu sumber listrik yang digunakan untuk mensuplai lampu penerangan, sedangkan baterai hanya difungsikan sebagai cadangan energi sekunder ketika kedua pembangkit mengalami penurunan daya keluaran dan digunakan pada saat malam hari. Kontrol pada sistem ini menggunakan beberapa komponen elektronik dan sebuah perangkat terprogram yaitu Arduino Mega 2560 untuk mengontrol kedua pembangkit yaitu sel surya dan generator AC serta mengontrol pengisian baterai atau akumulator secara otomatis lalu didistribusikan ke beban.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan di bahas pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sistem kontrol pembangkit listrik hibrida generator AC - sel surya dan pengisian baterai skala kecil menggunakan Arduino Mega 2560 ?
2. Bagaimana membuat sistem kontrol pembangkit listrik hibrida agar mampu mengintegrasikan kedua sumber dan mampu mengisi baterai secara otomatis untuk didistribusikan ke beban ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan di atas maka, tujuan dalam penelitian ini adalah

1. Merancang sistem kontrol pembangkit listrik hibrida generator AC - sel surya dan pengisian baterai skala kecil menggunakan Arduino Mega 2560.
2. Membuat sistem kontrol pembangkit listrik hibrida agar mampu mengintegrasikan kedua sumber dan mampu mengisi baterai secara otomatis untuk didistribusikan ke beban.

1.4 Batasan Masalah

Pembahasan tidak menyimpang dari pokok perumusan masalah dan tujuan dalam penulisan skripsi ini maka penulis memberi batasan sebagai berikut :

1. Tidak membahas pembangkit listrik tenaga generator AC dan sel surya.
2. Data sumber tegangan masukan berasal dari pembangkit listrik tenaga generator AC dan sel surya.
3. Kontrol tegangan keluaran pada generator AC menggunakan *Boost Converter*
4. Kontrol tegangan keluaran pada pembangkit listrik solar sel menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*)
5. Memonitor tegangan dan daya dari sistem hibrida menggunakan LCD 2 X 16 karakter dengan tampilan keluaran meliputi :
 - Tegangan pada sel surya
 - Tegangan pada generator AC
 - Tegangan pada baterai akumulator
 - Arus listrik yang mengalir ketika menggunakan beban
6. Baterai akumulator yang digunakan bertegangan 12V

7. Beban yang digunakan adalah beban DC 12V dan beban AC 220V

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Kajian Literatur

Pengumpulan data dan pembelajaran teori-teori referensi berupa artikel serta jurnal-jurnal untuk mendukung dalam penyusunan skripsi ini.

2. Perancangan Mekanik

Pembuatan design dan pencarian bahan untuk pembuatan rangkaian sistem kontrol hibrida.

3. Perancangan Sistem Elektronika

Pembuatan design rangkaian elektronika seperti : perancangan rangkaian sensor tegangan, perancangan rangkaian regulator tegangan, perancangan rangkaian driver relay, dan perancangan rangkaian LCD.

4. Pembuatan Hardware

Pembuatan rangkaian dari hasil perencanaan sistem meliputi :

- a. Pembuatan rangkaian sensor tegangan.
- b. Pembuatan rangkaian driver relay.
- c. Pembuatan rangkaian LCD.
- d. Proses pengkabelan

5. Pembuatan Algoritma Program

Pada pemrograman perangkat Arduino menggunakan bahasa pemrograman C dengan bantuan compiler software IDE Arduino. Beberapa program diupayakan menggunakan library pada software IDE Arduino sehingga dapat mempersingkat waktu.

6. Pengujian Sistem

Proses uji coba rangkaian dan keseluruhan sistem untuk mengetahui adanya kesalahan agar sistem sesuai dengan konsep yang telah dirancang sebelumnya.

7. Pelaporan hasil pengujian dan kesimpulan.

Proses pengujian alat sehingga dapat dibuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dan memahami pembahasan penulisan skripsi ini, sistematika penulisan disusun sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai dasar-dasar teori dalam penelitian secara singkat meliputi pembangkit energi tenaga generator AC dan sel surya serta sistem kontrol hibrida dalam pengisian daya pada baterai.

BAB III : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada bab ini dijelaskan mengenai tahapan perancangan perangkat elektronik sistem kontrol dan diagram alir.

BAB VI : DATA DAN HASIL PENGUJIAN

Berisi tentang pembahasan langkah-langkah pembuatan alat sistem kontrol serta pengujian terhadap alat tersebut.

BAB V : PENUTUP

Berisikan kesimpulan yang diperoleh dari perancangan, pengujian, dan analisis yang berhubungan dengan skripsi ini serta saran-saran untuk pengembangan alat lebih lanjut.

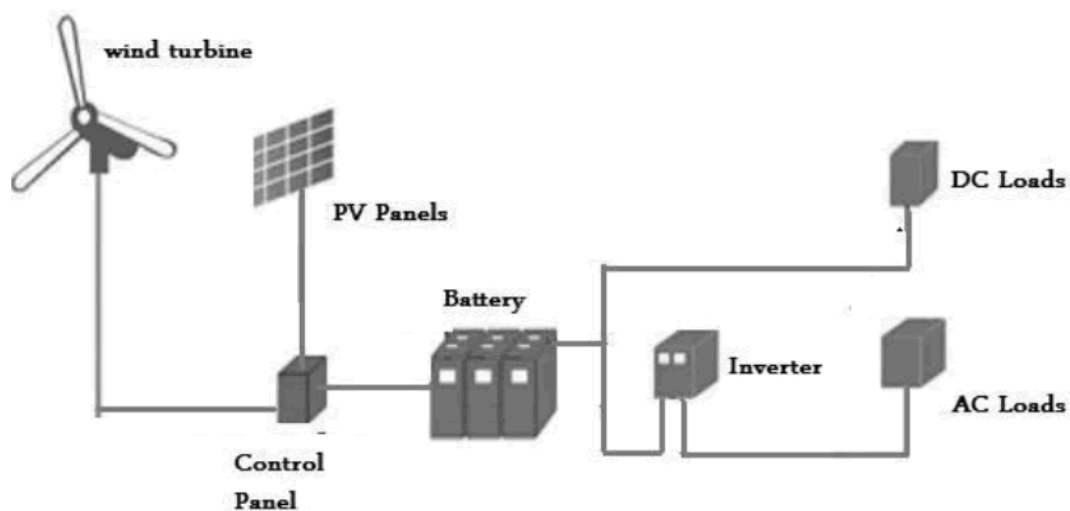
DAFTAR PUSTAKA

BAB II DASAR TEORI

2.1 Teknologi Hibrida

Adalah penggunaan 2 sistem atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hibrida adalah genset, PLTS, mikro hidro, tenaga angin. [3]

Sistem ini merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah-daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN atau Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Sistem hibrida ini memanfaatkan pembangkit energi baru terbarukan sebagai sumber utama (primer). [3]



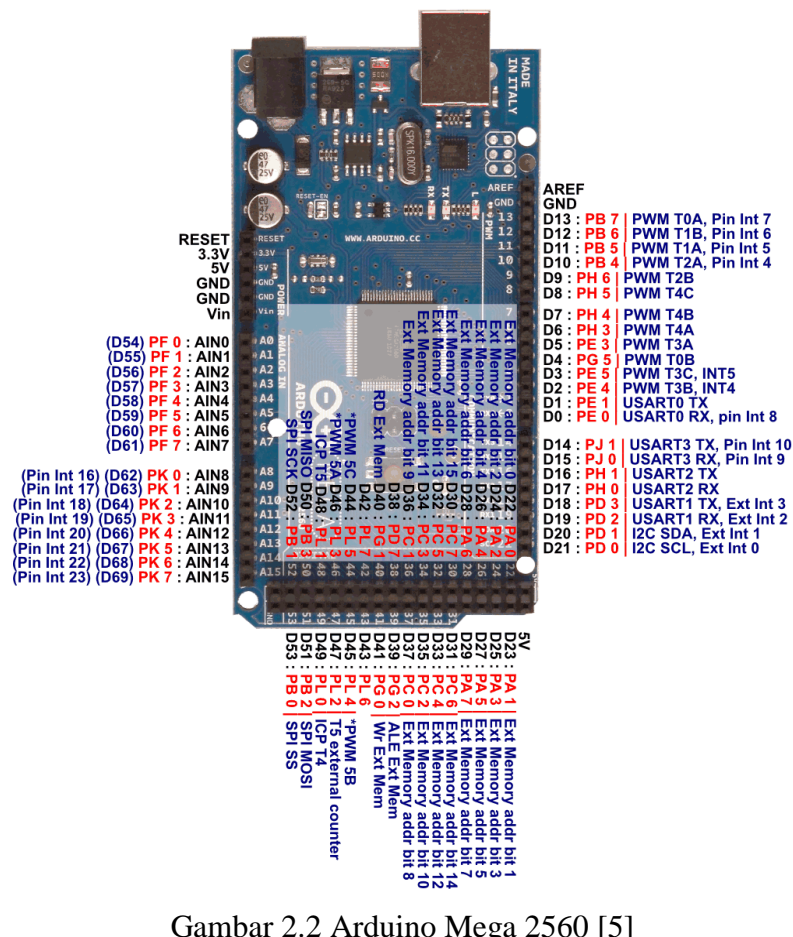
Gambar 2.1 Blok Diagram Teknologi Hibrida[15]

2.2 Arduino Mega 2560

Arduino mega 2560 adalah papan mikrokontroler sesuai dengan ATmega2560 (ATmega2560 datasheet). Ic ini memiliki 54 pin digital input / output (dan 14 pin input / output dapat digunakan hasil PWM) , 16 input analog , 4 UART (*Universal Asynchronous Receiver / Transmitter*) untuk antarmuka dengan RS232 port serial perangkat diaktifkan termasuk komputer , 16 MHz sangat osilator , sebuah koneksi USB , jack listrik , header ICSP , bersama dengan tombol sebagai *reset* [5].

Fitur ATMEGA 2560 :

- *High Performance, Low Power AVR®*
 - *8-Bit Microcontroller*
- *Advanced RISC Architecture*
- *High Endurance Non-volatile Memory segments*
 - *8K Bytes of In-System Self-programmable Flash program memory*
 - *4K Bytes EEPROM*
 - *8K Bytes Internal SRAM*
 - *Write/Erase cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM*
 - *Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C*
 - *Programming Lock for Software Security*
- *Peripheral Features*
 - *16-channel ADC*
 - *Programmable Serial USART*
 - *Master/Slave SPI Serial Interface*
 - *Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips IC compatible)*
 - *Interrupt and Wake-up on Pin Change*



Gambar 2.2 Arduino Mega 2560 [5]

2.2.2 Deskripsi Pin Atmega 2560

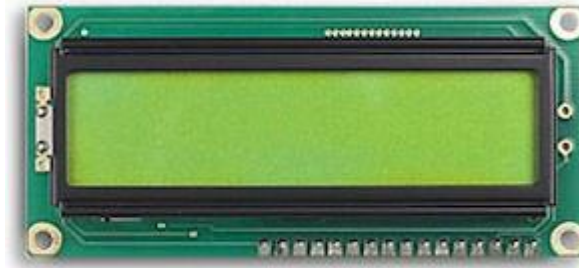
Tabel 2.1 Deskripsi Pin Atmega 2560[5]

Nomor Pin	Nama Pin	Peta Nama Pin
2	PE0 (RXD0/PCINT8)	Digital pin 0 (RX0)
3	PE1 (TXD0)	Digital pin 1 (TX0)
4	PE2 (XCK0/AIN0)	
5	PE3 (OC3A/AIN1)	Digital pin 5 (PWM)
6	PE4 (OC3B/INT4)	Digital pin 2 (PWM)
7	PE5 (OC3C/INT5)	Digital pin 3 (PWM)
24	PB5 (OC1A/PCINT5)	Digital pin 11 (PWM)
25	PB6 (OC1B/PCINT6)	Digital pin 12 (PWM)

2.3 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD terdiri dari lapisan-lapisan cairan kristal diantara 2 plat kaca. Ada beberapa jenis LCD diantaranya : *Segment LCD*, *Dot Matrix character LCD*, dan *Graphic LCD*.^[5] Dalam skripsi ini penulis menggunakan LCD karakter 16 X 2 dengan beberapa fungsi pin yaitu :

1. **Pin data** adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.
2. **Pin RS (*Register Select*)** berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika *low* menunjukkan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika high menunjukkan data.
3. **Pin R/W (*Read Write*)** berfungsi sebagai instruksi pada modul jika *low* tulis data, sedangkan high baca data.
4. **Pin E (*Enable*)** digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
5. **Pin VLCD** berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5 Kohm.



Gambar 2.3 LCD Character 16 X 2 [18]

2.3.1 Konfigurasi Pin LCD

Tabel 2.2 Konfigurasi pin LCD dan fungsinya[5]

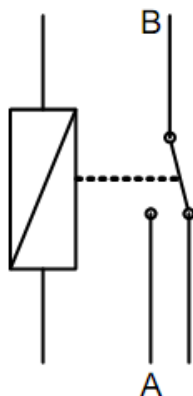
Pin No.	Symbol	Level	Description
1	Vss	0 V	Ground
2	Vdd	5 V	Supply Voltage for Logic
3	V0	VR	Operating Voltage for LCD
4	RS	H/L	H: DATA, L: Instruction Code
5	R/W	H/L	H: Read (MPU-Module) L: Write (MPU-Module)
6	E	H,H-L	Chip Enable Signal
7	DB0	H/L	Data bit 0
8	DB1	H/L	Data bit 1
9	DB2	H/L	Data bit 2
10	DB3	H/L	Data bit 3
11	DB4	H/L	Data bit 4
12	DB5	H/L	Data bit 5
13	DB6	H/L	Data bit 6
14	DB7	H/L	Data bit 7
15	A	4.2 - 4.6 V	LED +
16	K	0 V	LED -

2.4 Relay

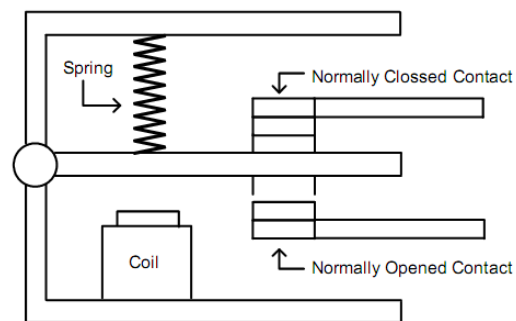
Relay adalah suatu saklar yang menghubungkan rangkaian beban *on* dan *off* dengan pemberian energi elektromagnetis, yang membuka atau menutup kontak pada rangkaian.

