

**KONTROL OTOMATIS PENGISIAN BATERAI PADA PANEL
SURYA MENGGUNAKAN *PULSE WIDTH MODULATION*
(PWM) BERBASIS ARDUINO UNO**

SKRIPSI

Oleh:
AINUR RIZZA
NIM. 14640042



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK
IBRAHIM MALANG
2021**

**KONTROL OTOMATIS PENGISIAN BATERAI PADA PANEL
SURYA MENGGUNAKAN *PULSE WIDTH MODULATION*
(PWM) BERBASIS ARDUINO UNO**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
AINUR RIZZA
14640042**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK
IBRAHIM MALANG
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

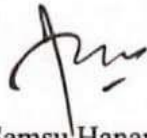
**KONTROL OTOMATIS PENGISIAN BATERAI PADA PANEL
SURYA MENGGUNAKAN *PULSE WIDTH MODULATION*
(PWM) BERBASIS ARDUINO UNO**

SKRIPSI

Oleh:
Ainur Rizza
NIM. 14640042

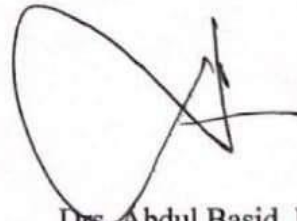
Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji,
pada tanggal: 11 Juni 2021

Pembimbing I,



Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

Pembimbing II,



Drs. Abdul Basid, M. Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,



Drs. Abdul Basid, M. Si
NIP. 19650504 199003 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

KONTROL OTOMATIS PENGISIAN BATERAI PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN *PULSE WIDTH MODULATION* (PWM) BERBASIS ARDUINO UNO

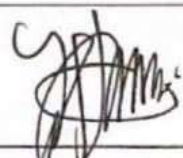
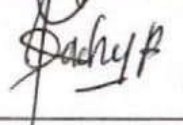

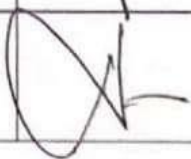
SKRIPSI

Oleh:

Ainur Rizza

NIM. 14640042

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : 21 Juni 2021

Penguji Utama	: <u>Dr. Imam Tazi, M. Si</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji	: <u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP: 19761003 200312 1 004	
Sekretaris Penguji	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,
Dekan Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ainur Rizza

NIM : 14640042

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Kontrol Otomatis Pengisian Baterai pada Panel Surya Menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) Berbasis Arduino Uno

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 15 Juni 2021
Yang Membuat Pernyataan



Ainur Rizza
NIM. 14640042

MOTTO

فَأَصْبِرْ صَبْرًا جَمِيلًا

“Maka bersabarlah kamu dengan sabar yang baik” (QS. Al-ma’arij: 5).

“Now or Never”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillah Wal Hamdulillah dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT yang selalu memberikan nikmat iman dan islam. Sholawat serta salam tetap tercurhakan kepada Nabi Muhammad SAW, segenap keluarga, para sahabat, serta umat beliau. Sehingga kupersembahkan tulisan ini kepada:

Ibuk dan Bapak Tercinta,
Bapak Ismail dan Ibuk Zumrotus Sofiyah, yang selalu membimbing, mendukung, dan mendoakan dengan penuh kasih sayang dan kesabaran.

Teruntuk kakak dan keponakan yang Terkasih,
Dewi Fadilah, Aris Suhermanto, Mazelda Zakyla Al-Adha, dan Dzakky Abisatya Nalendra yang selalu memberikan semangat dan petuah untuk tidak pernah menyerah serta selalu berdo'a.

Serta untuk para pembaca, semoga dapat bermanfaat tulisan ini untuk kedepannya.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang telah penulis susun ini berjudul “Kontrol Otomatis Pengisian Baterai Panel Surya Menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) Berbasis Arduino Uno”. Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang, yang penuh dengan ilmu pengetahuan luar biasa saat ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan penulisan proposal skripsi ini.

Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Farid Samsu Hananto, M.T selaku dosen pembimbing Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Kedua orang tua, kakak dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga.
6. Teman-teman fisika instrumentasi komputasi yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan proposal skripsi ini.
7. Teman-teman Komunitas Muda Nuklir Nasional (KOMMUN) yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan proposal skripsi ini.
8. Sahabat-sahabati PMII “Pencerahan” Galileo selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan proposal skripsi ini.

9. Sahabat-sahabat fisika 2014 yang saya banggakan dan semua pihak yang telah membantu penyusunan proposal skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Tak ada kata lain yang dapat penulis sampaikan kecuali ucapan terima kasih. Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik serta saran sangat diharapkan untuk perbaikan ke depannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca khususnya di dunia pendidikan fisika.

Malang, 15 Juni 2021

Ainur Rizza
NIM. 14640042

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Batasan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	8
1.5.1 Manfaat Umum	8
1.5.2 Manfaat Khusus	8
BAB II KAJIAN TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.2 Sel Surya (<i>Solar Cell</i>)	10
2.2.1 Jenis Panel Sel Surya	12
2.2.2 Prinsip Kerja Panel Surya	13
2.2.3 Spesifikasi Panel Surya	14
2.3 SCC (<i>Solar Charge Controller</i>)	15
2.4 <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	16
2.5 Mikrokontroler	18
2.6 Arduino Uno	20
2.7 <i>Software</i> Arduino	22
2.8 Baterai (<i>Battery/Accumulator</i>)	22
2.9 <i>High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module</i>	23
2.10 Dual Digital Voltmeter-Ampermeter DSN-VC288	25
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	27
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.3.1 Perangkat Keras	27
3.3.2 Perangkat Lunak	28
3.4 Rancangan Penelitian	28
3.4.1 Perancangan Perangkat Keras	28
3.4.2 Pengujian Panel Surya	29
3.4.3 Pengujian Dual Digital Voltmeter-Ampermeter DSN-VC288	29
3.4.4 Perancangan Perangkat Keras Secara Keseluruhan	29

3.4.5 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	32
3.5 Pengambilan Data	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian	36
4.1.1 Pemrograman Arduino.....	37
4.1.2 Pembuatan <i>Charge Controller</i>	39
4.2 Unjuk Kerja Alat	43
4.3 Pengambilan Data	44
4.3.1 Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i>	45
4.3.1.1 Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 0 Volt - 12 Volt.....	45
4.3.1.2 Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 12 Volt	46
4.3.2 Pengukuran Menggunakan Panel Surya	54
4.3.3 Perhitungan Efisiensi Daya.....	56
4.4 Analisis Data Hasil Penelitian.....	56
4.5 Pembahasan.....	58
4.6 Integrasi.....	61
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Representasi Semikonduktor Jenis n dan p	12
Gambar 2.2	Kelebihan Elektron dari Lompatan n-material	14
Gambar 2.3	Panel Surya Tipe SP-53-065.	14
Gambar 2.4	Pulsa Keluaran PWM pada Saat Baterai Penuh	17
Gambar 2.5	Pulsa Keluaran PWM pada Saat Baterai akan Habis	17
Gambar 2.6	<i>Charge Controller</i> Tipe PWM	17
Gambar 2.7	Arduino Uno	21
Gambar 2.8	Layar Kerja Pemrograman Arduino	22
Gambar 2.9	Baterai dan Elemen-Elemennya	23
Gambar 2.10	<i>High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module</i>	24
Gambar 2.11	Dual Digital Voltmeter-Ampermeter DSN-VC288	26
Gambar 3.1	Diagram dan Alur Penelitian	28
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.3	Tampilan Awal Arduino IDE	33
Gambar 3.4	Tampilan Layar Kerja Pemrograman Arduino	33
Gambar 4.1	Pengujian <i>Power Supply</i> dan Panel Surya	40
Gambar 4.2	Pengujian <i>High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module</i> ..	41
Gambar 4.3	Tampilan pada Dual Digital Voltmeter-Ampermeter	42
Gambar 4.4	Skema Rangkaian Alat	43
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Variasi Frekuensi terhadap Daya Keluaran	56
Gambar 4.6	Daya Rata-Rata Pengukuran <i>Power Supply</i> 12 Volt	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Panel Surya.....	14
Tabel 2.2	Spesifikasi Arduino Uno.....	21
Tabel 2.3	Spesifikasi DSN-VC288	26
Tabel 3.1	Tabel Pengambilan Data Frekuensi 190 Hz.....	34
Tabel 3.2	Tabel Pengambilan Data Frekuensi 290 Hz.....	34
Tabel 3.3	Tabel Pengambilan Data Frekuensi 390 Hz.....	34
Tabel 3.4	Tabel Pengambilan Data Frekuensi 490 Hz.....	34
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 0 Volt – 12 Volt (Frekuensi 190 Hz).....	45
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 0 Volt – 12 Volt (Frekuensi 290 Hz).....	45
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 0 Volt – 12 Volt (Frekuensi 390 Hz).....	46
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 0 Volt – 12 Volt (Frekuensi 490 Hz).....	46
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 12 Volt (Frekuensi 190 Hz).....	47
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 12 Volt (Frekuensi 290 Hz).....	48
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 12 Volt (Frekuensi 390 Hz).....	50
Tabel 4.8	Hasil Pengukuran Menggunakan <i>Power Supply</i> 12 Volt (Frekuensi 490 Hz).....	52
Tabel 4.9	Daya Rata-Rata Pengukuran <i>Power Supply</i> 12 Volt.....	54
Tabel 4.10	Hasil Pengukuran Menggunakan Panel Surya	54
Tabel 4.11	Perhitungan Efisiensi Daya	56

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Data Hasil Penelitian
- Lampiran 2 : Perhitungan Efisiensi Daya
- Lampiran 3 : Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 4 : Bukti Konsultasi Skripsi

ABSTRAK

Ainur, Rizza. 2020. Kontrol Otomatis Pengisian Baterai pada Panel Surya Menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) Berbasis Arduino Uno. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Kata kunci: Panel Surya, *Pulse Width Modulation*, Arduino Uno, Frekuensi.

Panel surya merupakan alat yang dirancang untuk dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan melalui proses aliran-alliran elektron negatif dan positif dalam modul *solar cell* disebabkan adanya perbedaan elektron. Energi listrik yang dihasilkan berupa arus DC yang dapat disimpan ke dalam baterai atau aki dengan menggunakan *charge controller*. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui efisiensi daya dan pengaruh variasi frekuensi terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh *charge controller* panel surya. Metode penelitian ini dilakukan secara ekperimental, yakni untuk membuat dan menguji *charge controller* panel surya. Hasil efisiensi daya yang dihasilkan berkisar antara 89-95% menggunakan 4 variasi frekuensi yang berbeda yakni 190 Hz, 290 Hz, 390 Hz, dan 490 Hz. Variasi frekuensi yang telah diberikan menghasilkan perbandingan antara daya masuk dan keluar sebesar $\pm 0,4$ Watt sedangkan untuk tegangan dan arus $\pm 0,02$ Volt dan $\pm 0,03$ Ampere. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa efisiensi daya oleh *charge controller* yang telah dibuat menghasilkan nilai yang cukup baik dan variasi frekuensi yang diberikan memberikan pengaruh yang cukup kecil untuk tegangan dan arus keluaran.

ABSTRACT

Ainur, Rizza. 2021. Automatic Control of Battery Charging on Solar Panels Using Pulse Width Modulation (PWM) Based on Arduino Uno .Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology of State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang.

Counselor: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Drs. Abdul Basid, M. Si.

Keyword: Solar panel, Pulse Width Modulation, Arduino, Frequency.