Pada dasarnya relay terdiri atas sebuah kumparan / koil dengan inti besi lunak, kontak relay dan lidah berpegas. Dasar kerja relay adalah jika kumparan dialiri arus maka terjadi perubahan medan magnet di sekitar kumparan, akibatnya besi lunak yang terdapat dalam inti kumparan berubah menjadi magnet dan menarik lidah berpegas sehingga kontak *Normally Open (NO)* menjadi saklar tertutup. Lidah inilah yang dijadikan sebagai salah satu kontak saklar. Jika arus dimatikan, berarti kumparan kehilangan arus maka sifat magnet pada besi lunak hilang dan lidah tertarik oleh pegas sehingga kontak *Normally Closed (NC)* tertutup. [5]

Pemasangan kumparan relay dihubungkan secara seri dengan rangkaian *driver* dan lidah kontak juga dihubungkan seri dengan beban. Hal ini akan menjaga keamanan rangkaian dari arus beban yang lebih besar daripada arus driver. [5]



a. Simbol Relay SPDT



b. Konstruksi Relay Tanpa Tegangan



Gambar 2.4 Bentuk Fisik Relay[19]

Relay mempunyai dua buah kontak yaitu *Normally Open (NO)* dan *Normally Closed (NC)*. *Normally Open* adalah kontak relay dimana kontak ini terbuka pada saat kumparan relay tidak dialiri arus, sedang *Normally Closed* adalah kontak relay yang

akan tertutup pada saat relay tidak dialiri arus dan secepatnya membuka kembali ketika kumparan diberi arus. [5] Agar lebih jelas berikut cara kerja dari sebuah relay :

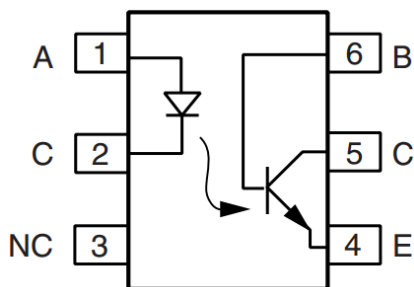
- a) Mula-mula relay dalam keadaan tanpa arus, posisi kontak dalam keadaan *Normally Closed (NO)*, karena lidah tertarik oleh gaya pegas.
- b) Arus diberikan pada koil, terjadi medan magnet dalam kumparan dengan inti besi lunak.
- c) Medan magnet yang dihasilkan dalam inti besi menarik lidah berpegas sampai terhubung dengan kontak *Normally Open*, keadaan ini mengubah kontak *Normally Closed* terbuka dan kontak *Normally Open* tertutup.
- d) Jika sumber arus dihilangkan maka medan elektromagnet pada inti besi lunak hilang dan lidah tertarik oleh gaya pegas. Lidah kontak seperti posisi semula dan posisi kontak *Normally Closed* tertutup. Bahan yang digunakan sebagai kontaktor relay bermacam-macam, disesuaikan dengan kebutuhan dan harga yang dimiliki oleh kontak tersebut.

Bahan-bahan tersebut rata-rata merupakan suatu penghantar yang baik seperti silver / perak, Perak *Cadmium Oxide*, *Palladium*, *Platina*, dan Emas. Pemilihan bahan ini tentu saja berpengaruh pada harga dan kualitas barang yang digunakan.

2.5 Optocoupler

Optocoupler adalah suatu perangkat atau komponen elektronik yang terdiri dari *transmitter* dan *receiver* yang memanfaatkan cahaya untuk menghubungkan perangkat *input* dan *output*, jadi dengan menggunakan optocoupler perangkat I/O akan terisolasi dengan cahaya. Dengan kata lain optocoupler dapat menghubungkan perangkat input dan output melalui media cahaya dengan tujuan tidak ada kontak fisik antara kedua perangkat tersebut. [5]

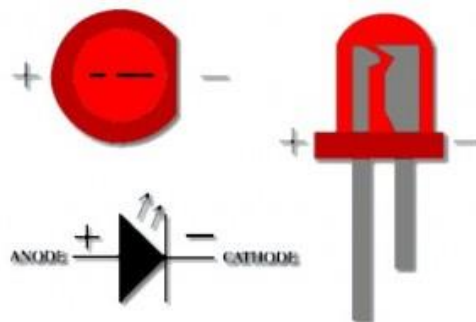
IC 4N25 merupakan *phototransistor couple* satu *channel* yang dikemas dalam *chips* IC dan didalamnya terdapat LED inframerah dan sebuah *phototransistor silicon* tipe NPN. Konfigurasi pin IC 4N25 adalah sebagai berikut.



Gambar 2.5 Konfigurasi pin IC 4N25[20]

2.6 LED (Light Emitting Diode)

Led (*Light Emitting Dioda*) adalah suatu komponen elektronika yang disebut dioda yang dapat memancarkan cahaya pada saat mendapat arus bias maju (*forwardbias*). Dan led juga bisa memancarkan cahaya, di karenakan menggunakan doping galium, arsenic dan phosporus. Dan bisa memancarkan beberapa warna dikarenakan jenis dopingannya berbeda. Led berbeda dengan dioda pada umumnya, kemampuan untuk mengalirkan arus pada LED (*Light Emitting Dioda*) cukup rendah yaitu maksimal 10mA sampa dengan 20 mA. Apabila led di aliri arus yang lebih besar 20 mA maka led tersebut akan rusak (*Terbakar*). [6]



Gambar 2.6 Simbol LED dan Polaritas Pin LED (*Light Emitting Dioda*) [6]

Rumus dasar untuk menyalakan LED (*linght emitting dioda*) :

$$R = \frac{Vs - 2 \text{ Volt}}{0,02 \text{ Ampere}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

R = resistor pembatas arus (Ohm)

Vs = tegangan sumber yang di gunakan untuk mensuplai tegangan led (Volt)

2 volt = tegangan led (Volt)

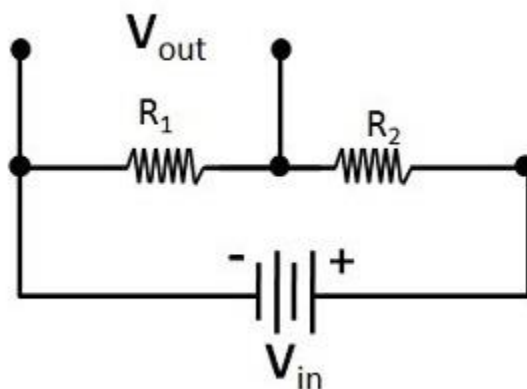
0,02 A = arus maksimal led (20 mA)

Tabel 2.3 Tegangan spesifikasi kerja led menurut warna yang di hasilkan

No	Jenis LED	Tegangan LED
1	Infra merah	1,6 Volt
2	Merah	1,8 – 2,1 Volt
3	Orange	2,2 Volt
4	Kuning	2,4 Volt
5	Hijau	2,6 Volt
6	Biru	3,0 – 3,5 Volt
7	Putih	3,0 – 3,6 Volt
8	Ultraviolet	3,5 Volt

2.7 Pembagi Tegangan

Pembagi tegangan merupakan rangkaian sederhana yang dapat mengubah tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah. Dengan hanya menggunakan dua resistor yang dipasang secara seri dan dengan sebuah *input* tegangan, kita dapat membuat tegangan output yang mana tegangan *output* ini merupakan hasil perhitungan dari tegangan *input*. [9]



Gambar 2.7 Rangkaian Pembagi Tegangan [22]

Aturan Pembagi Tegangan yaitu Tegangan Input dibagi secara proporsional sesuai dengan nilai resistansi dua resistor yang dirangkai Seri. [10]

$$V_{out} = V_{in} \times \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

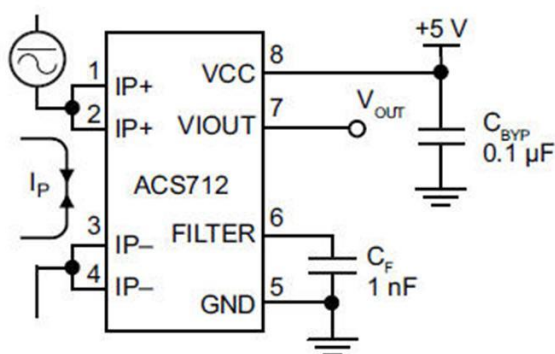
V_{out} = Nilai Tegangan keluaran (v)

V_{in} = Nilai Tegangan Masukan (v)

R = Nilai Hambatan Resistor (ohm)

2.8 Sensor Arus

ACS712 merupakan suatu IC terpaket yang mana berguna sebagai sensor arus menggantikan transformator arus yang relatif besar dalam hal ukuran. Pada prinsipnya ACS712 sama dengan sensor efek hall lainnya yaitu dengan memanfaatkan medan magnetik disekitar arus kemudian dikonversi menjadi tegangan yang linier dengan perubahan arus. Nilai variabel dari sensor ini merupakan input untuk mikrokontroler yang kemudian diolah. Keluaran dari sensor ini masih berupa sinyal tegangan AC, agar dapat diolah oleh mikrokontroler maka sinyal tegangan AC ini di searahkan oleh rangkaian penyearah. Gambar 2.8 merupakan gambar sensor arus. [8]



Gambar 2.8 Rangkaian Sensor Arus[8]

2.9 Baterai [6]

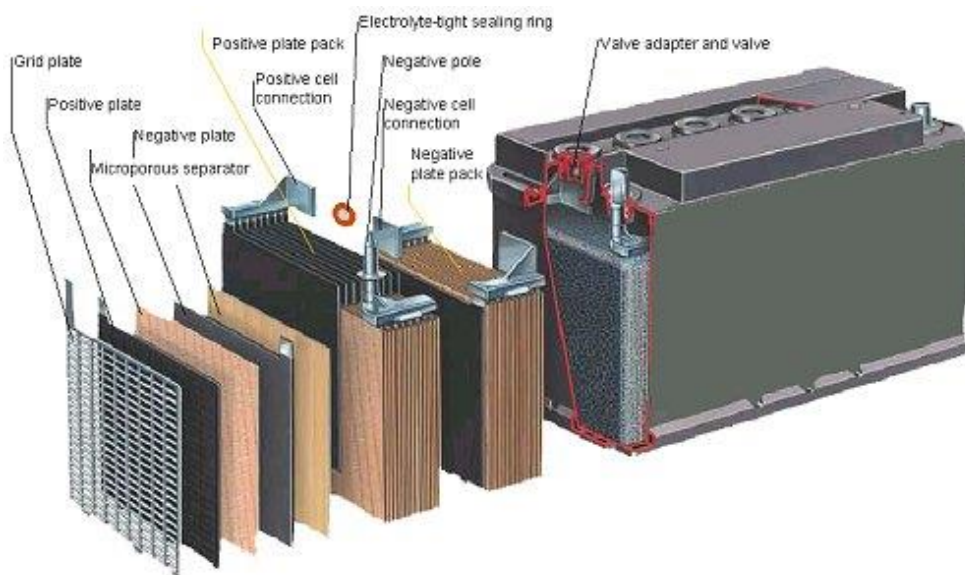
Baterai adalah sebuah perangkat yang mengandung sel listrik yang bisa menyimpan energi yang biasa dikonversi menjadi daya. Baterai bisa menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai bisa juga disebut akkumulator, akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya bisa berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat dikembalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Dan yang dimaksud dengan reaksi *reversibel* adalah dimana di dalam baterai dapat berlangsung suatu proses perubahan kimia menjadi tegangan listrik (proses pengosongan), sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*proses pengisian*) dan dilakukan dengan cara regenerasi dari elektroda- elektroda yang dipakai yaitu, dengan cara melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel.

Baterai atau akkumulator yang terdiri dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah sebuah baterai yang hanya dapat dipergunakan sekali pemakaian dan tidak dapat diisi ulang. Kejadian ini terjadi karena reaksi kimia dan material yang aktifnya tidak dapat dikembalikan. Sedangkan baterai sekunder itu bisa diisi ulang, karena material didalamnya aktif dan dapat diputar kembali. Dan kelebihan dari baterai sekunder adalah harganya lebih efisien dan penggunaannya bisa dengan waktu yang sangat panjang.

2.9.1 Jenis-Jenis Baterai

A. Baterai Asam (*Lead Acid Storage Acid*)

Baterai asam bahan elektrolitnya adalah larutan asam belerang (*Sulfuric Acid* = H_2SO_4). Di dalam baterai asam, elektroda-elektrodanya terdiri dari plat-plat timah peroksida PbO_2 (*Lead Peroxide*) sebagai anoda (kutub positif) dan timah murni Pb (*Lead Sponge*) sebagai katoda (kutub negatif). Ciri-ciri umum (tergantung pabrik pembuat) sebagai berikut : [12]



Gambar 2.9 Konstruksi Bagian-bagian Baterai Asam[23]

B. Baterai basah atau Alkali (*Alkaline Storage Battery*) [13]

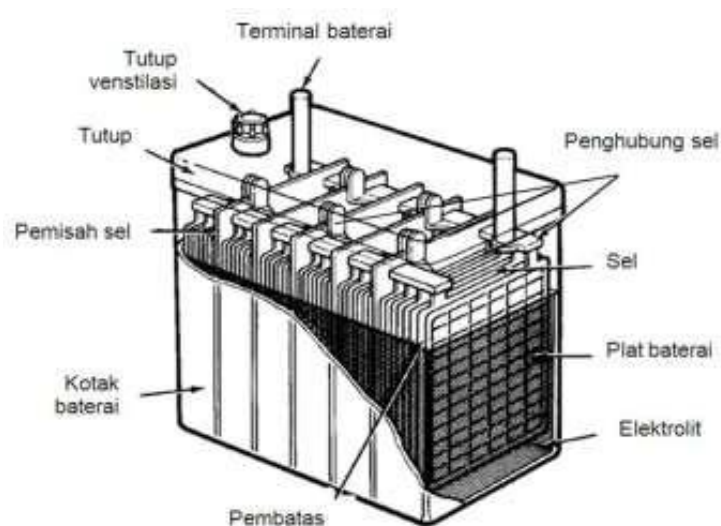
Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali (*Potassium Hydroxide*) yang terdiri dari :

- *Nickel-Iron Alkaline Battery (Ni- Fe battery)*
- *Nickel-Cadmium Alkaline Battery (Ni-Cd battery)*

Pada umumnya yang banyak dipergunakan di instalasi unit pembangkit adalah baterai *alkalicadmium* (Ni-Cd).