The solar panel is a device designed to convert sunlight into electrical energy. The electrical power generated through the process of the flow of negative and positive electrons in the solar cell module is due to the difference in electrons. The electric energy produced is in the form of a DC current, which can be saved in a battery or battery with a charge controller. This research aims to determine the power efficiency and the effect of frequency variations on the output power generated by the solar panel charge controllers. This research method is carried out experimentally, namely to make and test solar panel charge controllers. The resulting power efficiency results range from 89-95% using four different frequency variations, namely 190 Hz, 290 Hz, 390 Hz, and 490 Hz. The frequency variation that has been given results in a comparison between the input and output power of ± 0.4 Watt, while the voltage and current are ± 0.02 Volt and ± 0.03 Ampere. Based on the results of the study, it can be concluded that the power efficiency of the charge controllers that have been made produces a fairly good value, and the variation in the given frequency has a small enough effect on the output voltage and current.

الملخص

عينور ريزا. 2021. التحكم التلقائي في شحن البطارية على الألواح الشمسية باستخدام تعديل عرض النبض (PWM) استناداً إلى Arduino Uno. البحث الجامعي. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج.
المشرف: (1) فريد سامسو حناط, الماجستير, (2) عبد الباسيط, الماجستير

الكلمات المفتاحية: الألواح الشمسية ، PWM ، Arduino ، تردد

الألواح الشمسية عبارة عن جهاز مصمم لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية. ترجع الطاقة الكهربائية المتولدة من خلال عملية تدفق الإلكترونات السالبة والموجبة في وحدة الخلايا الشمسية إلى الاختلاف في الإلكترونات. تكون الطاقة الكهربائية المنتجة في شكل تيار مستمر يمكن تخزينه في بطارية أو بطارية مع التحكم في الشحن. كفاءة الطاقة وتأثير تغيرات التردد على طاقة الخرج الناتجة عن جهاز التحكم في شحن اللوحة الشمسية. يتم إجراء طريقة البحث في هذا البحث بشكل تجريبي ، وهي صنع واختبار أجهزة التحكم في شحن الألواح الشمسية. تتراوح نتائج كفاءة الطاقة الناتجة من 89-95% باستخدام 4 اختلافات تردد مختلفة ، وهي 190 هرتز ، 290 هرتز ، 390 هرتز ، 490 هرتز. ينتج عن اختلاف التردد الذي تم تقديمه مقارنة بين طاقة الإدخال والإخراج البالغة ± 0.4 وات ، بينما يكون الجهد والتيار ± 0.02 فولت و ± 0.03 أمبير. بناءً على نتائج الدراسة ، يمكن الاستنتاج أن كفاءة الطاقة لوحدات التحكم بالشحن التي تم تصنيعها تنتج قيمة جيدة إلى حد ما وأن التباين في التردد المعطى يعطي تأثيراً ضئيلاً بدرجة كافية على جهد الخرج والتباين

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan hal yang penting dan tidak dapat dipisahkan dari berbagai kegiatan manusia yang banyak kita jumpai, baik berupa energi konvensional maupun energi alternatif. Pada era modern ini, kebutuhan energi diberbagai sektor semakin meningkat. Sementara bahan bakar fosil yang menjadi pasokan utama dalam pemenuhan permintaan energi, ketersediaannya diperkirakan akan habis dalam beberapa puluh tahun kedepan. Hal ini mendorong berbagai pengembangan penelitian mengenai energi alternatif dalam bentuk EBT (Energi Baru Terbarukan). Krisis energi menuntut setiap Negara untuk terus berinovasi mengembangkan energi alternatif seperti energi matahari, panas bumi, air, dan angin. Pemenuhan kebutuhan energi menjadi fokus diberbagai Negara termasuk Indonesia khususnya energi listrik, mengingat jumlah penduduknya yang cukup tinggi.

Permintaan energi listrik akan tumbuh dengan rerata mencapai 6,5% setiap tahun sampai pada tahun 2020, kondisi tersebut dapat terlihat dari data konsumsi energi listrik setiap tahun selalu mengalami peningkatan sejalan dengan pertumbuhan ekonomi nasional (Muchlis, 2003). Sehingga itulah dilakukan berbagai penelitian mengenai pengembangan energi terbarukan (*renewable energy*) salah satunya yakni bersumber dari energi matahari. Matahari merupakan sumber energi yang melimpah, oleh karena itu perlu dimanfaatkan secara optimal dengan melakukan konversi energi matahari menjadi energi listrik menggunakan panel surya (*solar cell*).

Berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional menyatakan bahwa pengembangan energi surya untuk tenaga listrik diproyeksikan sebesar 6,5 GW pada tahun 2025 dan 45 GW pada tahun 2050 atau 22% dari potensi surya sebesar 207,9 GW (Republik Indonesia, 2017). Hal ini dapat menjadi landasan pengembangan energi terbarukan di Indonesia sebagai modal pembangunan nasional untuk tujuan mewujudkan kemandirian energi, sehingga dapat mengoptimalkan pemanfaatan pengelolaan sumber daya alam untuk pemenuhan kebutuhan energi dalam negeri.

Matahari merupakan sumber energi yang potensial bagi kebutuhan manusia, dimana energi tersebut bisa didapat dari panas yang merambat sampai permukaan bumi, atau cahaya yang jatuh sampai permukaan bumi. Berdasarkan beberapa penelitian menyatakan bahwa dengan mengubah cahaya matahari terutama intensitas matahari dengan menggunakan *solar cell* dapat diperoleh sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi manusia. Pemilihan sumber energi terbarukan ini sangat beralasan mengingat suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai mencapai 3×10^{24} Joule pertahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Di Indonesia cahaya matahari cukup melimpah dan merata sehingga dapat ditangkap di seluruh kepulauan Indonesia hampir sepanjang tahun. Sehingga matahari merupakan sumber energi listrik yang sangat potensial (Yuliananda, 2015).

Melimpahnya sinar matahari memudahkan kita untuk memanfaatkannya seperti memasang sel surya di rumah, kendaraan pribadi, dan alat elektronik tanpa merugikan orang lain. Sinar matahari memberikan manfaat dalam berbagai aspek

kehidupan sehari-hari, sebagaimana yang dijelaskan dalam QS. Al Furqon ayat 61 sebagai berikut:

تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُنِيرًا ﴿٦١﴾

Artinya: "Maha Suci Allah yang menjadikan di langit gugusan-gugusan bintang dan Dia menjadikan juga padanya matahari dan bulan yang bercahaya" (QS. Al Furqon[25] : 61).

Berdasarkan ayat QS. Al Furqon ayat 61, telah dijelaskan bahwa matahari menjadi salah satu sumber cahaya dalam kehidupan manusia. Ayat ini mengandung beberapa penafsiran ilmiah terhadap sistem alam raya yang diciptakan oleh Allah SWT. Seperti yang kita lihat bintang-bintang dilangit berbentuk gugusan yang tidak berubah-ubah sepanjang masa. "Al-buruj" yang dimaksud dalam ayat di atas adalah gugusan bintang (*Rasi*) yang dilalui matahari ketika berputar mengelilingi bumi. Gugusan bintang tersebut seakan-akan menjadi tempat berputarnya matahari sepanjang tahun. Matahari adalah salah satu bintang yang tidak terlalu besar dan tidak terlalu kecil. Seperti halnya bintang-bintang lain, matahari bersinar dengan sendirinya karena interaksi atom yang ada didalamnya. Sinar matahari yang timbul dari energi tersebut jatuh ke planet-planet, bulan, dan benda-benda langit lainnya yang tidak dapat bersinar. Karena bersifat menyinari, maka matahari disebut *siraj* yang berarti 'lampu yang terang benderang'. Adapun bulan disebut *munir*, yang berarti 'bercahaya', karena cahayanya timbul akibat adanya sinar matahari yang jatuh dipermukaannya (Shihab, 2002).

Tafsir Al-Madinah Al-Munawwarah menjelaskan bahwa Maha Suci Allah yang menjadikan di langit gugusan-gugusan bintang. Yakni gugusan-gugusan

bintang yang berjumlah dua belas. Dinamakan dengan (البروج) yang berarti istana-istana yang tinggi, karena bintang-bintang membentuk seperti istana-istana yang tinggi bagi penghuninya. وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا (dan Dia menjadikan juga padanya matahari) Yakni matahari yang menyala-nyala. وَقَمَرًا مُنِيرًا (dan bulan yang bercahaya) Yakni yang menyinari bumi jika sedang nampak, namun ia tidak dapat menyala.

Allah SWT mengagungkan dan membesarkan diri-Nya atas keindahan segala apa yang diciptakan-Nya di langit berupa gugusan-gugusan bintang yang besar-besar, menurut pendapat Mujahid, Sa'id ibnu Jubair, Abu Saleh, Al-Hasan, dan Qatadah. Sedangkan menurut pendapat yang lain, yang dimaksud dengan al-buruj ialah gedung-gedung penjagaan yang ada di langit. Demikianlah menurut riwayat yang bersumber dari Ali, Ibnu Abbas, Muhammad ibnu Ka'b, Ibrahim An-Nakha'i, dan Sulaiman ibnu Mahran Al-A'masy. Pendapat ini dikatakan pula oleh sebuah riwayat yang bersumber dari Abu Saleh. Akan tetapi, pendapat yang pertamalah yang lebih kuat. Terkecuali jika bintang yang besar-besar itu diumpamakan sebagai gedung-gedung penjagaan, maka kedua pendapat ini dapat dipertemukan. Seperti yang disebutkan oleh Allah SWT dalam firman-Nya: Sesungguhnya Kami telah menghiasi langit yang dekat dengan bintang-bintang (Al Mulk:5), hingga akhir ayat. Karena itulah disebutkan oleh ayat dalam surat ini: Mahasuci Allah yang menjadikan di langit gugusan-gugusan bintang dan Dia menjadikan juga padanya matahari. Yakni matahari yang bersinar bagaikan pelita pada alam wujud ini. Seperti juga yang disebutkan dalam ayat lain melalui firman-Nya: dan Kami jadikan pelita yang amat terang (matahari). (An-Naba': 13)

Seperti yang disebutkan oleh Allah SWT dalam firman-Nya: Dialah Yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya(Yunus:5) (Al-Imam, 2002).

Matahari menjadi bintang yang dapat memancarkan cahayanya sendiri tanpa memerlukan bantuan dari benda-benda langit yang lain. Cahaya yang dihasilkan oleh matahari inilah yang dapat dirasakan manfaatnya oleh manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Sumber cahaya matahari berasal dari reaksi fusi yaitu penggabungan inti-inti unsur hidrogen menjadi unsur helium pada suhu yang sangat tinggi. Energi yang terbentuk dari pusat matahari akan merambat keluar sampai ke permukaan matahari sehingga matahari dapat memancarkan energinya sampai ke bumi. Energi inilah yang nantinya akan dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Teknologi sel surya mampu menghasilkan daya maksimal sebesar 1000 Watt/m² pada kondisi cuaca cerah di siang hari. Hal ini dikarenakan pada saat itu intensitas cahaya matahari yang sampai ke permukaan bumi saat tengah hari adalah paling besar nilainya. Apabila piranti semikonduktor dengan luasan satu m² memiliki efisiensi 12%, maka daya yang dibangkitkan oleh modul sel surya sebesar 120 Watt (Rahayu, 2017).

Energi listrik yang dihasilkan matahari hanya terdapat pada pagi hingga sore hari, sehingga diperlukan media penyimpanan untuk dapat menyimpan energi matahari dan dapat digunakan di malam hari. Salah satu media penyimpanan yang digunakan adalah *accu* atau baterai. Pengembangan teknologi untuk penyimpanan energi yang dihasilkan oleh sel surya masih memiliki banyak kendala. Banyak aki yang dibutuhkan untuk dapat menyimpan daya yang cukup bahkan dengan efisiensi inverter yang cukup tinggi, pengembangan jenis baterai yang dapat

menyimpan daya lebih besar, dan efisiensi konversi energi dari sel surya yang masih dinilai kecil yang berdampak pada biaya pengadaan panel surya. Proses penyimpanan tidak dapat langsung dilakukan dengan cara menghubungkan panel surya ke baterai karena dapat merusak panel surya.

Oleh karena itu, energi listrik yang dihasilkan sel surya disimpan ke dalam baterai, maka apabila proses pengisian dan pengosongan baterai yang tidak sesuai dengan kapasitas baterai dapat menyebabkan kerusakan pada baterai. Pencegahan kerusakan pada baterai dapat dilakukan dengan menggunakan alat pengendali yang berfungsi untuk menghentikan proses pengisian (*charging*) ketika baterai sudah terisi penuh dan untuk mensuplai energi listrik ke peralatan elektronik ketika dibutuhkan (*discharging*), serta untuk memulai pengisian kembali ketika baterai hampir kosong. Alat tersebut dikenal dengan *charge controller* (Astra, 2011).

Fungsi utama dari *charge controller* adalah untuk mempertahankan keadaan baterai dengan mencegah terjadinya distribusi arus dan tegangan yang berlebihan pada baterai. *Charge controller* dapat dibedakan dalam 2 jenis yaitu yang menggunakan teknologi PWM (*Pulse width modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). *Charge controller* PWM akan melakukan pengisian muatan listrik ke aki dengan arus yang besar ketika aki kosong, dan kemudian arus pengisian diturunkan secara bertahap ketika aki semakin penuh. Teknologi ini memungkinkan aki akan terisi dalam kondisi yang benar-benar penuh tanpa menimbulkan 'stress' pada aki dengan kapasitas keluaran PWM 60 Amp (Setiawan, 2016).

Sebagaimana penelitian-penelitian yang telah dipaparkan dapat diketahui bahwa *Solar charge controller* PWM (*Pulse Width Modulation*) efektif untuk mencapai pengisian baterai tegangan konstan dengan beralih antara on dan off dengan frekuensi tertentu dan siklus variabel arus keluaran modul PV ke baterai. Keuntungannya penggunaan PWM antara lain yakni efisiensi pengisian yang lebih tinggi, pengisian ulang yang cepat, dan baterai yang sehat dengan kapasitas penuh. Berdasarkan uraian diatas, manfaat energi matahari dalam tenaga listrik dapat dilakukan penelitian dengan judul “Kontrol Otomatis Pengisian Baterai pada Panel Surya Menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) Berbasis Arduino Uno”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana efisiensi daya yang dihasilkan *controller* dalam mengontrol *charging* dan *discharging* pada sel surya?
2. Bagaimana pengaruh variasi frekuensi pada *Pulse Width Modulation* (PWM) terhadap daya keluaran sel surya?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk dapat mengetahui efisiensi daya yang dihasilkan *controller* dalam mengontrol *charging dan discharging* pada sel surya.
2. Untuk dapat mengetahui pengaruh variasi frekuensi pada mekanisme kerja *Pulse Width Modulation* (PWM) terhadap daya keluaran sel surya.

1.4 Batasan Penelitian

1. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno (ATMega328)
2. Panel surya yang digunakan adalah tipe SP-20-P36

3. Baterai aki yang digunakan adakah aki kering 12V/5 Ah
4. Indikasi yang digunakan adalah arus dan tegangan yang dihasilkan

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Umum

1. Mengetahui efisiensi daya yang dihasilkan mikrokontroler Arduino Uno pada *charging* dan *discharging* baterai sel surya.
2. Mengetahui pengaruh variasi frekuensi pada *Pulse Width Modulation* (PWM) terhadap daya keluaran sel surya.

1.5.2 Manfaat Khusus

Penelitian ini merupakan tahap untuk menunjang peneliti tentang kontrol pada *charge* dan *discharge* baterai panel surya menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM) sehingga dapat diketahui optimalisasi daya dan kinerja alat untuk dapat dikembangkan lebih baik kedepannya.

BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Indonesia sebagai Negara tropis dan dilalui oleh garis katulistiwa memiliki potensi energi matahari yang cukup melimpah. Pengembangan penelitian mengenai sel surya sebagai konersi energi terbarukan menjadi energi listrik, tak lepas dari *solar charge controller* yang digunakan untuk mengatasi permasalahan penyimpanan daya dari sel surya diantaranya yaitu untuk sistem pengangkat air. Sel surya digunakan sebagai sumber pembangkit listrik untuk sistem pengangkat air sedangkan baterai *charge controll* untuk media penyimpanan daya ketika sel surya tidak mendapat cahaya matahari dengan mikrokontroler Arduino Uno. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan pengisian baterai (*charge*) dengan sumber PLTS dengan kapasitas 12V 10 Ah dapat dilakukan selama kurang lebih 5 jam dengan tegangan pengisian 13V dan arus rata-rata pengisian 2.065 Ampere (Mahardika, 2016).

Penelitian mengenai solar sel dan *solar charge controller* juga digunakan pada sistem peringatan dini tsunami. Perancangan *solar charger controller* pada sistem peringatan dini tsunami adalah untuk membuat rangkaian pengecasan pada baterai kering yang digunakan sebagai *supply* tegangan DC (*Direct Current*) pada rangkaian sistem peringatan dini tsunami. Rangkaian yang digunakan dalam perancangan *solar charger controller* adalah rangkaian pembagi tegangan dan rangkaian kontrol MOSFET. Rangkaian kontrol MOSFET digunakan sebagai kontrol pengecasan dan kontrol beban pada baterai. Sensor yang digunakan sebagai pengukuran arus beban pada baterai adalah sensor arus ACS712. Data

dari hasil pengecasan akan ditampilkan melalui *Liquid Crystal Display* (LCD) yang di kendalikan oleh mikrokontroler Arduino Nano. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa *solar charger controller* dapat bekerja sesuai dengan prinsip kerja yang dirancang dalam pengecasan baterai dan dapat mengukur berapa tegangan pada baterai dan *solar cell* yang ditampilkan di LCD (Warman, 2016).

Penelitian tentang sel surya juga digunakan pada *solar charging bag*. Penelitian dilakukan untuk membuat produk yang menggunakan energi matahari dapat menyimpan daya listrik dan dapat dibawa dengan mudah. Metode *quality function deployment*, digunakan untuk mengetahui kebutuhan dan keinginan konsumen. *Solar charging bag* memiliki kemampuan untuk dapat mengisi daya tanpa harus terhubung dengan listrik PLN, dengan komponen yang digunakan panel surya (*solar cell*), *solar charge controller*, inverter, baterai dengan media tambahan yaitu tas *carrier*. Keunggulan dibandingkan produk lain seperti *powerbank*, *solar charging bag* dapat mengisi daya untuk voltase sampai 11,8V (Permana, 2015).

2.2 Sel Surya (*Solar Cell*)

Menurut Rusman (2015) *solar cell* merupakan komponen vital yang terbuat dari bahan semikonduktor. Tenaga listrik dihasilkan oleh satu *solar cell* sangat kecil, maka beberapa *solar cell* harus digabung sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut *module*. Pada aplikasinya karena tenaga listrik yang dihasilkan oleh *module* ini masih kecil, maka dalam pemanfaatannya beberapa *module* digabungkan sehingga terbentuklah apa yang disebut *array*.

Pengkonversian sinar matahari menjadi listrik dengan panel photovoltaik, kebanyakan menggunakan *Poly Crystalline Silicon* sebagai material semikonduktor *photocell* mereka. Prinsipnya sama dengan prinsip diode p-n. Energi matahari mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan energi lain. Keuntungan yang dapat diperoleh yakni jumlahnya cukup besar, kontinyu, tidak menimbulkan polusi, terdapat dimana-mana dan tidak mengeluarkan biaya (Kusuma, 2015).

Ayat-ayat di dalam Al-Qur'an telah menyebutkan bahwa sinar matahari merupakan salah satu hal penting dalam kehidupan sehari-hari. Allah SWT berfirman dalam Q.S An-Naba' ayat 13:

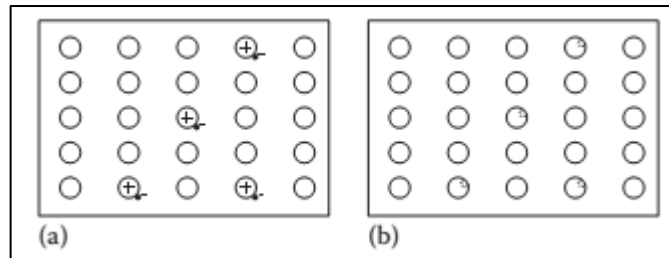
وَجَعَلْنَا سِرَاجًا وَهَّاجًا ﴿١٣﴾

Artinya :”dan Kami jadikan pelita yang amat terang (matahari)”.(QS. An-Naba'[78] : 13).

Berdasarkan QS. An-Naba' ayat 13 tersebut, dijelaskan bahwa telah dijadikan matahari yang bercahaya dan menghasilkan panas. Maksud frase *sirajan wahhajjan* ('pelita yang sangat terang') di sini adalah matahari, sebagaimana dibuktikan oleh penemuan ilmiah, panas permukaan matahari mencapai 6.000 derajat. Sedangkan panas matahari mencapai 30 juta derajat disebabkan oleh materi-materi bertekanan tinggi yang ada pada matahari. Sinar matahari menghasilkan energi sebagai berikut: ultraviolet 9%, cahaya 46%, dan inframerah 45%. Oleh karena itulah ayat ini menyebut matahari sebagai pelita (*siraj*) karena mengandung cahaya dan panas secara bersamaan (Shihab, 2002).

Berikut gambar yang mempresentasikan semikonduktor jenis n dan p. Gambar (a) jenis n yang menunjukkan “kelebihan“ elektron ditandai dengan titik.

Sedangkan pada gambar (b) jenis p yang menunjukkan “kelebihan” *hole* positif ditandai dengan \ominus (Goswani, 2015).



Gambar 2.1 Representasi Semikonduktor Jenis n dan p (Goswani, 2015)

2.2.1 Jenis Panel Sel Surya

Panel sel surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Panel sel surya menghasilkan arus yang digunakan untuk mengisi baterai. Panel surya terdiri dari *photovoltaic*, yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, mendung, hujan) arus listrik yang dihasilkan juga berkurang. Memperluas permukaan panel surya berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil yang tertentu juga. Contohnya ukuran a cm x b cm menghasilkan listrik DC (*Direct Current*) sebesar x Watt per *hour*. Adapun jenis jenis panel surya antara lain (Dzulfikar, 2016):

a. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Panel ini adalah panel surya yang paling efisien, yaitu menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), kestabilannya akan turun dratis dalam cuaca berawan.

b. Polikristal (*Poly-crystalline*)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik.