2.9.2 Konstruksi Baterai Aki

Aki yang sering di jual di pasaran itu ada 2 jenis yaitu aki basah dan aki kering. Aki basah bisa menyimpan arus listrik yang merupakan jenis aki yang paling umum di gunakan. Sedangkan jenis aki kering ini jenis aki yang tidak memakai cairan, dan mirip seperti baterai telpon seluler.



Gambar 2.10 Kontruksi Dan Bagian – Bagian Baterai Aki

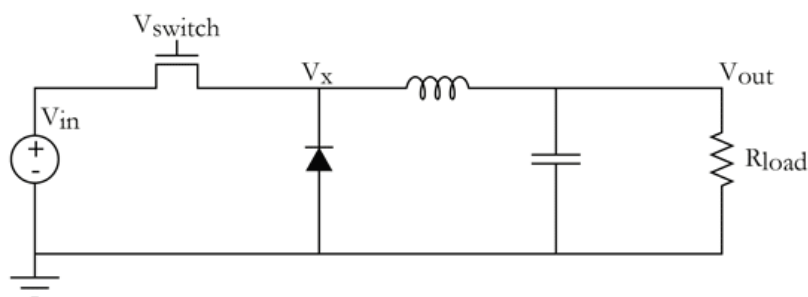
2.10 MPPT (*Maximum Power Point Tracker*)

Maximum Power Point Tracker atau sering disingkat dengan MPPT merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel surya sehingga panel surya bisa menghasilkan daya maksimum. Perlu diperhatikan, MPPT bukanlah sebuah sistem tracking mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi matahari sehingga mendapatkan energi maksimum matahari. MPPT adalah sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik daya maksimum power yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel PV.

Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya agar bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang mengalir ke beban adalah daya maksimal. Pada umumnya digunakan DC-DC converter dalam sebuah sistem MPPT untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya.

Sistem MPPT diimplementasikan ke dalam suatu alat elektronik. Hasil keluaran alat elektronik tersebut berupa *duty ratio* (D) yang selanjutnya digunakan untuk switching transistor pada konverter DC-DC. Sehingga dengan mengatur nilai D diharap dapat menemukan titik daya maksimum dari panel surya.

2.11 Buck Boost Converter



Gambar 2.11 Gambar Rangkaian Dasar *Buck Boost Converter* [24]

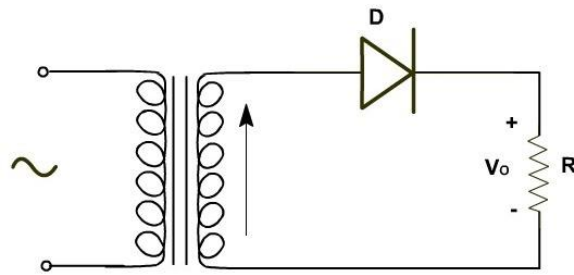
Buck Boost Converter adalah suatu rangkaian elektronika yang menggunakan topologi DC – DC konverter yang di gunakan untuk menurunkan suatu tegangan DC. Dan prinsip kerja *buck converter* adalah suatu kendali pensaklaran. Komponen – komponen utamanya pada topologi buck yaitu penyaklar, dioda *freewheel*, indikator, dan kapasitor. Dan di tunjukan pada gambar 2.11. untuk topologi *buck converter* masih dasar dengan nilai komponen yang belum di ketahui. [6]

Penyaklaran bisa berupa transistor, mosfet, atau *IGBT*. Pada saat kondisi saklar terbuka atau tertutup ditentukan oleh isyarat *PWM*. Dan saat saklar terhubung, maka indikator, kapasitor, dan beban akan terhubung dengan sumber tegangan. Pada kondisi ini di sebut dengan keadaan *ON (ON state)*. Dan saat kondisi *ON* maka dioda akan reverse bias. Sedangkan sakelat saat terbuka maka seluruh komponen tadi akan terisolasi dari sumber tegangan. Dan keadaan ini disebut dengan kondisi *OFF (OFF state)*. Pada saat kondisi *OFF* dioda menyediakan jalur untuk arus indikator. *Buck converter* bisa juga disebut dengan *down converter* karena nilai tegangan keluarannya selalu lebih kecil dari inputnya. [6]

2.12 Penyearah Tegangan

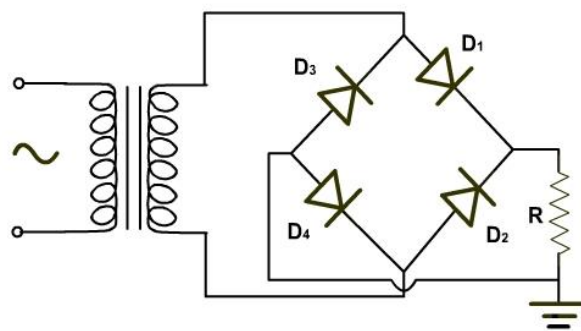
Penyearah gelombang (*rectifier*) adalah bagian dari *power supply* / catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan

DC (*Direct Current*). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfiguarsikan secara *forward bias*. [14]



Gambar 2.12 Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang (*Half Wave Rectifier*)[25]

Penyearah setengah gelombang (*half wave rectifier*) hanya menggunakan 1 buah diode sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Prinsip kerja dari penyearah setengah gelombang ini adalah mengambil sisi sinyal positif dari gelombang AC dari transformator. Pada saat transformator memberikan output sisi positif dari gelombang AC maka diode dalam keadaan *forward bias* sehingga sisi positif dari gelombang AC tersebut dilewatkan dan pada saat transformator memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC maka dioda dalam posisi *reverse bias*, sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC tersebut ditahan atau tidak dilewatkan.



Gambar 2.13 Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang (*full Wave Rectifier*) [26]

Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 diode pada gambar 2.13 dimulai pada saat output transformator atau tegangan masukan AC memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi *forward bias* dan D2, D3 pada posisi *reverse bias* sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi *forward bias* dan D1, D2 pada posisi *reverse bias* sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4.

BAB III

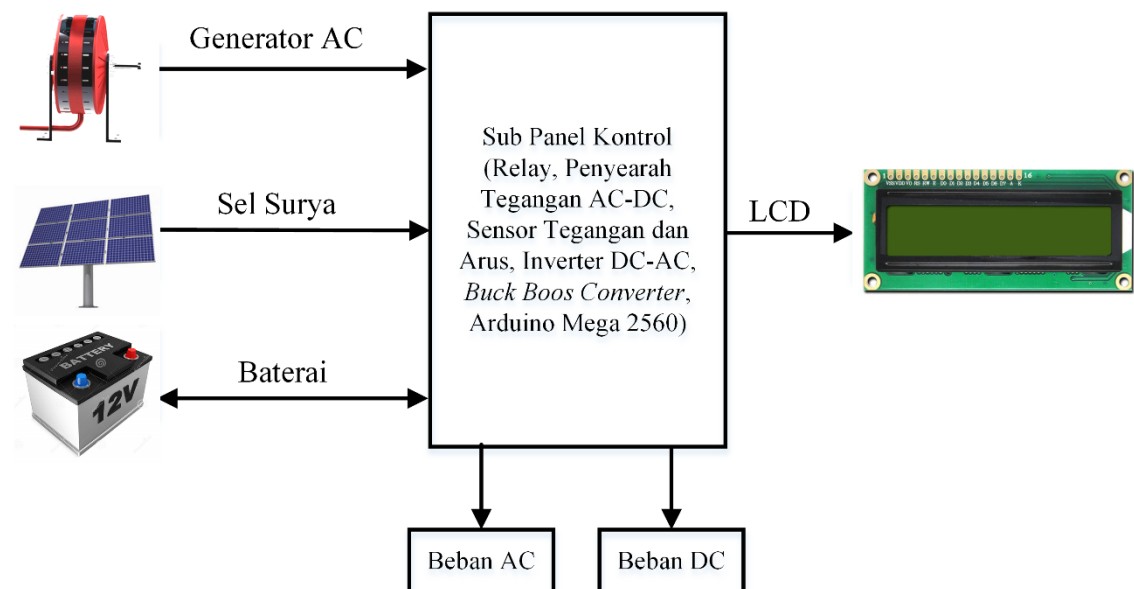
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Pendahuluan

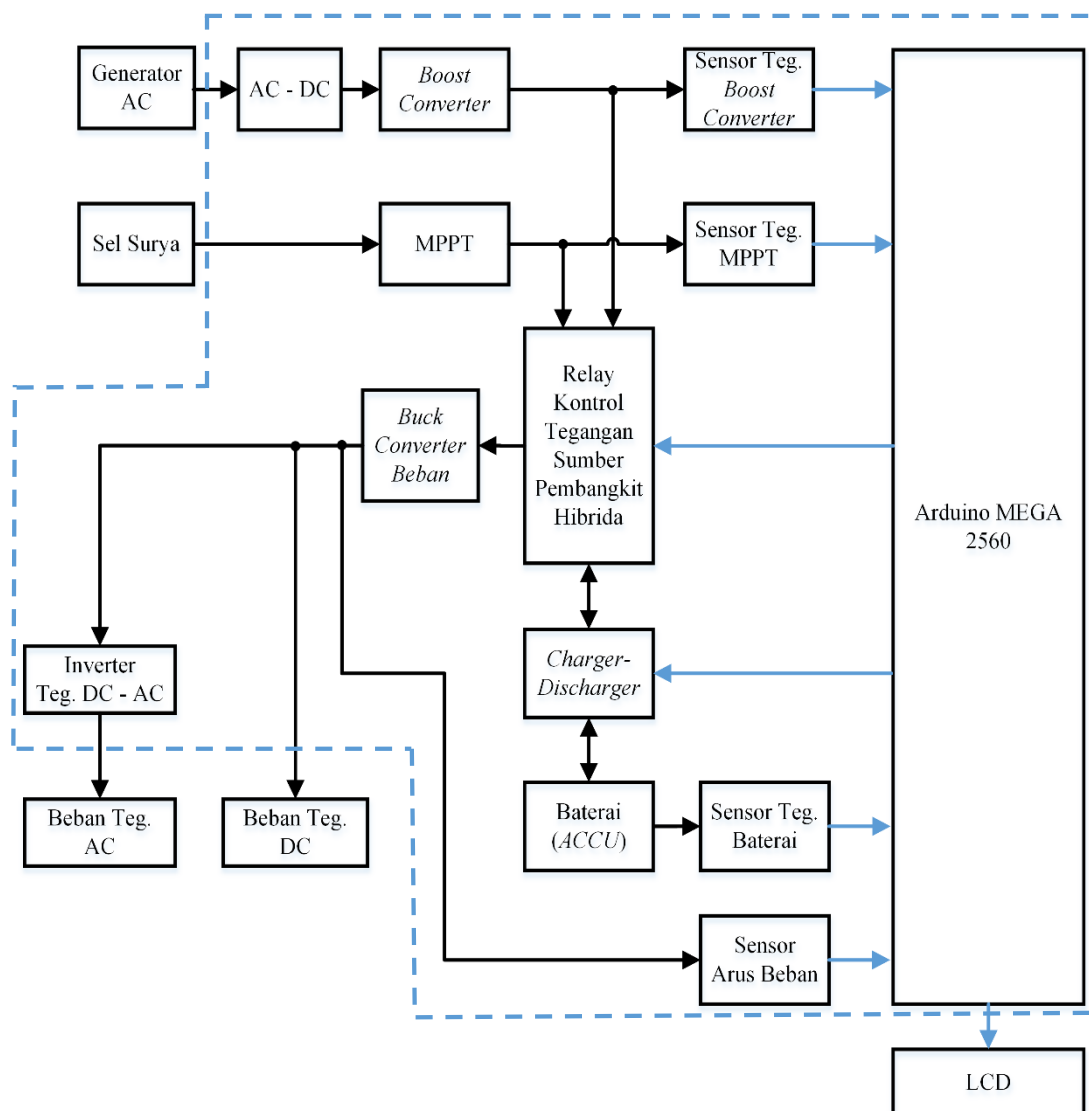
Pada bab ini akan membahas mengenai perancangan sistem, prinsip kerja sistem dan perancangan perangkat keras (*Hardware*) serta perangkat lunak (*Software*). Pada perancangan ini akan diimplementasikan konsep dan teori dasar yang telah dibahas sebelumnya, sehingga tujuan dari perencanaan dapat tercapai dengan baik. Untuk itu pembahasan difokuskan pada desain yang direncanakan pada diagram blok sistem.

3.2 Perancangan Sistem

Sistem yang akan dirancang akan dibagi menjadi dua bagian utama yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perancangan sistem *hardware* meliputi bagian *input*, *kontroller*, dan *output*. Pada bagian *input* terdiri dari rangkaian sensor tegangan dan sensor arus. Pada bagian *kontroller* menggunakan Arduino Mega 2560 yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data dari rangkaian sensor tegangan dan sensor arus. Data yang diterima Arduino akan diolah menjadi informasi hasil tegangan keluaran dari pembangkit hibrida yaitu generator AC dan sel surya yang kemudian ditampilkan ke LCD serta untuk mengontrol pensaklaran tegangan oleh perangkat relay.



Gambar 3.1 Perancangan Pembangkit Hibrida



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Keterangan :

→ : Aliran Daya

→ : Data

Penjelasan blok diagram sebagai berikut :

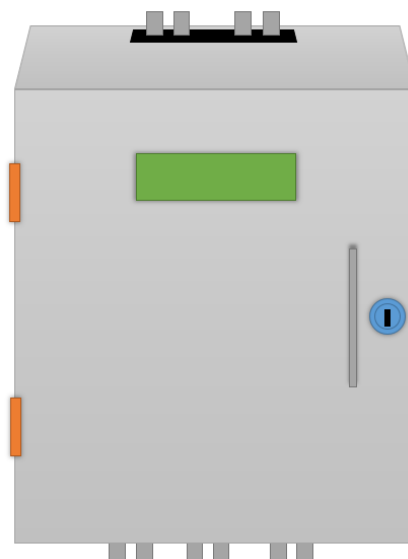
- Generator AC merupakan pembangkit listrik primer.
- Sel Surya merupakan pembangkit listrik sekunder.
- AC - DC adalah rangkaian penyearah tegangan dengan menggunakan dioda untuk mengubah sinyal tegangan bolak-balik AC (*Alternating Current*) menjadi sinyal tegangan searah DC (*Direct Current*).
- Boost Converter* yaitu suatu perangkat eletronik untuk menaikkan tegangan dari generator AC.

- e) MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) adalah sebuah sistem elektronik yang dapat menelusuri titik daya maksimum power yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel sel surya.
- f) Mikrokontroler Arduino Atmega 2560, yaitu bagian pengolahan hasil nilai yang dibaca oleh sensor. Kontroller pada perancangan sistem ini menggunakan *board Arduino Mega 2560*. Dan bertugas memproses setiap nilai pembacaan dari input yang kemudian akan ditampilkan ke LCD. Kontroller disini juga digunakan untuk mengendalikan driver relay.
- g) LCD 16x2 berfungsi untuk menampilkan data seperti nilai nilai arus beban, tegangan keluaran generator AC dan sel surya serta nilai tegangan baterai.
- h) Relay tegangan sumber pembangkit hibrida adalah relay yang berfungsi mengontrol sumber yang akan didistribusikan ke beban.
- i) Sensor tegangan *Boost Converter* adalah rangkaian pembagi tegangan untuk mengirimkan data berupa besar kecilnya tegangan keluaran dari pembangkit listrik generator AC ke arduino yang selanjutnya diolah untuk ditampilkan pada LCD 16x2.
- j) Sensor tegangan MPPT adalah rangkaian pembagi tegangan untuk mengirimkan data berupa besar kecil nya tegangan keluaran dari pembangkit listrik sel surya ke arduino yang selanjutnya diolah untuk ditampilkan pada LCD 16x2.
- k) Sensor tegangan baterai adalah rangkaian pembagi tegangan untuk mengirimkan data berupa besar kecil nya tegangan keluaran dari aki ke arduino yang selanjutnya diolah untuk mengendalikan relay pengisian daya pada baterai.
- l) Sensor arus beban sebuah merupakan perangkat untuk mengetahui nilai arus yang mengalir ke beban.
- m) Baterai yaitu berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik cadangan ketika kedua sumber pembangkit tidak mampu mensuplai daya ke beban.
- n) *Charger-Discharger* adalah sebuah rangkaian relay pemutus dan penyambung aliran listrik untuk proses pengisian baterai aki.
- o) Inverter Tegangan DC ke AC merupakan sebuah perangkat elektronik yang mengkonversikan sinyal tegangan DC menjadi AC serta menaikkan tegangan keluaran yang berasal dari baterai aki 12V DC menjadi 220V AC yang difungsikan sebagai beban AC.
- p) Beban tegangan AC dan DC merupakan pembebanan berupa peralatan listrik seperti contohnya lampu penerangan.

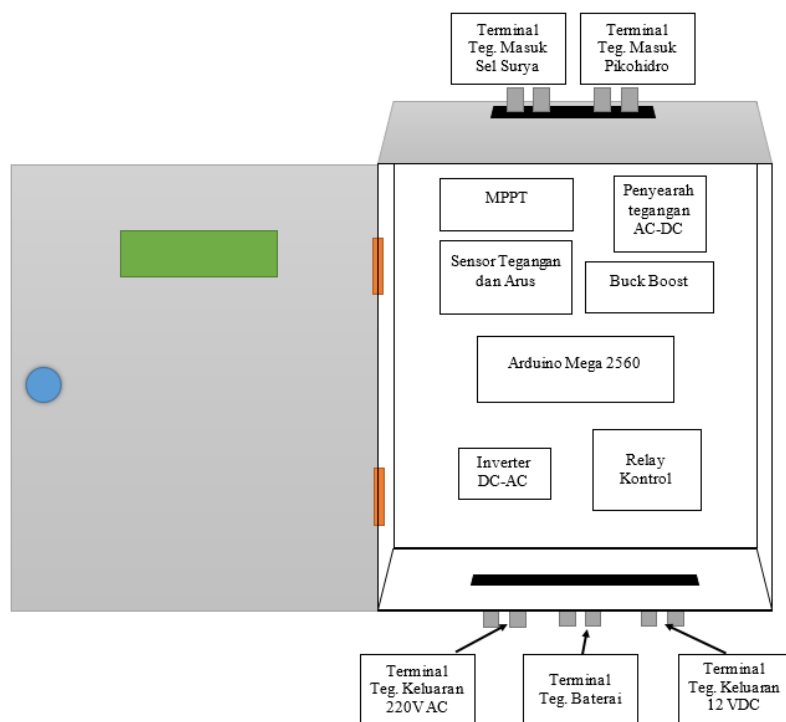
3.2.1 Prinsip Kerja

Prinsip kerja sistem kontrol pembangkit listrik hibrida generator AC - sel surya dan pengisian baterai skala kecil dengan menggunakan Arduino Mega 2560 adalah pada saat tegangan hasil keluaran generator AC dan sel surya masuk ke sistem lalu di stabilkan oleh *Buck Boost Converter* dan MPPT menjadi 12 VDC sebagai beban DC dan 13,5 VDC sebagai pengisian baterai yang selanjutnya sensor tegangan generator AC dan sel surya mengirim nilai tegangan ke arduino untuk ditampilkan ke LCD dan untuk mengendalikan driver relay pengisian daya baterai secara otomatis serta mengendalikan relay pembangkit hibrida untuk memilih sumber suplay daya beban yaitu jika sumber tidak mampu menyuplay beban dengan batasan tegangan kurang dari 11V maka relay hibrida akan aktif dan suplay tegangan sumber untuk beban menggunakan sumber daya dari baterai, jika tegangan dari pembangkit lebih dari 11V maka menggunakan supply beban dari pembangkit hibrida . Baterai aki akan berfungsi mensuplay beban jika tegangan kedua sumber kurang dari batas nominal yang ditentukan pada program arduino yaitu 11V. Seluruh nilai yang ada dalam sistem yaitu sensor tegangan Buck Boost yaitu generator AC, sensor MPPT yaitu sel surya, sensor tegangan dan arus baterai aki akan ditampilkan pada LCD 16x2.

3.3 Perancangan Mekanik



Gambar 3.3 Perancangan Sistem Mekanik Box Panel Kontrol Tampak Luar



Gambar 3.4 Perancangan Penempatan Komponen Perangkat Keras Pada Box Panel Kontrol Tampak Dalam

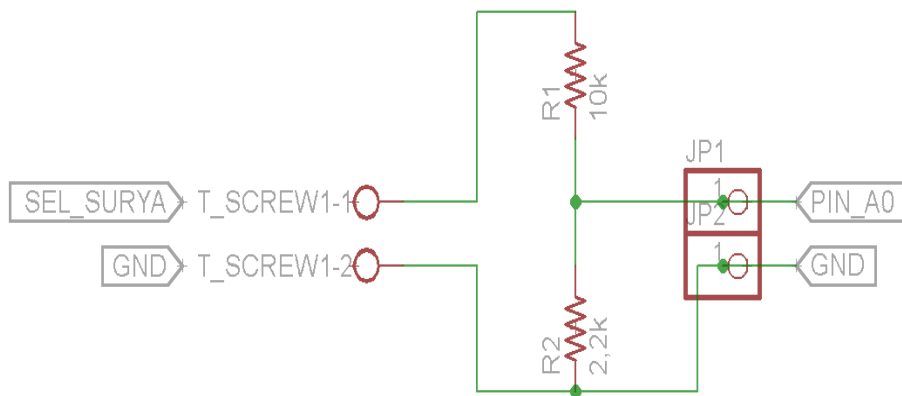
3.3.1 Pemilihan Bahan

Dalam pemilihan bahan yang digunakan untuk box panel kontrol yaitu menggunakan akrilik transparan dengan dilengkapi baut dan mur.

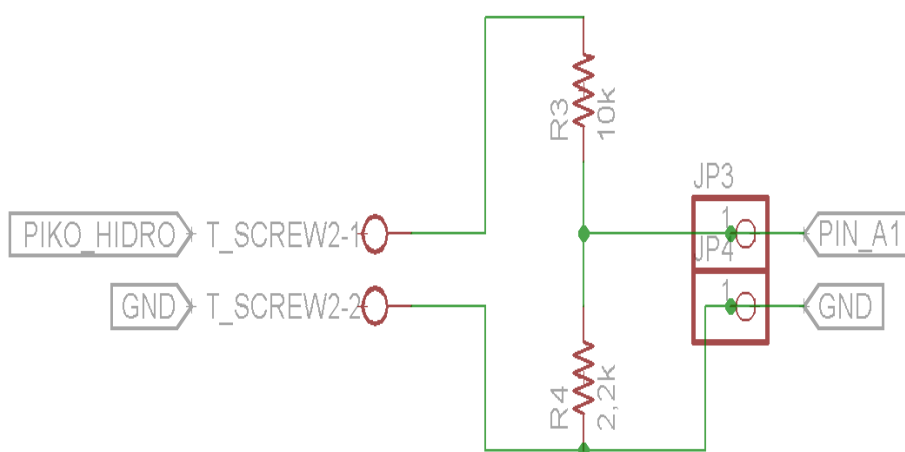
3.4 Perancangan Perangkat Keras

3.4.1 Perancangan Sensor Tegangan

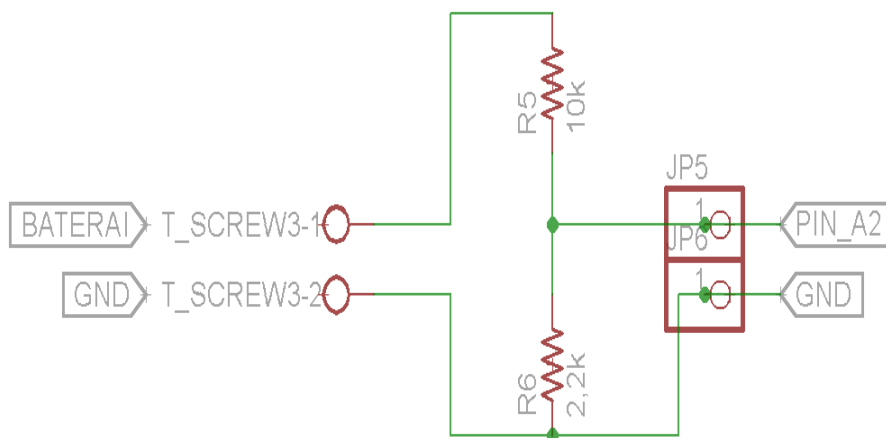
Perancangan sensor tegangan ini berguna untuk mengetahui keluaran dari tegangan *Buck Boost* dan MPPT, dan baterai aki. Sensor tegangan terdiri dari pin input dan pin output. *Buck Boost* dan MPPT mengalirkan tegangan dan diterima oleh sensor tegangan dan pada saat itu sensor tegangan akan berfungsi untuk membaca tegangan yang keluar dari *Buck Boost* dan MPPT lalu sensor tegangan tersebut mengirim data ke arduino untuk diproses menjadi tampilan angka pada LCD 16x2.



Gambar 3.5 Rangkaian Sensor Tegangan Pada MPPT Sel Surya



Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Tegangan Pada *Buck Boost* Generator AC



Gambar 3.7 Rangkaian Sensor Tegangan Pada Baterai Aki

Sensor teganga ada tiga titik pada pin Arduino Mega 2560 yaitu :

- 1) Pin pada arduino A0
- 2) Pin pada arduino A1
- 3) Pin pada arduino A2

Sesuai pada gambar 3.5,3.6, dan 3.7 pin data yang di hubungkan pada pin A0, pin A1,dan pin A2 sehingga arduino bisa membaca tegangan yang keluar dari ketiga sensor tegangan.

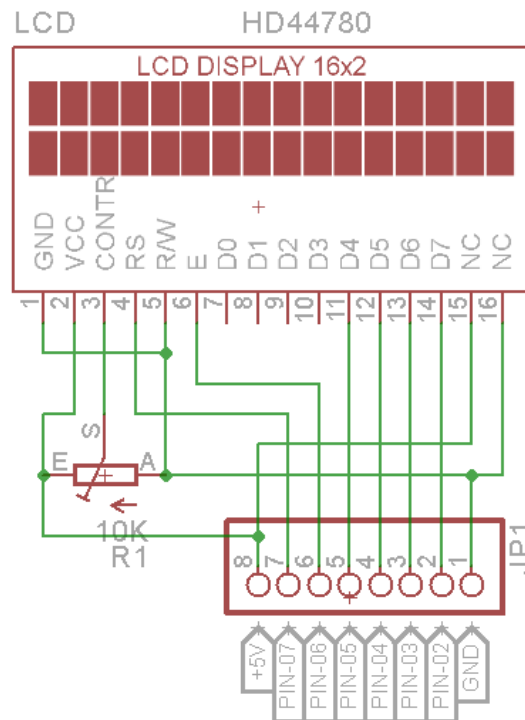
3.4.2 Perancangan LCD 2x16

Perancangan sisitem ini menggunakan LCD karakter berdemensi 2x16 dan memiliki tampilan 2 baris dan 16 karakter setiap barisnnya. Fungsi masing – masing pada pin LCD sebagai berikut.

Tabel 3.1 Fungsi pin setiap sinyal pada LCD

Nama sinyal	Fungsi
DB0-DB7	Merupakan saluran data, berisi perintah dan data yang akan ditampilkan di LCD
Enable	Sinyal operasi awal yang berfungsi untuk mengaktifkan data R/W
R/W	Sinyal seleksi <i>Read</i> atau <i>Write</i> 0 : <i>Write</i> 1: <i>Read</i>
RS	Sinyal pemilih register 0 : instruksi register (<i>write</i>) 1 : data register (<i>read</i> dan <i>write</i>)

Cara memprogram LCD 2x16 sesuai pada tabel diatas dengan diatur oleh 3 sinyal yaitu R/W, RS, Enable serta 8 buah seluruh data DB0 – DB7. Dan perancangan sistem LCD difungsikan sebagai komunikasi 4bit data, maka seluruh data yang di pakai DB4 – DB7. Dan memakai VR 10k ohm digunakan untuk mengatur kontras LCD dan Resistor 220 ohm berfungsi membatasi cahaya *bocklight*.