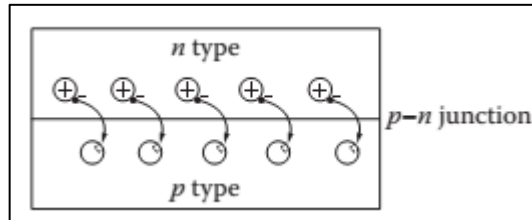
2.2.2 Prinsip Kerja Panel Surya

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan *hole* (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan *hole* tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom *dopant*. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor (Fadhlullah, 2017).

Ilustrasi di bawah menggambarkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan *hole* bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p (Fadhlullah, 2017).

Gambar dibawah menunjukkan kelebihan elektron dari lompatan n-material mengisi kelebihan *hole* pada sisi p dari *p-n junction*, yang kemudian elektron

meninggalkan sisi n dari *junction* yang bermuatan positif dan sisi p bermuatan negatif (Goswani, 2015).



Gambar 2.2 Kelebihan Elektron dari Lompatan n-material (Goswani, 2015).

2.2.3 Spesifikasi Panel Surya

Solar panel *series* ini merupakan solar panel tipe *polycrystalline*, yang mana mampu menghasilkan daya sebesar 20 Watt, serta *voltage* yang dihasilkan dari solar panel *series* ini adalah 12 V. Aplikasi produk antara lain, *Solar Home System*, *Solar Power System*, *Solar Power Plant*, dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) (<http://solarpanelseries.com/sp-20/>).



Gambar 2.3 Panel surya tipe SP-53-065 (<http://solarpanelseries.com/sp-20/>).

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Keterangan
Part Number	53-065
Model	SP-20-P36
Max. Voltage (Vmp)	17.8V
Max. Current (Imp)	1.13A

Open Circuit Voltage (Voc)	21.6V
Short Circuit Current (Isc)	1.21A
Maximum Power at STC (Pmax)	20W
Maximum System Voltage	1000DC (V)
Cells Type	Poly
Dimension	490 x 350 x 25 mm
Weight	2 Kg
Number of Cells	36
Temperature Range	-45°C ~ +80°C

2.3 SCC (*Solar Charge Controller*)

Charge controller adalah peralatan yang digunakan pada sistem PLTS yang dilengkapi dengan penyimpanan (*storage*) cadangan energi listrik. *Charge controller* berfungsi untuk mengatur pengisian arus searah (*DC*) dari panel surya ke baterai yang disebut dengan proses *charge*, dan pengaturan penyaluran arus listrik dari baterai menuju beban listrik disebut dengan proses *discharge*. Fungsi utama *charge controller* adalah untuk menjaga atau mempertahankan baterai dari kemungkinan tertinggi *state of charge*, melindungi baterai saat menerima pengisian berlebih (*overcharge*) dari *array*, dengan cara membatasi pengisian energi saat baterai dalam keadaan penuh, dan melindungi baterai dari pengosongan berlebih (*overdischarge*) dikarenakan beban yang dipikul, dengan cara memutuskan hubungan baterai dengan beban saat baterai menjangkau keadaan *low state of charge* (Dunlop, 1997).

Panel surya 12V umumnya memiliki tegangan output 16 – 21V. Jadi tanpa *charge controller*, baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya *discharge* pada tegangan 14 - 14,7V. Fungsi detail dari *charge controller* antara lain (Rusman, 2015):

- a. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*. Apabila baterai dalam keadaan kondisi sudah terisi penuh maka

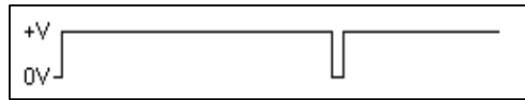
listrik yang disuplai dari modul surya tidak akan dimasukan lagi pada baterai dan sebaliknya juga jika keadaan kondisi baterai sudah kurang dari 30% maka *charge controller* tersebut akan mengisi kembali baterai sampai penuh. Proses pengisian baterai dan modul surya tersebut melalui *charge controller* akan terus berulang secara otomatis (*smart charging*) selama energi surya masih cukup untuk bisa diproses oleh modul surya (selama matahari terang benderang). *Charge controller* juga berfungsi melindungi baterai ketika sedang mengalami proses pengisian dari modul surya untuk menghindari arus berlebih dari proses pengisian tersebut, yang akan menyebabkan kerusakan pada baterai. Sehingga dengan cara tersebut baterai dalam pemakaiannya memiliki usia yang lebih lama.

- b. Mengatur arus yang dibebaskan atau diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharge* dan *overloading*.
- c. *Monitoring* temperatur baterai *Charge controller* biasanya terdiri dari satu *input* (dua terminal) yang terhubung dengan *output* panel sel surya, satu *output* (dua terminal) yang terhubung dengan baterai/aki dan satu *output* (dua terminal) yang terhubung dengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel surya karena biasanya ada dioda proteksi yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya ke baterai, bukan sebaliknya.

2.4 Pulse Width Modulation (PWM)

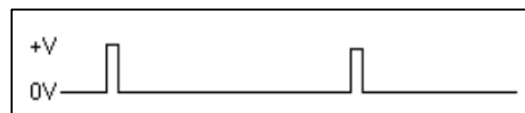
Pulse Width Modulation (PWM) adalah suatu teknik modulasi mengatur lebar pulsa-pulsa keluaran. Pada mikrokontroler sumber pulsa dihasilkan melalui *clock internal* lalu dimodulasikan dengan gelombang yang dihasilkan dari pembangkit

gelombang. Pada *charger controller* ini, pulsa yang dihasilkan diatur dengan menggunakan PWM melalui mikrokontroler agar dapat menyesuaikan dengan kondisi baterai yang akan diisi ulang seperti pada gambar berikut (Ardhi, 2011):



Gambar 2.4 Pulsa Keluaran PWM pada Saat Baterai Penuh (Ardhi, 2011)

Pada saat kondisi muatan baterai penuh, intensitas tegangan yang dialirkan ke baterai sangat kecil bahkan hampir tidak ada yang dialirkan ke baterai (Ardhi, 2011).



Gambar 2.5 Pulsa Keluaran PWM pada Saat Baterai akan Habis (Ardhi, 2011)

Pada saat kondisi muatan baterai akan habis, intensitas tegangan yang dialirkan ke baterai sangat besar bahkan tegangan yang dialirkan ke baterai hampir tidak ada putusnya (Ardhi, 2011).



Gambar 2.6 Charge Controller Tipe PWM (Rusman, 2015)

Umumnya, sinyal PWM memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang sama, namun dengan lebar pulsa yang bervariasi. Dengan teknik PWM, beberapa pulsa *on* dan *off* akan terbentuk. Persentase pulsa disajikan dalam siklus tugas. Siklus tugas memiliki kisaran 0 sampai 100%. Dari perhitungan *duty cycle*, *output*

tegangan yang dihasilkan akan diketahui. Hal ini dapat dinyatakan dalam (Dinniyah, 2017):

$$V_{in(\min)} = -V_{out} \times \frac{(1-D)}{D} \quad (2.1)$$

Mode pengisian *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah cara yang paling efektif untuk mencapai pengisian baterai tegangan konstan dengan beralih antara *on* dan *off* dengan frekuensi tertentu dan siklus variabel arus keluaran modul PV ke baterai. Hasilnya adalah efisiensi pengisian yang lebih tinggi, pengisian ulang yang cepat, dan baterai yang sehat dengan kapasitas penuh. Selain itu mode pengisian daya baterai matahari menjanjikan beberapa manfaat yang sangat menarik yang dapat diringkas sebagai berikut (Dakkak, 2012):

- a. Kemampuan untuk memulihkan kehilangan kapasitas baterai dan baterai *desulfate*.
- b. Meningkatkan penerimaan tagihan baterai.
- c. Menjaga kapasitas baterai rata-rata tinggi (90% sampai 95%).
- d. Mengurangi pemanasan baterai dan gas.
- e. Efisiensi pengisian dapat ditingkatkan dan efek penuaan dapat dikurangi.
- f. Meningkatkan kehidupan baterai.

2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam suatu chip IC, sehingga sering disebut *single chip microcomputer*. Mikrokontroler merupakan sistem komputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik, berbeda dengan PC yang memiliki beragam fungsi. Perbedaan lainnya adalah perbandingan RAM dan ROM yang sangat berbeda antar komputer dengan mikrokontroler. Dalam

mikrokontroler, ROM jauh lebih besar dibanding RAM, sedangkan dalam komputer PC RAM jauh lebih besar dibanding ROM (Aribowo, 2016).

Kadangkala pada mikrokontroler ini beberapa chip digabungkan dalam satu papan rangkaian. Perangkat ini sangat ideal untuk mengerjakan sesuatu yang bersifat khusus, sehingga aplikasi yang diisikan ke dalam komputer ini adalah aplikasi yang bersifat *dedicated*. Jika dilihat dari harga, mikrokontroler ini harga umumnya lebih murah dibandingkan dengan komputer lainnya, karena perangkatnya relatif sederhana (Chamim, 2010).

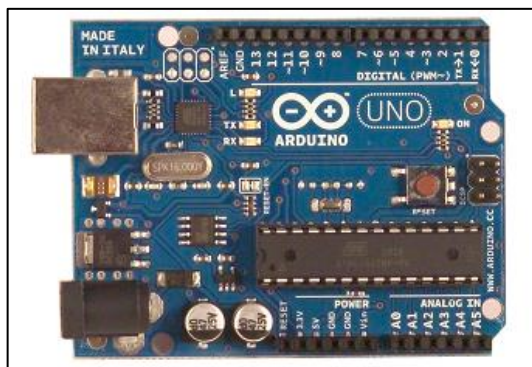
Secara teknis hanya ada 2 mikrokontroler yaitu RISC dan CISC, dan masing-masing mempunyai keturunan/keluarga sendiri-sendiri. RISC kependekan dari *Reduced Instruction Set Computer*: instruksi terbatas tapi memiliki fasilitas yang lebih banyak. CISC kependekan dari *Complex Instruction Set Computer*: instruksi bisa dikatakan lebih lengkap tapi dengan fasilitas secukupnya. Tentang jenisnya banyak sekali ada keluarga Motorola dengan seri 68xx, keluarga MCS51 yang diproduksi Atmel, Philip, Dallas, keluarga PIC dari Microchip, Renesas, Zilog. Masing-masing keluarga juga masih terbagi lagi dalam beberapa tipe. Jadi sulit sekali untuk menghitung jumlah mikrokontroler (Chamim, 2010).

Mikrokontroler mempunyai ruang alamat tersendiri yang disebut memori. Memori dalam mikrokontroler terdiri atas memori program dan memori data dimana keduanya terpisah, yang memungkinkan pengaksesan data memori dan pengalamatan 8 bit. Sehingga dapat langsung disimpan dan dimanipulasi oleh mikrokontroler dengan kapasitas akses 8 bit. Program memori tersebut bersifat hanya dapat dibaca (ROM/EPROM). Sedangkan untuk data memori kita dapat menggunakan memori eksternal (RAM) (Chamim, 2010).

Beberapa mikrokontroler memiliki *timer/counter*, ADC (*Analog to Digital Converter*), dan komponen lainnya. Pemilihan komponen tambahan yang sesuai dengan tugas mikrokontroler akan sangat membantu perancangan sehingga dapat mempertahankan ukuran yang kecil. Apabila komponen-komponen tersebut belum ada pada suatu mikrokontroler, umumnya komponen tersebut masih dapat ditambahkan pada sistem mikrokontroler melalui port-portnya (Adi, 2010).