Gambar 3.8 Skema Rangkaian Modul 2x16

3.4.3 Perancangan Pin Data Pada Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan sebuah kontrol terprogram yang memiliki banyak pin *output* maupun pin *input*. Dalam fungsi masing-masing pin tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda sesuai dengan program yang terupload ke dalam memori Arduino Mega 2560. Dalam perancangan alat sistem kontrol ini maka konfigurasi perencanaan pin pada arduino adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Perancangan Konfigurasi Pin Pada Arduino Mega 2560

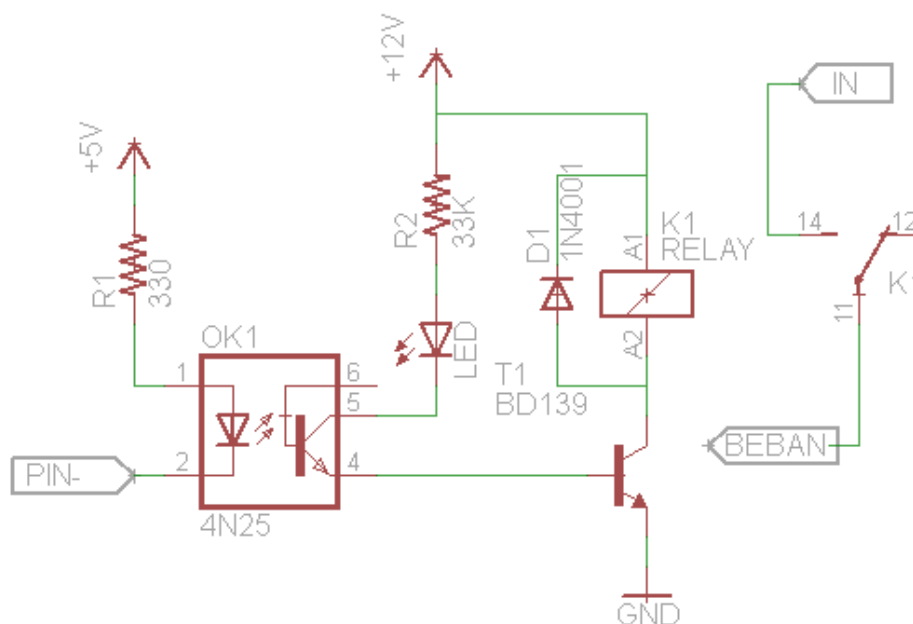
Pin pada Arduino Mega 2560	Keterangan perangkat
A0	Sensor Tegangan Pada MPPT Sel Surya
A1	Sensor Tegangan Pada <i>Buck Boost</i> Generator AC
A2	Sensor Tegangan Pada Baterai Aki
A3	Modul Sensor Arus ACS721
2	D7 (Pin LCD)
3	D6 (Pin LCD)

4	D5 (Pin LCD)
5	D4 (Pin LCD)
6	PIN_E (Pin LCD)
7	PIN_RS (Pin LCD)
24	Driver Relay Pembangkit Hibrida
25	Driver Relay Pengisian Baterai Aki

3.4.4 Perancangan Driver Relay

Driver relay adalah rangkaian yang digunakan untuk mengendalikan pengoperasian relay. Dalam rangkaian driver relay ini menggunakan optocoupler tipe 4n25.

Pada driver relay ini digunakan optocoupler karena lebih bagus kinerjanya daripada dengan menggunakan transistor saja. Hal ini dikarenakan bagian penerima dicouple dengan cahaya sehingga apabila terjadi lonjakan atau loncatan tegangan pada beban tidak akan masuk kebagian pengolah data. Adapun rangkaian dari driver relay adalah sebagai berikut :

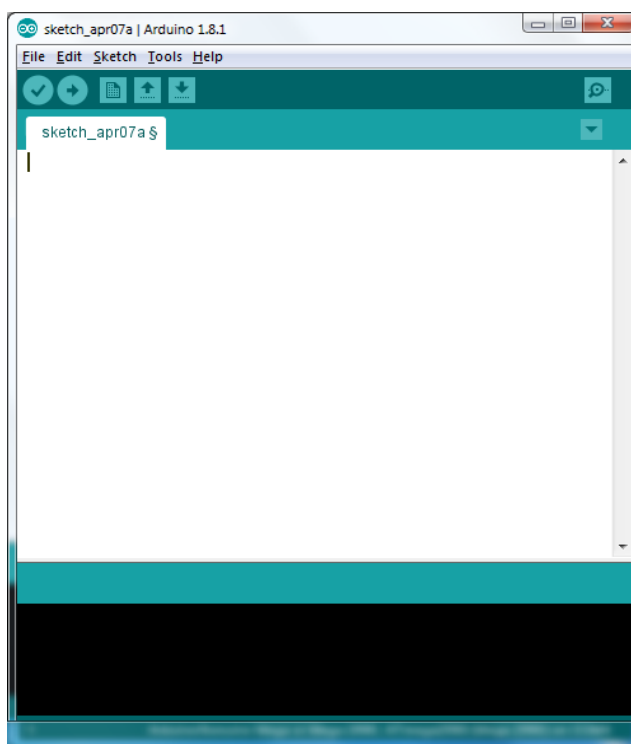


Gambar 3.9 Skematik Rangkaian Driver Relay

3.5 Perancangan Perangkat Lunak

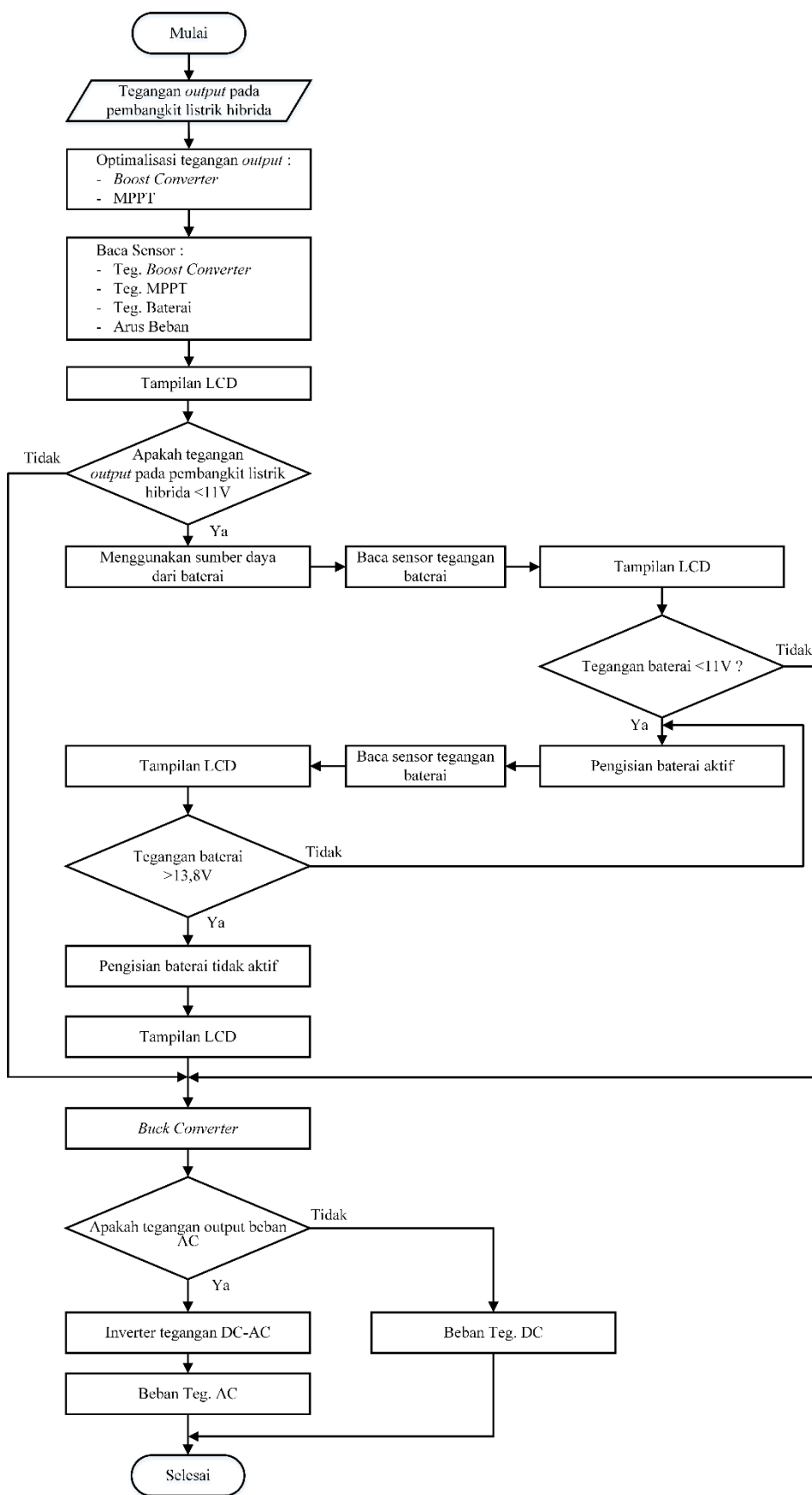
Perancangan Perangkat lunak (*software*) terdiri dari program pembacaan Sesnor Tegangan MPPT, Tegangan Generator AC, Arus Beban dan LCD 2x16 karakter. Perancangan *software* menggunakan Program IDE Arduino yaitu merupakan *software compiler* bawaan dari Arduino.

Di dalam aplikasi arduino terdapat beberapa sumber library program yang dapat difungsikan sebagai auan pemrograman pada suatu perangkat elektronik atau perangkat kontrol, sehingga hal tersebut dapat mempercepat pemrograman.



Gambar 3.10 Tampilan Awal *Software* IDE Arduino

3.6 Flowchart Sistem



Gambar 3.11 Flowchart Keseluruhan Sistem

BAB IV

PENGUJIAN DAN DATA HASIL

4.1 Pendahuluan

Pada bab ini membahas tentang pengujian serta pembahasan hasil perancangan dari sistem yang telah dirancang sebelumnya agar dapat diketahui bagaimana kinerja dari keseluruhan sistem maupun kinerja masing – masing bagian. Dari hasil pengujian tersebut akan dijadikan dasar untuk menentukan kesimpulan serta point – point kekurangan yang harus segera diperbaiki agar kinerja keseluruhan sistem dapat sesuai dengan perencanaan dan perancangan yang telah dibuat.

Setelah perancangan dan pembuatan alat telah selesai maka selanjutnya akan diuji terlebih dahulu masing – masing blok rangkaian. Setelah semua blok dari sistem telah diuji dan bekerja dengan baik maka selanjutnya dilakukan pengujian alat secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan meliputi :

1. Pengujian *output* arduino mega 2560
2. Pengujian LCD 16x2 karakter
3. Pengujian driver relay
4. Pengujian relay sumber hibrida
5. Pengujian relay pengisian baterai
6. Pengujian tegangan *output* generator AC menggunakan kontrol hibrida tanpa beban
7. Pengujian tegangan *output* panel sel surya 100 WP (*Watt Peak*) menggunakan kontrol hibrida tanpa beban
8. Pengujian kontrol dengan pembangkit listrik hibrida panel sel surya 100 WP dan generator AC menggunakan beban lampu 5 Watt 12 VDC dan lampu 3 Watt 220 VAC
9. Pengujian pengisian baterai dengan pembangkit listrik hibrida panel sel surya 100 WP dan generator AC
10. Pengujian lama pemakaian baterai dengan beban lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt

4.2 Pengujian *Output* Arduino Mega 2560

Tujuan pengujian pada pin *output* Arduino Mega 2560 adalah agar perangkat lunak yang akan ditanamkan pada mikrokontroler dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian terutama dilakukan untuk menguji berapa besar tegangan yang dikeluarkan oleh pin *output* digital Arduino.

4.2.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Multimeter Digital
2. Catu Daya 5 VDC
3. Arduino Mega 2560
4. *Software* IDE Arduino

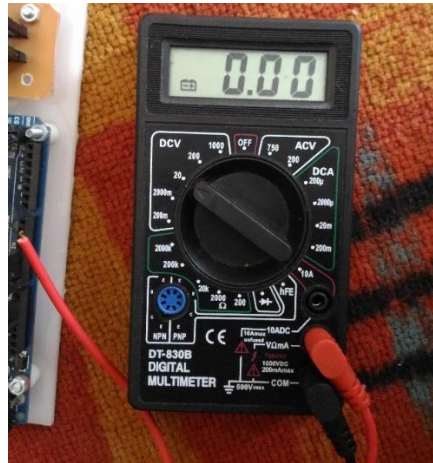
4.2.2 Langkah – Langkah Yang Dilakukan

1. Menghubungkan Arduino Mega 2560 dengan catu daya 5 Volt DC
2. Memprogram Arduino Mega 2560 untuk mengeluarkan logika 0 dan logika 1 pada masing-masing pin.
3. Hubungkan *probe* positif dari multimeter digital ke masing-masing pin mikrokontroler dan *probe* negatif ke pin ground
4. Mengukur tegangan dari masing-masing pin Arduino Mega 2560
5. Mencatat hasil pengamatan yang telah dilakukan.

4.2.3 Hasil Pengujian *Output* Tegangan Pin Digital Arduino Mega 2560



Gambar 4.1 Hasil Pengujian *Output* Tegangan Pin Digital Arduino Mega 2560 pada Keadaan Logika *High*



Gambar 4.2 Hasil Pengujian *Output* Tegangan Pin Digital Arduino Mega 2560 pada Keadaan Logika *Low*

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tegangan *Output* Arduino Mega 2560

Pin	Logika <i>High</i>		Logika <i>Low</i>	
	Logic Output (bit)	Tegangan <i>Output</i> (volt)	Logic Output (bit)	Tegangan <i>Output</i> (volt)
A0	1	4.88	0	0.00
A1	1	4.88	0	0.00
A2	1	4.88	0	0.00
A3	1	4.88	0	0.00
2	1	4.88	0	0.00
3	1	4.88	0	0.00
4	1	4.88	0	0.00
5	1	4.88	0	0.00
6	1	4.88	0	0.00
7	1	4.88	0	0.00
24	1	4.88	0	0.00
25	1	4.88	0	0.00

4.2.4 Analisa Pengujian *Output* Arduino Mega 2560

Pin *Output* Arduino Mega 2560 pada saat diberikan logika *High* dapat mengeluarkan logika 1 dengan tegangan *output* 4.88 V sedangkan ketika diberikan logika

Low maka nilai tegangan *output* 0 V. Maka dari kondisi ini dapat disimpulkan *output* Arduino baik.

4.3 Pengujian LCD 16X2 Karakter

Pada pengujian LCD ini berfungsi untuk mengetahui apakah LCD dapat menampilkan data karakter sesuai dengan perintah program yang diberikan.

4.3.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Arduino Mega 2560
2. Catu daya 5 VDC
3. Kabel konektor
4. LCD 16X2
5. *Software* Arduino

4.3.2 Langkah – Langkah Pengujian LCD 16X2 Karakter

1. Menghubungkan pin LCD ke Pin 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 pada Arduino Mega 2560
2. Menghubungkan Pin Vcc dan Gnd dengan catu daya 5 volt
3. Memprogram tampilan LCD baris pertama diisi dengan karakter “CHRISTIAN.CK”, baris kedua diisi dengan karakter “NIM : 13.12.040”
4. Memperhatikan tampilan LCD

4.3.3 Hasil Pengujian LCD 16X2 Karakter



Gambar 4.3 Hasil Pengujian Modul LCD 16X2

4.3.4 Analisa Pengujian LCD 16X2 Karakter

Pada gambar 4.6 terlihat tampilan LCD sesuai dengan hasil pemrograman, pada pengujian ini LCD yang digunakan adalah 16X2 dimana terdiri dari 2 baris dan hanya dibatasi hingga 16 karakter setiap barisnya.

4.4 Pengujian Driver Relay

Pengujian driver relay yaitu untuk mengetahui apakah driver relay dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perintah dari Arduino Mega 2560 dan untuk mengetahui kerja dari relay yang digunakan sebagai pengontrol ada tidaknya aliran listrik ke beban.

4.4.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Arduino Mega 2560
2. Rangkaian driver relay
3. Catu daya 5 VDC
4. Catu daya 12 VDC
5. Kabel konektor
6. Multimeter Digital
7. *Software* Arduino

4.4.2 Langkah – Langkah Pengujian Driver Relay

1. Menghubungkan Pin driver relay dengan pin 13 Arduino Mega 2560
2. Menghubungkan Pin Vcc dan Gnd dengan catu daya 5 volt
3. Menghubungkan rangkaian driver relay dengan catu daya 12 volt
4. Memprogram Arduino Mega 2560 dengan memberikan logika 0 dan logika 1 untuk menguji rangkaian driver relay
5. Mencatat hasil pengujian yang dilakukan

4.4.3 Hasil Pengujian Driver Relay

Tabel 4.2 Data Pengamatan Pengujian Driver Relay

Logika Pin 13 Arduino	Tegangan Pin 13 Arduino (Volt)	Status Relay
0	0.00	<i>off</i>
1	4.88	<i>on</i>

4.4.4 Analisa Pengujian Driver Relay

Pada tabel 4.2 terlihat pada saat logika Pin 13 ‘0’ maka relay tidak aktif dan jika Arduino berlogika ‘1’ maka relay aktif.

4.5 Pengujian Relay Sumber Hibrida

Pengujian driver relay yaitu untuk mengetahui apakah driver relay dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perintah dari Arduino Mega 2560 dengan kondisi sumber tegangan hibrida kurang dari 11V (tegangan yang telah ditentukan dalam program Arduino Mega 2560) maka relay harus aktif untuk mengalirkan listrik dari baterai ke beban. Dan ketika relay sumber tidak aktif maka mengalirkan sumber dengan beban.

4.5.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Arduino Mega 2560
2. Rangkaian driver relay (terhubung dengan sistem kontrol)
3. Catu daya 5 VDC
4. Catu daya 12 VDC
5. Kabel konektor
6. Multimeter Digital
7. *Software* Arduino

4.5.2 Langkah – Langkah Pengujian Relay Sumber Hibrida

1. Menghubungkan Pin driver relay dengan pin 24 Arduino Mega 2560
2. Menghubungkan Pin Vcc dan Gnd dengan catu daya 5 volt
3. Menghubungkan rangkaian driver relay dengan catu daya 12 volt
4. Memprogram Arduino Mega 2560 dengan memberikan logika 0 dan logika 1 untuk menguji rangkaian driver relay
5. Mencatat hasil pengujian yang dilakukan

4.5.3 Hasil Pengujian Relay Sumber Hibrida

Tabel 4.3 Data Pengamatan Pengujian Relay Sumber Hibrida

Keterangan Program	Logika Pin 24 Arduino	Tegangan Pin 24 Arduino (Volt)	Status Relay	Keterangan Pensaklaran Relay
Sumber Pembangkit hibrida >11V	0	0.0	<i>off</i>	Relay menghubungkan beban dengan sumber hibrida
Sumber Pembangkit hibrida <11V	1	4.88	<i>on</i>	Relay menghubungkan beban dengan sumber baterai

4.5.4 Analisa Pengujian Relay Sumber Hibrida

Pada tabel 4. terlihat pada saat program membaca data sensor tegangan pembangkit dengan nilai tegangan >11V maka logika Pin 24 adalah '0' relay tidak aktif sehingga relay menghubungkan beban dengan sumber hibrida. Pada saat program membaca data sensor tegangan pembangkit dengan nilai tegangan <11V maka logika Pin 24 adalah '1' relay aktif sehingga relay menghubungkan beban dengan sumber baterai.

4.6 Pengujian Relay Pengisian Baterai

Pengujian driver relay yaitu untuk mengetahui apakah driver relay dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perintah dari Arduino Mega 2560 dengan kondisi sumber tegangan baterau kurang dari 11V (tegangan yang telah ditentukan dalam program Arduino Mega 2560) maka relay harus aktif untuk mengalirkan listrik dari sumber pembangkit hibrida ke baterai.

4.6.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Arduino Mega 2560
2. Rangkaian driver relay (terhubung dengan sistem kontrol)
3. Catu daya 5 VDC
4. Catu daya 12 VDC
5. Kabel konektor

6. Multimeter Digital
7. *Software* Arduino

4.6.2 Langkah – Langkah Pengujian Relay Pengisian Baterai

1. Menghubungkan Pin driver relay dengan pin 25 Arduino Mega 2560
2. Menghubungkan Pin *Vcc* dan *Gnd* dengan catu daya 5 Volt
3. Menghubungkan rangkaian driver relay dengan catu daya 12 Volt
4. Memprogram Arduino Mega 2560 dengan memberikan logika 0 dan logika 1 untuk menguji rangkaian driver relay
5. Mencatat hasil pengujian yang dilakukan

4.6.3 Hasil Pengujian Relay Pengisian Baterai

Tabel 4.4 Data Pengamatan Pengujian Relay Pengisian Baterai

Keterangan Program	Logika Pin 25 Arduino	Tegangan Pin 25 Arduino (Volt)	Status Relay	Keterangan Pensaklaran Relay
Tegangan Baterai >13,8V	0	0.00	<i>off</i>	Relay memutus sumber pembangkit hibrida ke baterai (<i>discharging</i>)
Tegangan Baterai <11V	1	4.88	<i>on</i>	Relay menghubungkan sumber pembangkit hibrida ke baterai (<i>charging</i>)

4.6.4 Analisa Pengujian Relay Pengisian Baterai

Pada tabel 4.4 terlihat pada saat program membaca data sensor tegangan baterai dengan nilai tegangan >13,8V maka logika Pin 25 adalah '0' relay tidak aktif sehingga relay memutus sumber pembangkit hibrida ke baterai (*discharging*). Pada saat program membaca data sensor tegangan baterai dengan nilai tegangan <11V maka logika Pin 25 adalah '1' relay aktif sehingga relay menghubungkan sumber pembangkit hibrida ke baterai (*charging*).

4.7 Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

Pada pengujian generator AC dengan menggunakan kontrol hibrida tanpa beban dilakukan untuk mengetahui hasil tegangan keluaran yang dihasilkan oleh putaran generator AC dengan putaran RPM (*Rotation Per Minute*) yang berbeda beda dengan harapan setelah menggunakan kontrol hibrida dapat menghasilkan tegangan keluaran yang konstan yaitu 12 VDC sebagai beban penerangan lampu AC dan DC, 13,5 VDC sebagai pengisian baterai.

4.7.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Generator AC
2. Motor Pemutar Generator
3. Kontrol hibrida
4. Kabel konektor
5. Multimeter digital

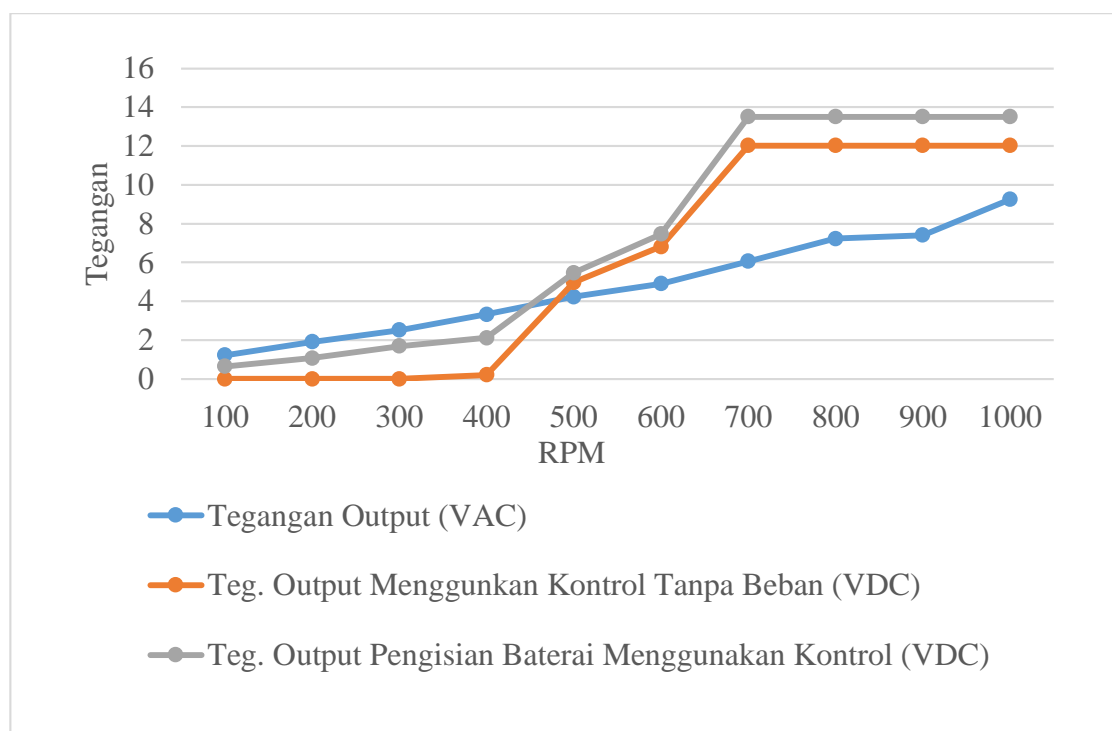
4.7.2 Langkah – Langkah Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

1. Mengkopel generator dengan motor
2. Menghubungkan kabel *output* generator ke input kontrol hibrida
3. Mengatur kecepatan putaran motor dari 100 RPM hingga 1000 RPM
4. Mengukur tegangan keluaran kontrol hibrida menggunakan multimeter digital
5. Mencatat hasil pengujian yang dilakukan

4.7.3 Hasil Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

No	Kec. Putar (RPM)	Teg. Output Murni (VAC)	Teg. Output Menggunakan Kontrol Tanpa Beban (VDC)	Teg. Output Pengisian Baterai Menggunakan Kontrol (VDC)
1	100	1,22	0	0,65
2	200	1,91	0	1,07
3	300	2,52	0	1,69
4	400	3,32	0,21	2,11
5	500	4,23	4,97	5,47
6	600	4,91	6,82	7,46
7	700	6,06	12,02	13,51
8	800	7,23	12,02	13,51
9	900	7,41	12,02	13,51
10	1000	9,25	12,02	13,51



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Generator AC Tanpa Beban Menggunakan Kontrol Hibrida

4.7.4 Analisa Pengujian Tegangan Generator AC Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

Pada tabel 4.5, tegangan keluaran yang dihasilkan setelah menggunakan kontrol hibrida dapat mulai konstan 12 VDC untuk beban dan 13,5 VDC untuk pengisian baterai yaitu pada putaran generator mencapai 700 RPM.

4.8 Pengujian Tegangan *Output* Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

Pada pengujian tegangan *output* panel sel surya 100 WP menggunakan kontrol hibrida tanpa beban dimulai pada jam 08.00 sampai dengan jam 16.00. Dengan harapan setelah menggunakan kontrol hibrida dapat menghasilkan tegangan keluaran yang konstan yaitu 12 VDC sebagai beban penerangan lampu AC dan DC, 13,5 VDC sebagai pengisian baterai.