2.6 Arduino Uno

Arduino adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin *input/output* yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog *input*, crystal osilator 16 MHz. Koneksi USB, *jack power*, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu mendukung mikrokontroler dan dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB. Arduino memiliki kelebihan tersendiri di banding *board* mikrokontroler yang lain selain bersifat *open source*, Arduino juga mempunyai bahasa pemrogramannya sendiri yang berupa bahasa C. Selain itu dalam *board* Arduino sendiri sudah terdapat *loader* yang berupa USB sehingga memudahkan kita ketika kita memprogram mikrokontroler didalam Arduino. Sedangkan pada kebanyakan *board* mikrokontroler yang lain yang masih membutuhkan rangkaian *loader* terpisah untuk memasukkan program ketika kita memprogram mikrokontroler. Port USB tersebut selain untuk *loader* ketika memprogram, bisa juga difungsikan sebagai port komunikasi serial (Fadhlullah, 2017).



Gambar 2.7 Arduino Uno (<http://datasheet.octopart.com>, 2018)

Arduino menyediakan 20 pin I/O, yang terdiri dari 6 pin *input* analog dan 14 pin digital *input/output*. Untuk 6 pin analog sendiri bisa juga difungsikan sebagai output digital jika diperlukan *output* digital tambahan selain 14 pin yang sudah tersedia. Untuk mengubah pin analog menjadi digital cukup mengubah konfigurasi pin pada program. Dalam *board* kita bisa lihat pin digital diberi keterangan 0-13, jadi untuk menggunakan pin analog menjadi *output* digital, pin analog yang pada keterangan *board* 0-5 kita ubah menjadi pin 14-19. Dengan kata lain pin analog 0-5 berfungsi juga sebagai pin *output* digital 14-16 (Fadhllullah, 2017).

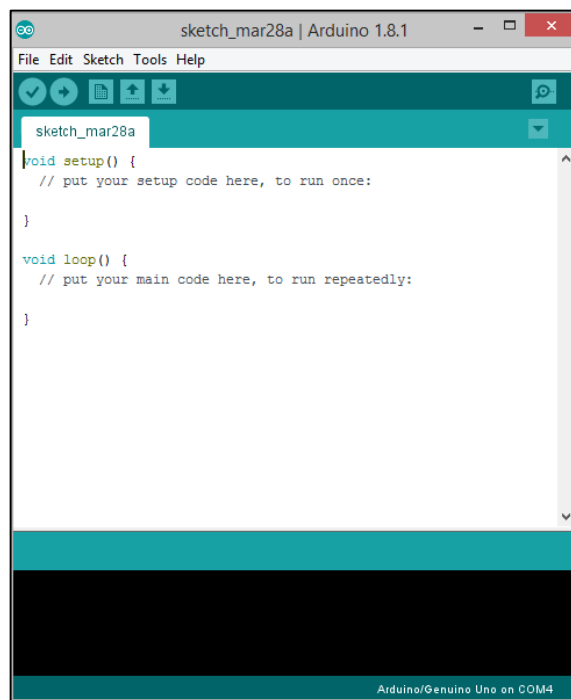
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ATMega328
Tegangan	5V
Tegangan <i>Input</i> (disarankan)	7-12V
Tegangan <i>Input</i> (batas)	6-20V
Pin I / O Digital	14 (yang 6 memberikan keluaran PWM)
Pin input analog	6
Arus DC per I / O Pin	40 mA
Arus DC untuk Pin 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB (Atmega328)
SRAM	2 KB (Atmega328)
EEPROM	1 KB (Atmega328)

Kecepatan Jam	16 MHz
---------------	--------

2.7 Software Arduino

Bahasa pemrograman Arduino adalah bahasa C. Tetapi bahasa ini sudah dipermudah menggunakan fungsi-fungsi yang sederhana sehingga pemula pun dapat mempelajarinya dengan cukup mudah. Untuk membuat program Arduino dan *upload* program ke dalam *board* Arduino membutuhkan *software* Arduino IDE (*Integrated Development Enviroment*). Tampilan awal dari *software* Arduino dapat dilihat pada gambar 2.8.

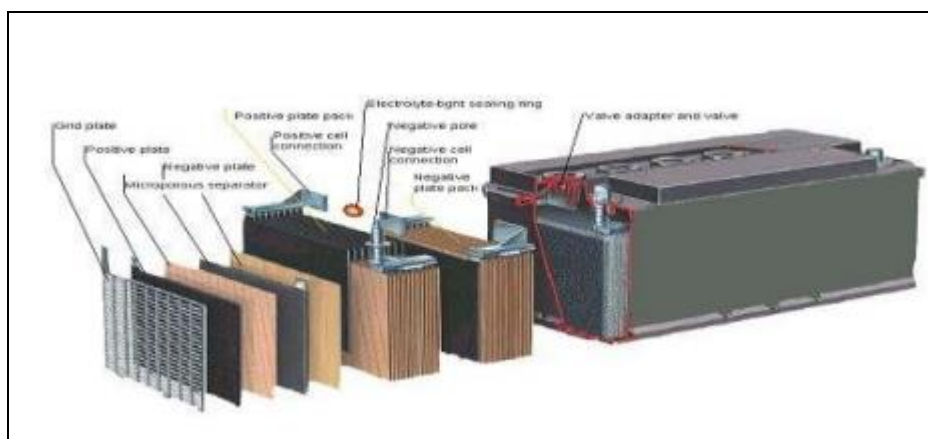


Gambar 2.8 Layar Kerja Pemrograman Arduino (<http://www.labelektronika.com>)

2.8 Baterai (*Battery/Accumulator*)

Baterai pada PLTS berfungsi untuk menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebelum dimanfaatkan untuk mengoperasikan beban. Beban dapat berupa lampu *refrigerator* atau peralatan elektronik dan peralatan lainnya yang membutuhkan listrik DC. *Accumulator* atau yang akrab disebut *accu/aki*

adalah salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor. Selain berfungsi untuk menggerakkan motor starter, aki juga berperan sebagai penyimpan listrik dan sekaligus sebagai penstabil tegangan dan arus listrik kendaraan (Rusman, 2015).



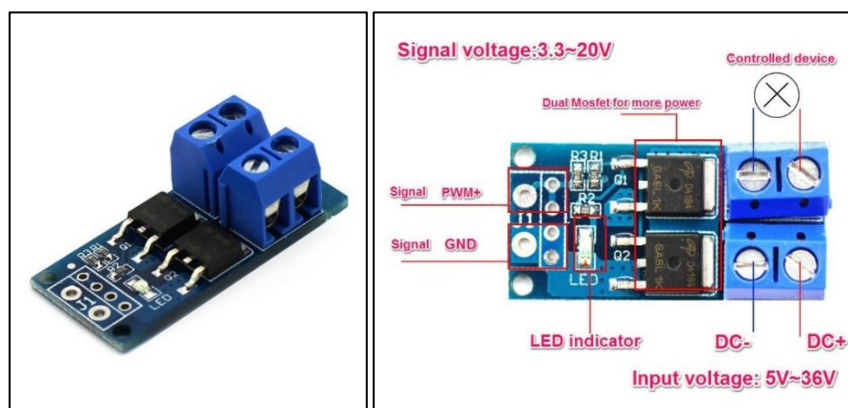
Gambar 2.9 Baterai dan Elemen-Elemennya (Rusman, 2015)

Baterai adalah komponen PLTS yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh *PV module* pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai yang dipergunakan pada PLTS mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*discharging*), tergantung pada ada atau tidaknya matahari. Selama ada sinar matahari, *PV module* akan menghasilkan energi listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan tersebut melebihi kebutuhan bebannya, maka energi listrik tersebut akan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Proses pengisian dan pengosongan disebut satu siklus baterai (Mahardika, 2016).

2.9 High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module

Modul ini adalah modul driver daya tinggi dan *controller* dengan tabung efek medan yang dapat digunakan untuk menyesuaikan keluaran. Ini mengadopsi dari

output aktif paralel MOS ganda yang dimasukkan untuk menunjukkan resistansi internal yang lebih rendah, arus dan daya listrik yang lebih besar. Selain itu, komponen ini bekerja pada 15 A, 400 Watt di bawah suhu ruang yang memenuhi sebagian besar penggunaan perangkat dan mewujudkan kontrol perangkat berdaya tinggi dengan cara yang mudah. Terlebih lagi, komponen ini dapat diterapkan pada perangkat yang kuat yang dapat dikontrol oleh terminal keluaran seperti motor listrik dan bola lampu untuk mengontrol kecepatan motor dan lampu bohlam. Komponen ini juga dapat diterapkan ke perangkat yang dapat memasukkan PWM untuk kontrol seperti LED *light belt*, motor DC, pompa mikro dan katup solenoid.



Gambar 2.10 *High-Power MOSFET Trigger Switich Drive Module*
(<https://www.hotmcu.com>)

a. Fitur

Penggunaan *output* aktif paralel dual-MOS, resistansi lebih rendah, lebih banyak arus, daya kuat pada suhu ruang, 15 A, 400 Watt, untuk memenuhi sebagian besar penggunaan peralatan. Tegangan lebar dan dukungan sempurna untuk PWM. Kontrol perangkat berdaya tinggi dengan mudah.

Dapat memasukkan PWM untuk mencapai kontrol kecepatan motor, kontrol kecerahan lampu.

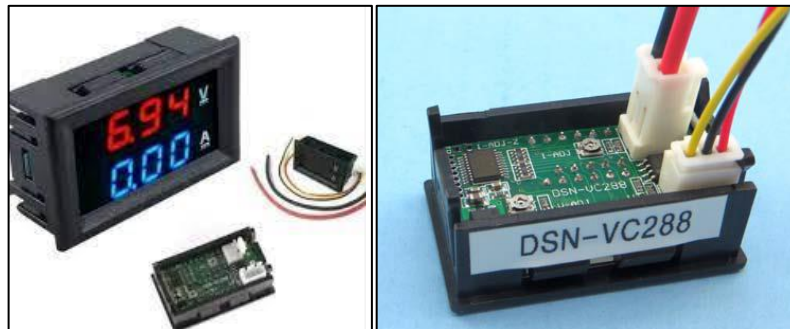
b. Spesifikasi

Tegangan operasi: DC 5 Volt – 36 Volt. Sumber: digital *high-low* (DC3.3 Volt – 20 Volt), dapat dihubungkan *port* IO mikrokontroler, *interface* PLC, dan daya DC. Modul ini dapat mengakses sinyal PWM dengan frekuensi sinyal 0-20 KHz. Kapasitas keluaran: DC 5 Volt – 36 Volt pada suhu kamar, arus kontinu 15 A, daya 400 Watt. Kondisi pendingin bantuan yang lebih rendah, arus maksimum hingga 30 A. Dapat mengontrol *output* peralatan listrik, motor, bola lampu, lampu LED, motor DC, pompa mikro, dan katup solenoid, dll. Ketersediaan: saklar tak terbatas. Suhu pengoperasian: -40 - 85. Dimensi: 34 mm x 17 mm x 12 mm.

2.10 Dual Digital Voltmeter-Ampermeter DSN-VC288

Setiap modul Dual Digital Voltmeter-Ampermeter sebenarnya berisi 2 voltmeter digital terpisah. Satu digunakan untuk menampilkan tegangan sistem dan yang lainnya untuk menampilkan arus ke beban berdasarkan penurunan tegangan DC kecil pada resistor *shunt*. Resistor sensorik ini disebut "*current shunt*" (Tanpa Pe).

Tampilan depan Dual Digital Voltmeter-Ampermeter tipe DSN-VC288 terlihat identik dengan tipe ZC15400. Tipe ini juga memiliki *built in shunt* dan diberi nilai pada 100 Volt dan 10 Ampere. Namun pabrik telah menggunakan kombinasi warna dan ukuran kabel yang berbeda, jadi harus berhati-hati dalam menghubungkan unit. Perhatikan juga bahwa untuk operasi 100 Volt, sumber daya terpisah dan terisolasi untuk daya 4,5-30 Volt.



Gambar 2.11 Dual Digital Voltmeter-Ampmeter DSN-VC288
(<http://www.electrosone.com>, 2017)

Tabel 2.3 Spesifikasi DSN-VC288

Spesifikasi	Keterangan
<i>Voltage measurement range</i>	0.0V-100V Max
<i>Current test range</i>	0-999mA, 0-10A, 0-50A, 0-100A (4range optional)
<i>Power supply range</i>	4.5V ~ 24V
<i>Working current</i>	current: < 20mA
<i>Voltage Error</i>	±0.1%
<i>Current Error</i>	±1%
<i>External Shunt Specifications</i>	75 milli volt
<i>Refresh Rate</i>	300mS
<i>Display Method</i>	2 by 3, 0.28 "7-Seg LED
<i>Display Colour</i>	Red = V, Blue = A
<i>Lead Length</i>	15cm
<i>Dimensions</i>	L=48 x H=29 x T=22 mm
<i>Mounting Holes</i>	46 x 27 mm
<i>Operating Temperature</i>	-10°C~65°C

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini yaitu berbentuk penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental memiliki tujuan untuk memperoleh sebuah desain dan pembuatan kontrol pengisian baterai pada panel surya menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) berbasis Arduino Uno.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tentang Kontrol Otomatis Pengisian Baterai pada Panel Surya Menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) Berbasis Arduino Uno dilaksanakan pada bulan Maret-Desember 2020 di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

3.3.1 Perangkat Keras

- a. Panel surya 20 Wp tipe SP-53-065
- b. PC
- c. Arduino Uno
- d. *Power supply*
- e. Dual Digital Voltmeter-Ampermeter DSN-VC288
- f. *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module*
- g. Kabel penghubung

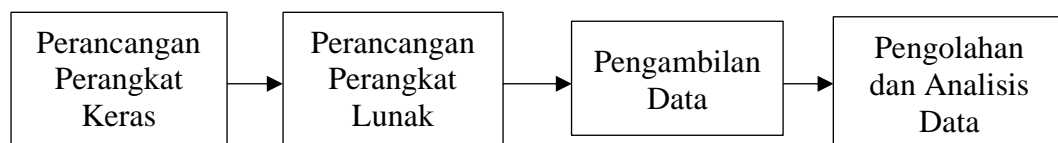
- h. Lampu DC 12Watt
- i. Potensiometer
- j. Baterai aki (*Accumulator*) 12 V 10 AH
- k. Fuse
- l. Blok terminal konektor kabel
- m. Multimeter
- n. Kotak hitam

3.3.2 Perangkat Lunak

- a. *Operating System* Windows 8
- b. *Software* Arduino Uno IDE (*Integrated Development Environment*)
- c. *Software* Microsoft Excel

3.4 Rancangan Penelitian

Perancangan dan pembuatan alat dilakukan dengan dua tahap yaitu pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan pembuatan perangkat lunak (*software*).



Gambar 3.1 Diagram dan Alur Penelitian

3.4.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan alat kontrol pengisian baterai pada panel surya mengacu pada blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Alat yang dibuat bertujuan untuk mengontrol proses *charging discharging* baterai pada panel surya. Sumber energi listrik yang digunakan berasal dari panel surya ataupun *power*

supply, yang kemudian dihubungkan dengan rangkaian *charge controller*. Data yang masuk dan setelah melewati rangkaian *charge controller* akan ditampilkan pada display LCD. Percobaan pengisian daya dapat diketahui dengan menyambungkan pada baterai atau beban seperti lampu.

3.4.2 Pengujian Panel Surya

Panel surya digunakan untuk konversi energi panas matahari menjadi energi listrik. Kinerja panel surya dapat diketahui melalui parameter tegangan dan arus yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan menyambungkan panel surya dengan alat ukur berupa multimeter. Hasil dari arus dan tegangan diperoleh dapat diketahui pemasangan panel sesuai dan menghasilkan daya keluaran sesuai datasheet yang ada. Selain itu arus dan tegangan dapat digunakan sebagai penentu untuk tegangan kerja *solar charge control* dan baterai yang akan digunakan.

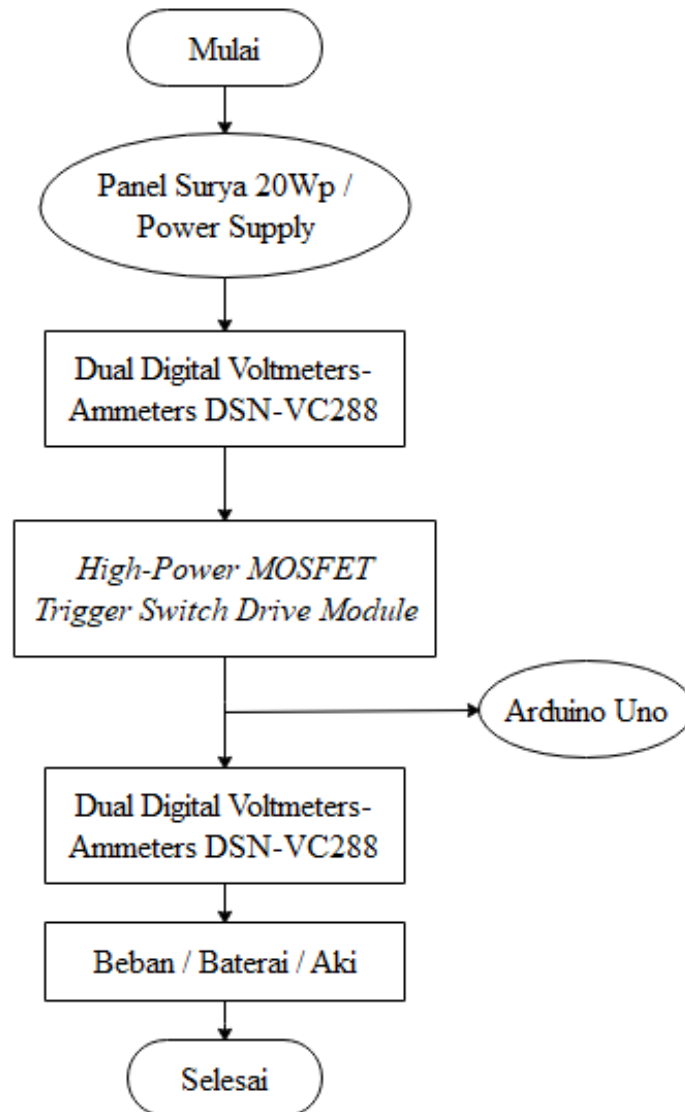
3.4.3 Pengujian Dual Digital Voltmeter-Ampermeter DSN-VC288

Pengujian Dual Digital Voltmeter-Ampermeter DSN-VC288 secara mendasar jalur kabel sama saja seperti menggunakan multimeter analog ataupun digital. Yakni, mengukur ampere kabel disambung di tengah-tengah jalur arus dan beban. Sedangkan untuk voltase pengukuran di kutub + dan kutub –. Nilai tegangan dan arus akan ditampilkan di layar LCD.

3.4.4 Perancangan Perangkat Keras Secara Keseluruhan

Perancangan keseluruhan dari perangkat keras untuk pengontrol pengisian baterai panel surya ini menggunakan alat dan bahan pada poin 3.3. Alat dan bahan tersebut akan dirangkai menjadi perangkat pengontrol untuk

penyimpanan daya pada baterai panel surya. Diagram perancangan perangkat keras secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 3.2. Pada gambar tersebut menjelaskan rancangan kinerja alat yang dibuat.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Panel surya yang digunakan memiliki *Maximum Power Volt* (V_{mp}) 17.8 V dan *Maximum Power Amperage* (I_{mp}) 1.13 A. V_{mp} dan I_{mp} digunakan untuk mengetahui Watt peak (Wp), yakni daya maksimum yang dapat diproduksi oleh panel surya tersebut pada kondisi tertentu. Panel surya

kemudian disambungkan dengan Dual Digital Voltmeter-Ampermeter DSN-VC288 untuk mengetahui arus dan tegangan yang masuk.

Selanjutnya, tegangan akan diperbaiki oleh *High-Power MOSFET Switch Drive Module* dan sinyal PWM akan divariasikan dengan untuk mendapatkan daya keluaran optimal yang dapat tersimpan pada baterai. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah arus dan tegangan yang dihasilkan dari panel surya yang dikombinasikan menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). Perubahan lebar pulsa (*duty cycle*) akan ditetapkan sebesar 100% untuk mengetahui perubahan arus dan tegangan yang diperoleh. Penyimpanan daya dapat dilakukan dengan menyambungkan alat pada baterai ataupun beban.

Penggunaan PWM untuk kontroler mempertimbangkan beberapa hal, antara lain: solar panel yang digunakan memiliki kapasitas yang cukup kecil yakni 20 Watt peak, sehingga lebih cocok menggunakan PWM. *Solar charge controller* PWM bekerja dalam tegangan yang konstan terlepas dari berapapun kapasitas *array*. MPPT kurang efisien dalam aplikasi yang berdaya rendah. Pemberian variasi frekuensi dari PWM digunakan untuk dapat mengetahui daya optimal yang dapat diperoleh.

Perbedaan SCC tipe PWM dan MPPT berdasarkan pada Tegangan *array*, tegangan baterai, dan kapasitas sistem. Meskipun MPPT memiliki keunggulan untuk menyimpan kelebihan daya sehingga dapat digunakan untuk mengisi baterai lebih cepat, akan tetapi untuk kapasitas sistem kecil lebih baik digunakan PWM seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Perbedaan SCC PWM pada penelitian dengan alat yang ada di pasaran, berada pada mikrokontroler yakni menggunakan Arduino Uno. Selain itu *duty cycle* pada

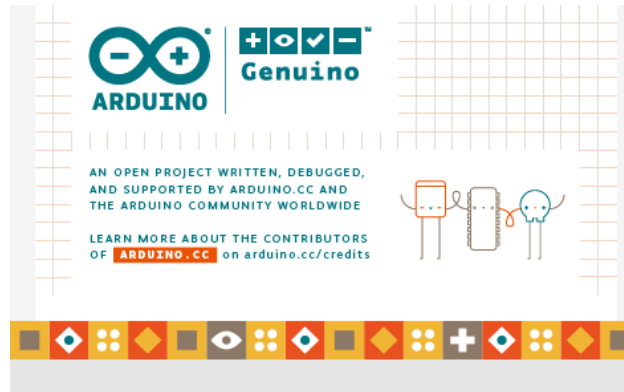
PWM umumnya mengikuti input dari panel, sedangkan pada penelitian ini *duty cycle* akan ditentukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap outputnya berupa daya listrik yang dihasilkan.

Diagram alir penelitian menunjukkan kinerja dari sistem yang telah dibuat dari sinkronisasi antar komponen elektronik dan dihubungkan oleh *controller* berdasarkan pada indikator arus dan tegangan. Pengukuran dilakukan secara manual dengan mengambil data arus dan tegangan yang berbeda-beda dan kemudian diolah menggunakan Microsoft excel. Tegangan yang terukur kemudian diolah menjadi indikator *charging-discharging* baterai sel surya.