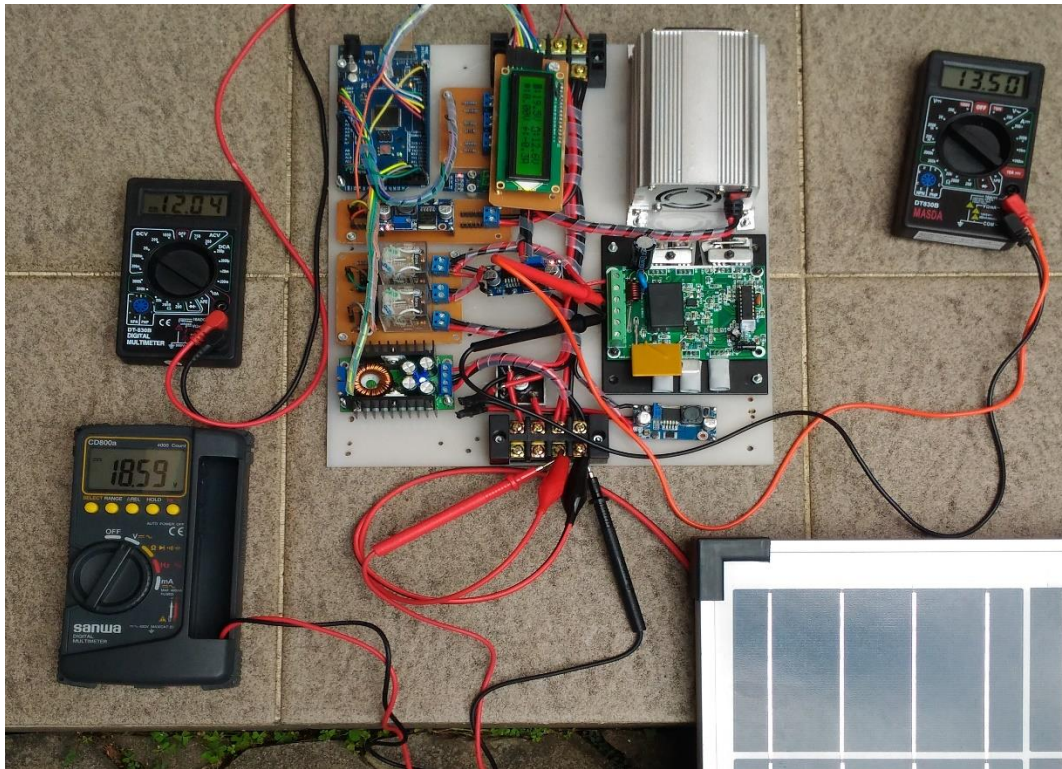
4.8.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Panel sel surya 100 WP
2. Kontrol hibrida
3. Kabel konektor
4. Multimeter digital

4.8.2 Langkah – Langkah Pengujian Tegangan *Output* Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

1. Menempatkan panel sel surya 100 WP di tempat yang terkena terik matahari
2. Menghubungkan kabel *output* panel sel surya 100 WP ke input kontrol hibrida
3. Mengukur tegangan keluaran kontrol hibrida menggunakan multimeter digital mulai jam 08.00 sampai dengan jam 16.00
4. Mencatat hasil pengujian yang dilakukan

4.8.3 Hasil Pengujian Tegangan *Output* Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

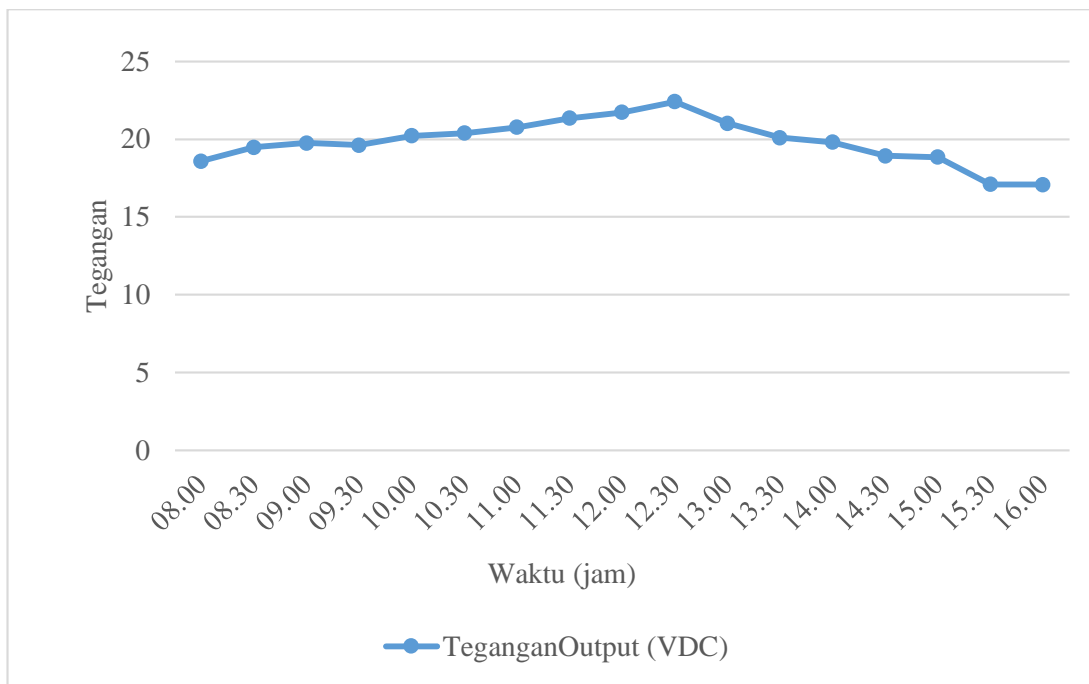


Gambar 4.5 Pengujian Tegangan *Output* Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Tegangan *Output* Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

No	Waktu (Jam)	Teg. <i>Output</i> PV (VDC)	Teg. <i>Output</i> Menggunakan Kontrol Mppt Tanpa Beban (VDC)	Teg. <i>Output</i> Pengisian Baterai Menggunakan Kontrol (VDC)
1	08.00	18,59	12,04	13,50
2	08.30	19,47	12,04	13,50
3	09.00	19,75	12,04	13,50
4	09.30	19,62	12,04	13,50
5	10.00	20,21	12,04	13,50
6	10.30	20,38	12,04	13,50

7	11.00	20,76	12,04	13,50
8	11.30	21,34	12,04	13,50
9	12.00	21,72	12,04	13,50
10	12.30	22,41	12,04	13,50
11	13.00	21,02	12,04	13,50
12	13.30	20,10	12,04	13,50
13	14.00	19,80	12,04	13,50
14	14.30	18,93	12,04	13,50
15	15.00	18,84	12,04	13,50
16	15.30	17,10	12,04	13,50
17	16.00	17,07	12,04	13,50



Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Output Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

4.8.4 Analisa Pengujian Tegangan Output Panel Sel Surya 100 WP Menggunakan Kontrol Hibrida Tanpa Beban

Pada Tabel 4.6 tegangan terendah yang dihasilkan oleh panel sel surya 100 WP pada jam 16.00 dan tegangan tertinggi yang dihasilkan oleh panel sel surya 100 WP pada jam 12.30. Setelah menggunakan sistem kontrol yang dilengkapi dengan MPPT sehingga

tegangan keluaran pada MPPT kontrol hibrida dapat konstan yaitu 12 VDC sebagai beban penerangan lampu AC dan DC, 13,5 VDC sebagai pengisian baterai.

4.9 Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC Dan Lampu 3 Watt 220 VAC

Pada pengujian sistem hibrida menggunakan dua sumber yaitu panel sel surya 100 wp dan generator AC menggunakan pembebanan lampu 5 Watt 12 VDC dan 3 Watt 220 VAC.

4.9.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Panel sel surya 100 WP
2. Generator AC
3. Motor Pemutar Generator
4. Kontrol hibrida
5. Kabel konektor
6. Multimeter digital
7. Beban lampu 5 Watt 12 VDC
8. Beban lampu 3 Watt 220 VAC
9. Baterai 12 VDC

4.9.2 Langkah – Langkah Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC Dan Lampu 3 Watt 220 VAC

1. Menempatkan panel sel surya 100 WP di tempat yang terkena terik matahari
2. Menghubungkan kabel *output* panel sel surya 100 WP ke input kontrol hibrida
3. Mengkopel generator dengan motor
4. Menghubungkan kabel *output* generator ke input kontrol hibrida
5. Menghubungkan terminal tegangan keluaran DC pada sistem kontrol dengan beban lampu 5 Watt 12 VDC
6. Menghubungkan terminal tegangan keluaran AC pada sistem kontrol dengan beban lampu 3 Watt 220 VAC
7. Mengukur tegangan keluaran kontrol hibrida dan arus beban lampu 5 Watt 12 VDC dan lampu 3 Watt 220 VAC menggunakan multimeter digital mulai

jam 08.00 sampai dengan jam 16.00 dan dengan mengatur kecepatan putaran motor dari 100 RPM hingga 1000 RPM

8. Mencatat hasil pengujian yang dilakukan

4.9.3 Hasil Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC dan Lampu 3 Watt 220 VAC



Gambar 4.7 Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC dan Lampu 3 Watt 220 VAC

Tabel 4.7 Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC dan Lampu 3 Watt 220 VAC

No	Pengujian Panel Surya (Jam)	Kec. Putar Generator AC (Rpm)	Teg. Out Put Hibrida (Vdc)	Arus Beban Lampu 5 Watt 12 Vdc (A)	Teg. Output Inverter (Vac)	Arus Beban Lampu 3 Watt 220 Vac (A)	Teg. Output Pengisian Baterai Menggunakan Kontrol (Vdc)
1	08.00 Sd 16.00	100	11,96	0,28	219	0,01	13,49
2		200	11,96	0,28	219	0,01	13,49
3		300	11,97	0,28	219	0,01	13,50
4		400	11,96	0,28	219	0,01	13,49
5		500	11,96	0,28	219	0,01	13,49
6		600	11,97	0,28	219	0,01	13,50
7		700	11,96	0,28	219	0,01	13,49
8		800	11,96	0,28	219	0,01	13,49
9		900	11,95	0,28	219	0,01	13,48
10		1000	11,96	0,28	219	0,01	13,49

4.9.4 Analisa Pengujian Kontrol Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC Menggunakan Beban Lampu 5 Watt 12 VDC dan Lampu 3 Watt 220 VAC

Pada Tabel 4.7 tegangan hasil keluaran dari kontrol dapat stabil yaitu tegangan *output* DC tanpa beban adalah 12 V dan setelah diberi beban lampu 5 Watt 12 VDC dan lampu 3 Watt 220 VAC, tegangan turun menjadi 11,9 V. Tegangan yang dihasilkan untuk pengisian baterai adalah 13,49 VDC atau dibulatkan menjadi 13,50 VDC.

4.10 Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC

Pada pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC dengan menggunakan peralatan dan langkah pengujian sebagai berikut :

4.10.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Panel sel surya 100 WP
2. Generator AC
3. Motor Pemutar Generator
4. Kontrol hibrida
5. Kabel konektor
6. Multimeter digital
7. Beban lampu 5 Watt 12 VDC
8. Beban lampu 3 Watt 220 VAC
9. Baterai 12 VDC

4.10.2 Langkah – Langkah Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC

1. Menempatkan panel sel surya 100 WP di tempat yang terkena terik matahari
2. Menghubungkan kabel *output* panel sel surya 100 WP ke input kontrol hibrida
3. Mengkopel generator dengan motor
4. Menghubungkan kabel *output* generator ke input kontrol hibrida
5. Menghubungkan terminal tegangan keluaran DC pada sistem kontrol dengan beban lampu 5 Watt 12 VDC
6. Menghubungkan terminal tegangan keluaran AC pada sistem kontrol dengan beban lampu 3 Watt 220 VAC
7. Menghubungkan terminal tegangan baterai dengan baterai
8. Mencatat hasil pengujian yang dilakukan

4.10.3 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC

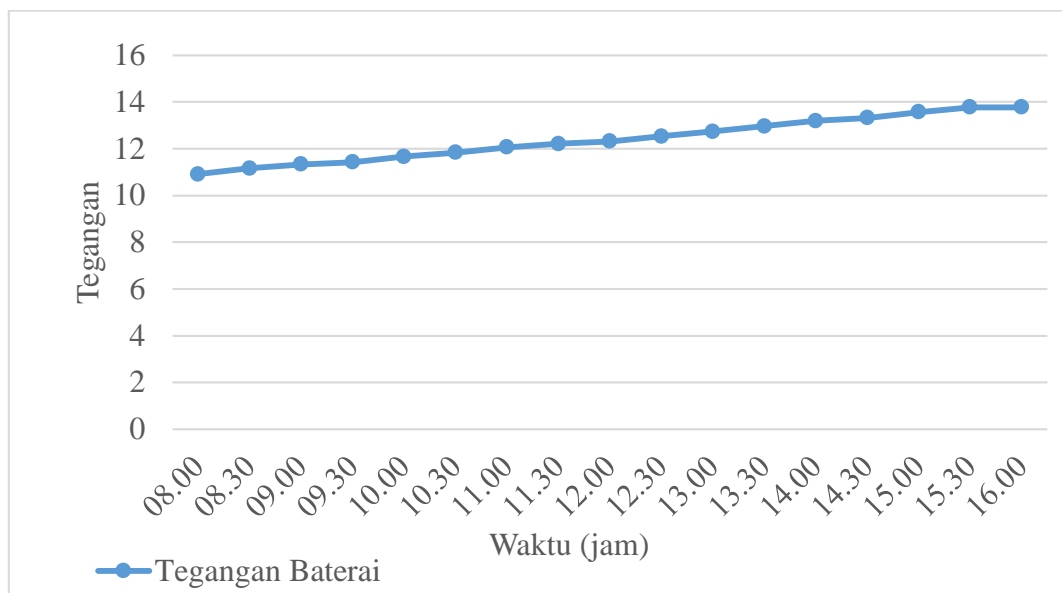


Gambar 4.8 Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC

No	Waktu (Jam)	Tegangan Baterai (Vdc)
1	08.00	10,91
2	08.30	11,16
3	09.00	11,33
4	09.30	11,42
5	10.00	11,67
6	10.30	11,84
7	11.00	12,06
8	11.30	12,21
9	12.00	12,31

10	12.30	12,53
11	13.00	12,74
12	13.30	12,96
13	14.00	13,19
14	14.30	13,32
15	15.00	13,57
16	15.30	13,78
17	16.00	13,78



Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC

4.10.4 Analisa Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP dan Generator AC

Proses pengisian baterai aktif ketika tegangan baterai kurang dari 11 VDC. Pada tabel 4.8 baterai dapat terisi dari tegangan 10,91 hingga 13,78 VDC, mulai jam 08.00 sampai dengan jam 15.30, dapat disimpulkan baterai terisi penuh selama 7 jam pengisian. Ketika tegangan baterai mencapai 13,80 maka relay pengisian baterai *off* dan memutus pengisian baterai.

4.11 Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt

Pada pengujian lama pemakaian baterai dengan beban lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt dengan menggunakan peralatan dan langkah pengujian sebagai berikut :

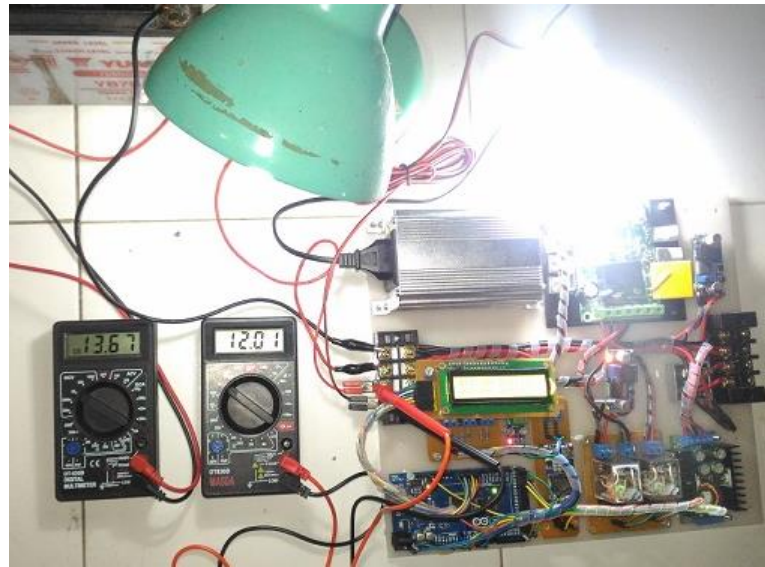
4.11.1 Peralatan Yang Digunakan

1. Kontrol hibrida
2. Kabel konektor
3. Multimeter digital
4. Beban lampu 5 Watt 12 VDC
5. Beban lampu 3 Watt 220 VAC
6. Baterai 12 VDC

4.11.2 Langkah – Langkah Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt

1. Menghubungkan kabel *output* generator ke input kontrol hibrida
2. Menghubungkan terminal tegangan keluaran DC pada sistem kontrol dengan beban lampu 5 Watt 12 VDC
3. Menghubungkan terminal tegangan keluaran AC pada sistem kontrol dengan beban lampu 3 Watt 220 VAC
4. Menghubungkan terminal tegangan baterai dengan baterai
5. Mencatat hasil pengujian yang dilakukan

4.11.3 Hasil Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt

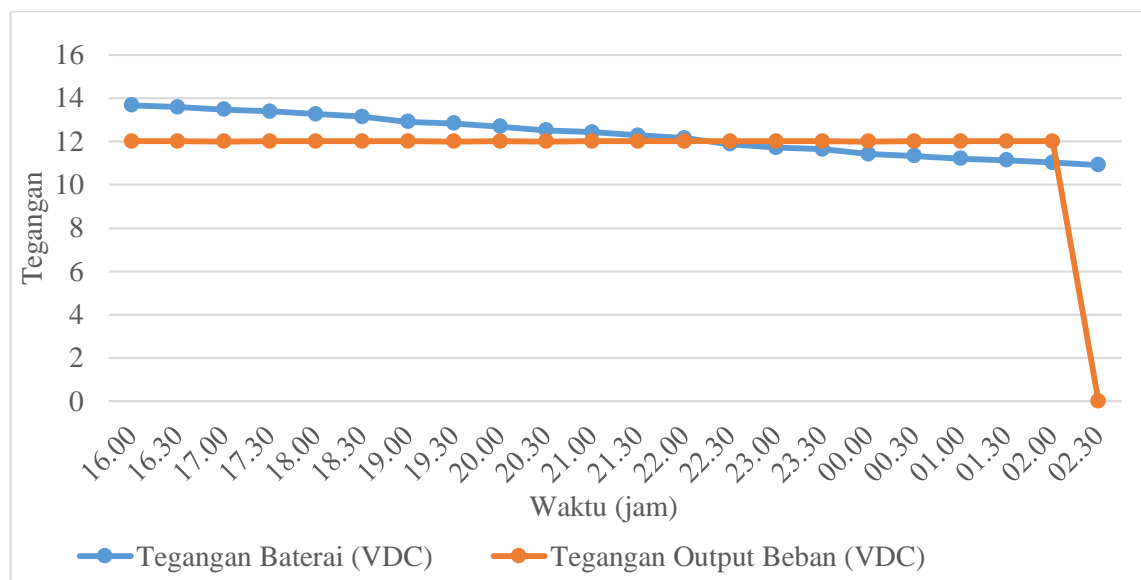


Gambar 4.10 Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt

No	Waktu (Jam)	Tegangan Baterai (Vdc)	Tegangan <i>output</i> beban DC dan Inverter
1	16.00	13,67	12,01
2	16.30	13,59	12,01
3	17.00	13,48	12,00
4	17.30	13,39	12,01
5	18.00	13,26	12,01
6	18.30	13,14	12,01
7	19.00	12,91	12,01
8	19.30	12,84	12,00
9	20.00	12,69	12,01
10	20.30	12,52	12,00
11	21.00	12,43	12,01
12	21.30	12,28	12,01
13	22.00	12,16	12,01
14	22.30	11,88	12,01

15	23.00	11,71	12,01
16	23.30	11,64	12,01
17	00.00	11,42	12,00
18	00.30	11,33	12,01
19	01.00	11,21	12,01
20	01.30	11,14	12,01
21	02.00	11,03	12,01
22	02.30	10,91	0



Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengujian Lama Pemakaian Baterai Dengan Beban Lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt

4.11.4 Analisa Hasil Pengujian Pengisian Baterai Dengan Pembangkit Listrik Hibrida Panel Sel Surya 100 WP Dan Generator AC

Dalam pengujian ini baterai dengan kondisi tegangan 13,78 VDC mensuplai beban lampu 12 VDC 5 Watt dan 220 VAC 3 Watt (menggunakan inverter DC 12V). Dari hasil percobaan pada tabel 4.9 bahwa baterai dapat mensuplai beban tersebut mulai jam 16.00 dengan tegangan baterai 13,78 VDC sampai tegangan baterai turun menjadi 10,91 VDC atau dibawah 11 VDC yaitu pada jam 02.30 dan baterai hanya dapat mensuplai beban tersebut sampai 02.00 dengan tegangan 11,03 VDC, pada saat tegangan dibawah 11 VDC maka arduino memerintahkan relay hibrida memutus sumber dari baterai. Sehingga dari percobaan tersebut baterai dapat mensuplai beban selama 10 jam. Tegangan keluaran untuk beban dapat stabil 12 VDC yang dikontrol oleh *buck boost converter*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan, pengujian, dan analisa sistem, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

- a. Perancangan sistem kontrol pembangkit listrik hibrida generator AC - sel surya dan pengisian baterai skala kecil menggunakan kontrol terprogram dimana Arduino Mega 2560 yang berfungsi sebagai kendali dari beberapa bagian komponen elektronika yaitu driver relay, sensor tegangan, sensor arus, dan LCD.
- b. Sistem kontrol hibrida menggunakan Arduino Mega 2560 mampu mengontrol tegangan output dari integrasi dua buah sumber pembangkit listrik generator AC dan sel surya serta mampu mengisi baterai secara otomatis untuk didistribusikan ke beban , sehingga dapat disimpulkan sebagai berikut :
 - Tegangan yang dihasilkan oleh panel sel surya dengan kondisi cuaca cerah diatas tegangan nominal kebutuhan beban yaitu 12 VDC dan pengisian baterai 13,5 VDC. Pada jam 08.00 menghasilkan 18,59 VDC dan pada jam 16.00 menghasilkan tegangan 17,07 VDC. Tegangan puncak pada jam 12.30 yaitu 22,41 VDC. Sehingga sistem kontrol dapat menstabilkan tegangan keluaran menjadi 12 VDC untuk ke beban dan 13,5 VDC untuk pengisian baterai.
 - Sedangkan pada percobaan integrasi atau penggabungan kedua sumber yaitu panel sel surya dan generator AC mampu menghasilkan tegangan keluaran konstan yaitu 11,96 VDC untuk beban lampu 5 Watt 12 VDC dan tegangan keluaran menggunakan inverter 219 VAC beban lampu 3 Watt 220 VAC.
 - Relay sumber hibrida mampu bekerja secara otomatis ketika tegangan sumber dari kedua pembangkit kurang dari 11 VDC maka relay sumber hibrida aktif dan menghubungkan beban dengan sumber baterai. Ketika sumber hibrida lebih dari 11 V maka relay sumber hibrida off dan menghubungkan langsung antara beban dengan sumber hibrida

- Relay pengisian baterai mampu bekerja secara otomatis ketika tegangan pada baterai kurang dari 11 VDC maka relay pengisian baterai aktif dan menghubungkan tegangan kedua sumber pembangkit ke baterai (proses *charging*). Sedangkan ketika tegangan pada baterai lebih dari 13,8 VDC maka relay memutus tegangan kedua sumber pembangkit ke baterai (proses *discharging*).
- Baterai dapat terisi dari tegangan 10,91 VDC hingga 13,78 VDC, mulai jam 08.00 sampai dengan jam 15.30, dapat disimpulkan baterai terisi penuh selama 7 jam pengisian.
- Baterai dapat mensuplai beban tersebut mulai jam 16.00 dengan tegangan baterai 13,78 VDC sampai jam 02.00 dengan tegangan 11,03 VDC, Sehingga dari percobaan tersebut baterai dapat mensuplai beban selama 10 jam.

5.2 Saran

Pada penelitian ini tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kesalahan baik dari perancangan sistem maupun peralatan yang telah penulis buat, maka dari itu agar sistem dapat menjadi lebih baik maka dapat dikembangkan lebih sempurna, saran dari penulis antara lain sebagai berikut :

- a. Penggunaan komponen dengan nilai toleransi yang kecil ataupun modul dengan kualitas bagus akan membuat sistem lebih baik.
- b. Pemasangan sistem proteksi berupa relay pemutus atau *circuit breaker* dan dapat juga menggunakan sekering.
- c. Peningkatan daya untuk pembebanan yang lebih besar dengan cara memperbesar kedua pembangkit dan kapasitas baterai aki serta memperbesar kemampuan komponen kontrol seperti MPPT dan *Buck Boost Converter* dengan kemampuan kapasitas daya yang lebih tinggi dari pada sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hikmawan, A. (2012). Simulasi Hybrid Power System Antara Photovoltaic Dengan Fuel Cell Menggunakan Fuzzy Logic Controller. *Fakultas Teknik Universitas Jember*.
- [2] Raharjo, P. (2013). Perancangan Sistem Hibrid Solar Cell – Baterai – Pln Menggunakan Programmable Logic Controllers. *Fakultas Teknik Universitas Jember*.
- [3] Athur, Z. Sistem Tenaga Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Yang Dibuat Di Kedubes Austrian. *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*.
- [4] Yuliananda, S. (2015). Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya*.
- [5] Saifurrohman, B. (2016). Rancang Bangun Water Dispenser Dengan Peningat Kebutuhan Ideal Air Minum Harian Manusia Berbasis Arduino Mega 2560.
- [6] Sholihin, M. (2017). Rancang Bangun Solar Charger Controller Berbasis Arduino Uno R3 Menggunakan Metode PID (Proportional Integral Derivative).
- [7] Baterai (Online) <https://id.wikipedia.org/wiki/Akumulator>, diakses 8 Februari 2017
- [8] Fitriandi, A. Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway. *Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung*.

- [9] Hanif, M. Sistem Monitoring Secara Real-Time Penyimpanan Energi Listrik Dari Wind Turbine Lentera Angin Nusantara (LAN). *Program Studi SI Teknik Informatika, School of Computing, Telkom University* .
- [10] pembagi tegangan (Online). <http://teknikelektronika.com/rumusrangkaiannya-pembagi-tegangan-voltage-divider-resistor/>, diakses 8 Februari 2017
- [11] Andri, H. Rancang Bangun System battery Charging Automatic. *Universitas Indonesia*.
- [12] Jenis-jenis Baterai (Online). <http://riza-electrical.blogspot.co.id/2012/07/jenis-jenis-baterai.html> , diakses 8 Februari 2017
- [13] http://bsd.pendidikan.id/data/SMK_11/Teknik_Transmisi_Tenaga_Listrik_Jilid_2_Kelas_11_Aslimeri_dkk_2008.pdf
- [14] Penyearah Tegangan (Online). <http://elektronika-dasar.web.id/konsep-dasar-penyearah-gelombang-rectifier/>, diakses 9 Februari 2017
- [15] Blok diagram teknologi hibrida (online). <https://www.rroij.com/open-access/solar-pvwind-hybrid-powergenerationsystem.php?aid=42426> , diakses 22 Februari 2017
- [16] Desain Pembangkit Generator AC (Online). https://www.aresearch.upi.edu/operat or/upload/ta_te_0801383_chapter1.pdf, 9 Februari 2017
- [17] Panel Sel Surya (Online). <http://www.theunitedsolar.com/main/wp-content/uploads/2014/12/Solar-Cell.jpg>, diakses 22 Februari 2017

- [18] LCD karakter 16 X 2 (Online). <https://cdn.instructables.com/FUX/7IV0/IDK2K86Q/FUX7IV0IDK2K86Q.MEDIUM.jpg> , diakses 4 April 2017
- [19] Bentuk Fisik Relay (Online). https://img.alicdn.com/i1/TB1mnkgKXXXXctXXXXXXXXXXXXXXXXX_!!0-item_pic.jpg , diakses 4 April 2017
- [20] Konfigurasi pin IC 4N25 (Online). www.alldata-sheet.com/4n25 , diakses 2 April 2017
- [21] Simbol LED dan Polaritas Pin LED (Online). <http://elektronika-dasar.web.id/wp-content/uploads/2012/06/Bentuk-Dan-Simbol-LED.jpg> , diakses 4 April 2017
- [22] Rangkaian Pembagi Tegangan (Online). <http://teknikelektronika.com/wp-content/uploads/2015/11/Rumus-dan-Rangkaian-Pembagi-Tegangan-VoltageDivider.Jpg?x22079> , diakses 4 April 2017
- [23] Konstruksi Bagian-bagian Baterai Asam (Online). http://3.bp.blogspot.com/-RK1M7IKbqE/UBH6m3l9GPI/AAAAAAAAAYw/wvQLHcRUdbY/s1600/lead-acid_battery-12v.jpg , diakses 9 Februari 2017
- [24] Rangkaian Dasar *Buck Boost Converter* (Online). <https://mike-thomson.com/blog/wp-content/uploads/2011/10/buck-basic-w-diode.gif> , diakses 9 Februari 2017
- [25] Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang (*Half Wave rectifier*) (Online). <http://elektronika-dasar.web.id/wp-content/uploads/2012/02/Half-Wave-Rectifier.jpg> , diakses 2 April 2017

- [26] Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh (*Full Wave rectifier*) (Online).
<http://elektronika-dasar.web.id/wp-content/uploads/2012/02/FullWave-Rectifier-Bridge.jpg> , diakses 2 April 2017