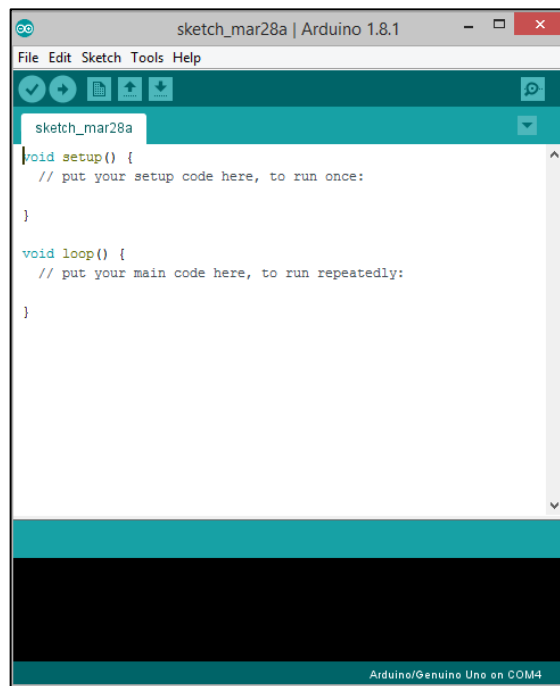
3.4.5 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Selain perangkat keras yang digunakan, juga membutuhkan perangkat lunak untuk memproses dan mengolah data-data arus dan tegangan panel surya. *Software* yang digunakan yakni Arduino Uno IDE (*Integrated Development Environment*). *Software* Arduino Uno IDE berfungsi untuk mengontrol alat-alat yang sudah dirangkai menjadi satu. Yakni Arduino Uno berperan sebagai mikrokontroler yaitu sebuah perangkat yang digunakan sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya.

Bahasa yang digunakan adalah bahasa C yang terdapat pada IDE Arduino yang dapat didownload di website resmi Arduino www.arduino.cc. Pengendalian sistem yang berpusat pada Arduino sepenuhnya diatur oleh program utama *software* Arduino. Kontrol dan pemvariasian frekuensi dilakukan dalam *sketch* Arduino dengan mengubah frekuensi sesuai kebutuhan.



Gambar 3.3 Tampilan Awal Arduino IDE (<http://www.labelektronika.com>)



Gambar 3.4 Tampilan Layar Kerja Pemrograman Arduino (<http://www.labelektronika.com>)

Pengontrolan data dari penyimpanan baterai diperoleh dari nilai tegangan dan arus yang terdeteksi sebagai indikasi *charging discharging* baterai. Data yang ada akan terlihat pada display monitor aplikasi Arduino Uno, dan diolah menggunakan *Software* Microsoft Exel untuk mengetahui perbandingan arus dan tegangan yang dihasilkan.

3.5 Pengambilan Data

Duty Cycle :100%

Tabel 3.1 Tabel Pengambilan Data Frekuensi 190 Hz

Frekuensi (Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (V)	I _{out} (A)	V _{out} (V)

Tabel 3.2 Tabel Pengambilan Data Frekuensi 290 Hz

Frekuensi (Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (V)	I _{out} (A)	V _{out} (V)

Tabel 3.3 Tabel Pengambilan Data Frekuensi 390 Hz

Frekuensi (Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (V)	I _{out} (A)	V _{out} (V)

Tabel 3.4 Tabel Pengambilan Data Frekuensi 490 Hz

Frekuensi (Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (V)	I _{out} (A)	V _{out} (V)

Pada pengujian kontrol *charge discharge* baterai akan dilakukan analisa pada arus yang mengalir pada baterai. Sehingga dapat diketahui keefektifan alat kontrol yang telah dibuat. Pengambilan data dilakukan secara berkala dengan data yang

diperoleh pada masing-masing percobaan. Nilai yang terekam pada data diatas akan dikaji terlebih dahulu sebelum dibandingkan. Pentingnya perbandingan antara variasi frekuensi yang dilakukan untuk dapat mengetahui daya optimal yang dapat dihasilkan oleh panel surya. Hasil daya dihitung memakai persamaan berikut:

$$P = V \times I \quad (3.1)$$

Keterangan:

P = Daya (Watt)
V = Tegangan (Volt)
I = Arus (Ampere)

Hasil perolehan daya awal dan akhir setelah melalui rangkaian sistem kontrol dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi dari alat yang telah dibuat. Efisiensi disimbolkan dengan η . Nilai efisiensi daya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya input (Volt)
 P_{out} = Daya Output (Volt)
 η = Efisiensi (%)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pada bab ini berisi hasil penelitian dan pembahasan berdasarkan alat yang telah dibuat. Penelitian dengan judul kontrol otomatis pengisian baterai pada panel surya menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) berbasis Arduino Uno ini dibuat untuk dapat mengetahui hasil dari penyimpanan daya yang optimal dari panel surya menggunakan Arduino, dengan memvariasikan frekuensi dari PWM Arduino. Pemberian variasi frekuensi dikarenakan panas dari matahari tidak selalu stabil, sehingga akan mempengaruhi tegangan dan arus yang akan disimpan ke aki atau baterai.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika Dan Instrumentasi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Tujuan dari penelitian ini dilakukan untuk membuat alat yang dapat memanfaatkan energi matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi daya yang dihasilkan *charge controller* dalam mengontrol *charging* dan *discharging* pada panel surya, dan untuk dapat mengetahui pengaruh variasi frekuensi pada mekanisme kerja *Pulse Width Modulation* (PWM) terhadap daya keluaran sel surya. Berdasarkan hal tersebut, parameter yang digunakan yakni arus dan tegangan dari alat yang dihasilkan sehingga dapat memenuhi daya untuk mengisi aki secara maksimal tanpa merusaknya. Sehingga tidak mengurangi umur penggunaan aki. Berdasarkan daya yang dihasilkan, kita dapat mengetahui

efisiensi daya yang diperoleh dari panel surya. Pengaturan pengisian baterai inilah yang menggunakan prinsip PWM.

Rangkaian alat ini terdiri dari dua macam yakni, *hardware* dan *software*. Pada rangkaian *hardware* terdiri dari rangkaian *charge controller* yang digunakan untuk mengontrol tegangan masukan dari panel surya ataupun *power supply*. Selanjutnya tegangan masukan akan diolah oleh *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module* untuk memperbaiki tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan PWM yang berasal dari salah satu pin Arduino.

Board Arduino adalah salah satu sistem kontrol yang digunakan pada penelitian kali ini. Board mikrokontroler memiliki spesifikasi dalam sebuah chip kecil. Arduino ini selain bisa digunakan oleh pengguna yang awam juga karena harganya yang jauh lebih murah dan sangat bermanfaat untuk membangun perangkat yang menarik. Dengan chip hitam memiliki 28 kaki, atau biasa disebut dengan IC Mikrokontroler 328.

Selanjutnya adalah program Arduino IDE. Arduino IDE adalah kependekan dari *Integrated Development Environment* merupakan program yang bekerja di PC dapat membantu pengguna *board* Arduino untuk menulis sebuah *sketch* dalam model bahasa yang sederhana. Ketika menu *upload* diklik, kode yang telah ditulis akan diterjemahkan ke dalam bahasa C dan akhirnya dimengerti oleh mikrokontroler.

4.1.1 Pemograman Arduino

Arduino Uno merupakan mikrokontroler tipe IC ATmega 328 yang berfungsi sebagai kendali utama sebuah perangkat sensor maupun perintah-

perintah lain yang berkaitan dengan sistem. Penggunaan Arduino ini juga sangat efisien dan praktis untuk sebuah alat otomatis karena perkembangan Arduino ini mampu menampilkan serial monitor langsung dari nilai pembaca sensor. Dalam software Arduino IDE terdapat *sketch* atau koding instruksi sebagai pembaca sensor maupun pengolahan data yang diterima.

Pin digital Arduino memberi 5V (ketika dinyalakan *HIGH*) atau 0V (ketika diputar *LOW*) dan outputnya adalah sinyal gelombang kotak. Sulit untuk mendapatkan tegangan antara 0 dan 5V dari pin digital akan tetapi dapat dilakukan dengan mengubah waktu *ON* dan *OFF* sinyal. Jika mengubah waktu *ON* dan *OFF* cukup cepat maka tegangan yang dihasilkan dapat berubah.

Arduino IDE memiliki fungsi "*analogWrite ()*" yang dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM. Frekuensi sinyal yang dihasilkan untuk sebagian besar pin adalah sekitar 490 Hz. Pada Arduino Uno pin PWM adalah 3, 5, 6, 9, 10 dan 11. Frekuensi sinyal PWM pada pin 5 dan 6 adalah sekitar 980 Hz dan pada pin lainnya adalah 490 Hz. Pin PWM diberi label dengan tanda ~. Berikut adalah koding untuk pemrograman *charge controller*.

```
#include <PWM.h>
```

```
int32_t frequency = 190;
```

```
int pin_pwm = 9;
```

```
float pwm;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

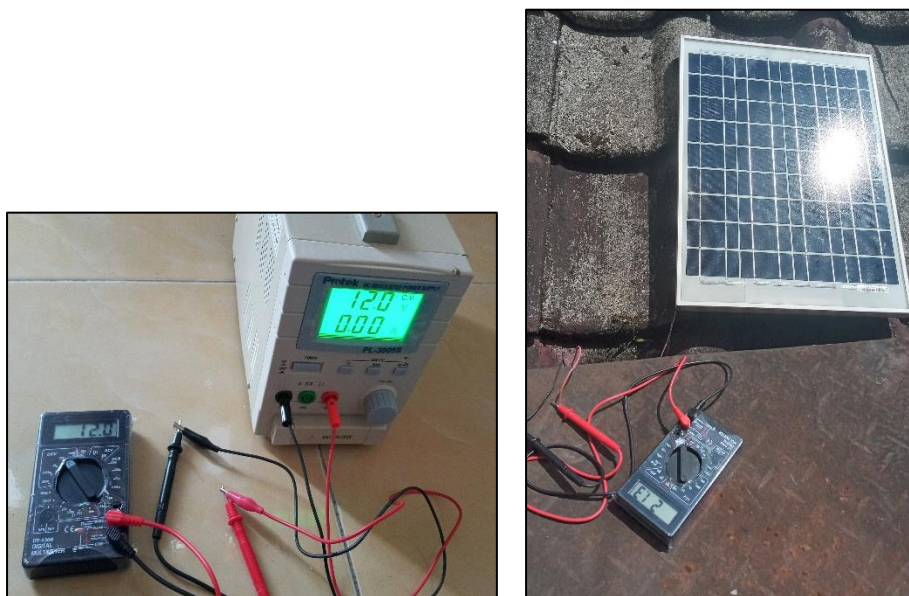
```
InitTimersSafe();  
  
bool success = SetPinFrequencySafe(pin_pwm, frequency);  
  
if(success) {  
    pinMode(pin_pwm, OUTPUT);  
}  
}  
  
void loop() {  
    pwm = map(analogRead(A0), 0, 1023, 0, 255);  
    analogWrite(pin_pwm, pwm);  
    Serial.print("Duty cycle: ");  
    Serial.print((pwm/255)*100);  
    Serial.println("%");  
    delay(100);  
}
```

4.1.2 Pembuatan *Charge Controller*

Pembuatan *charge controller* panel surya ini merupakan rangkaian yang membutuhkan energi matahari sebagai sumber cahaya utama yang dapat mengkonversikan energi panas menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan disimpan ke baterai atau aki. Pengontrolan penyimpanan energi listrik yang dihasilkan dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan sehingga tidak merusak baterai.

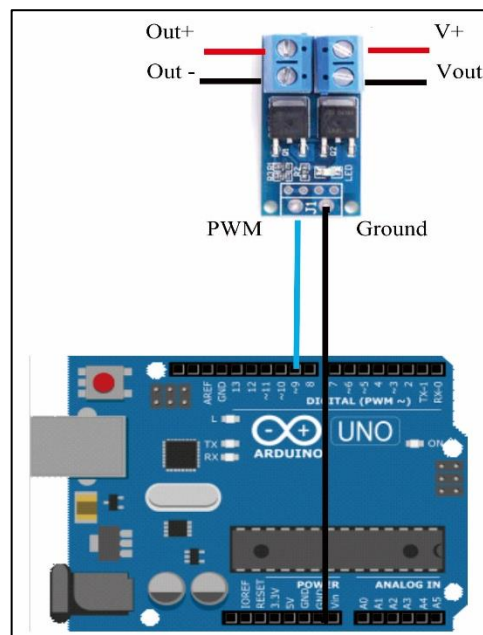
Pembuatan rangkaian terdiri atas: input, pengontrol, dan penampil. Input yang diberikan adalah tegangan, yang dilakukan dengan 2 uji coba yakni menggunakan tegangan dari *power supply* untuk memperoleh tegangan yang stabil dan tegangan yang berasal dari panel surya yang memiliki tegangan yang berubah-ubah bergantung intensitas cahaya matahari dan cuaca.

Pengujian *power supply* cukup dengan menyambungkannya dengan multimeter digital ataupun analog, dan tegangan yang terukur sesuai dengan yang ditampilkan pada layar *power supply* maupun multimeter. Sehingga dapat diketahui bahwa *power supply* berfungsi dengan baik. Sedangkan untuk pengujian panel surya, dapat dilakukan hal yang sama yakni dengan menyambungkan pada multimeter. Sehingga dapat diketahui tegangan yang dihasilkan dan sesuai dengan *datasheet* pada jenis panel surya. Panel surya yang digunakan adalah panel surya 20 Watt peak tipe SP-53-065 dengan kapasitas V_{mp} 17.8 Volt dan V_{oc} 21.6 Volt. Pengujian dilakukan seperti pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Pengujian *Power Supply* dan Panel Surya

Bagian *charge controller* divariasikan frekuensinya menggunakan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) dari Arduino Uno. Kemudian tegangan akan diperbaiki oleh *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module* untuk memperoleh keluaran yang lebih baik. Pengujian MOSFET ini dapat dilakukan dengan menghubungkan pin PWM dengan pin digital Arduino, yang pada alat ini menggunakan pin 9. Kemudian menghubungkan pin *ground* dengan *ground* pada Arduino. Sedangkan untuk V_+ dan V_{out} dihubungkan dengan + dan - sumber daya. Sedangkan untuk *Out+* dan *Out-* dihubungkan dengan + dan - beban atau alat yang ingin dikontrol seperti pada gambar 4.2 dibawah ini. Apabila sudah berfungsi LED indikator akan menyala dan PWM keluaran sesuai dengan kodingan yang diatur pada Arduino.



Gambar 4.2 Pengujian *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module*

Hasil dari *charge controller* akan ditampilkan pada layar *LCD display* pada Dual Digital Voltmeter-Ampermeter, frekuensi pada layar pemrograman Arduino Uno, serta *duty cycle* pada serial monitor Arduino. Dual Digital Voltmeter-

Ampermeter memiliki beberapa kabel yakni kabel kecil hitam, merah dan kuning. Kemudian terdapat 2 kabel besar merah dan hitam. Pada penelitian ini digunakan dua Dual Digital Voltmeter-Ampermeter untuk tampilan V_{in} , I_{in} , V_{out} , dan I_{out} .

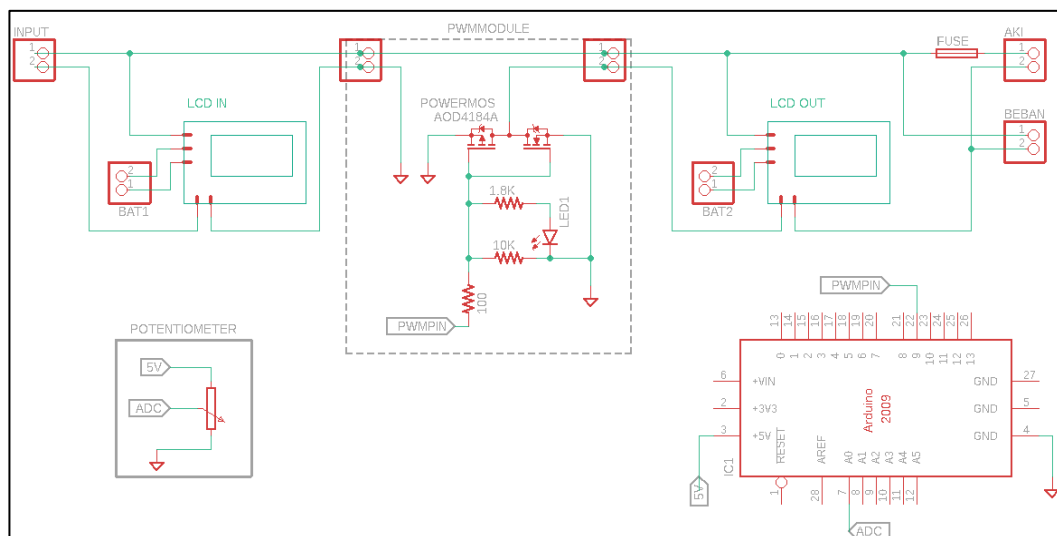
Pada modul Dual Digital Voltmeter-Ampermeter yang pertama, kabel besar hitam dihubungkan dengan *ground* sumber, sedangkan kabel merah besar dihubungkan dengan V- pada MOSFET. Kabel merah dan kuning kecil dapat dihubungkan dengan V+ pada MOSFET, sedangkan kabel hitam tidak digunakan. Untuk modul Dual Digital Voltmeter-Ampermeter kedua, kabel hitam besar dihubungkan dengan *Out-* MOSFET, sedangkan merah besar pada *ground* sumber. Kabel kuning kecil dihubungkan dengan *Out+* pada MOSFET. Pada kabel merah dan hitam kecil dihubungkan dengan + dan - baterai 9 Volt sebagai sumberdaya tambahan untuk menghidupkan Dual Digital Voltmeter-Ampermeter kedua. Apabila kabel sudah terhubung maka akan tampil pada LED *display* seperti pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Tampilan pada Dual Digital Voltmeter-Ampermeter

4.2 Unjuk Kerja Alat

Desain kontrol penyimpanan daya panel surya ini dirancang dengan memanfaatkan cahaya dari energi matahari yang dikonversikan menjadi energi listrik. Prinsip kerja dari *prototipe charge controller* ini yakni tegangan dan arus masukan yang mengalir pada alat pertama-tama akan diukur oleh Dual Digital Voltmeter-Ampermeter dan kemudian ditampilkan pada *LED display*. Secara mendasar penjaluran kabel pada Dual Digital Voltmeter-Ampermeter sama seperti menggunakan multimeter analog dan digital. Yakni, mengukur Ampere kabel disambung ditengah-tengah jalur arus dan beban. Sedangkan untuk Voltase pengukuran disambungkan kutub + dan kutub – seperti biasanya. Setelah itu, arus dan tegangan akan masuk kedalam rangkaian *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module*.



Gambar 4.4 Skema Rangkaian Alat

Rangkaian *switch module* tersebut mempergunakan sebuah *power semiconductor switch* (yang biasanya berupa sebuah MOSFET) untuk menggerakkan sebuah elemen magnetik yang mana dapat memperbaiki keluaran yang dihasilkan oleh tegangan DC. Sebuah *switch-mode converter* memiliki

variasi keluaran arus dalam respon terhadap perubahan beban, salah satu penggunaan yang tersebar luas adalah *Pulse Width Modulation* (PWM) yang mana mengontrol keluaran *power switch* dengan memvariasikan jumlah ON dan OFF-nya (rasio ON dan OFF dari PWM disebut *duty cycle*). Dalam *prototipe solar charge controller*, PWM yang dihasilkan diatur menggunakan modul Arduino Uno dengan sebuah potensiometer.

Sinyal PWM yang dikeluarkan salah satu pin Arduino akan mengontrol *power MOSFET* dan memperbaiki atau memvariasikan tegangan dan arus keluaran. Selanjutnya, tegangan dan arus keluaran *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module* akan diukur oleh Dual Digital Voltmeter-Ampermeter kedua dan kemudian ditampilkan pada *LED display*. Kemudian tegangan dan arus akan dialirkan menuju baterai aki atau beban lain (seperti lampu).

4.3 Pengambilan Data

Pengambilan data akan dilakukan dengan menggunakan 2 sumber yakni *power supply* dan panel surya. Untuk pengukuran *power supply* akan dilakukan dengan mengalirkan tegangan dari *power supply* dari 0-12 Volt dan mengalirkan tegangan sebesar 12 Volt selama 1 menit untuk mengetahui perubahan keluaran. Sedangkan untuk pengukuran panel surya dilakukan dengan menyambungkan panel surya pada *charge controller* selama 1 menit. Pengukuran dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali pengulangan saat menggunakan tegangan *power supply* 12 Volt. Kemudian, hasil data di rata-rata untuk memperoleh data akhir.

4.3.1 Pengukuran Menggunakan *Power Supply*

4.3.1.1 Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 0 Volt -12 Volt

Pengukuran pertama dilakukan dengan menghubungkan *power supply* dengan *charge controller* dimulai dengan tegangan 0 hingga 12 Volt, untuk mengetahui sistem kerja *charge controller* pada frekuensi dan tegangan tertentu.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 0 Volt -12 Volt (Frekuensi 190 Hz)

V_{in} (Volt)	I_{in} (A)	P_{in} (Watt)	V_{out} (Volt)	I_{out} (A)	P_{out} (Watt)
0	0	0,00	0	0	0,00
1	0	0,00	1,2	0	0,00
2	0	0,00	2,1	0	0,00
3	0	0,00	3,1	0	0,00
4	0	0,00	4,1	0	0,00
5	0	0,00	5	0	0,00
6	0	0,00	6	0	0,00
7	0	0,00	7	0	0,00
8	0	0,00	8	0,04	0,32
9	0,11	0,99	9	0,08	0,72
10	0,18	1,80	9,9	0,15	1,49
11	0,27	2,97	10,9	0,24	2,62
12	0,37	4,44	12	0,33	3,96

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 0 Volt -12 Volt (Frekuensi 290 Hz)

V_{in} (Volt)	I_{in} (A)	P_{in} (Watt)	V_{out} (Volt)	I_{out} (A)	P_{out} (Watt)
0	0	0,00	0	0	0,00
1	0	0,00	1	0	0,00
2	0	0,00	2,1	0	0,00
3	0	0,00	3	0	0,00
4	0	0,00	4,1	0	0,00
5	0	0,00	5,1	0	0,00
6	0	0,00	6,1	0	0,00
7	0	0,00	7	0	0,00
8	0,05	0,40	8	0,02	0,16
9	0,12	1,08	9	0,09	0,81
10	0,2	2,00	10	0,17	1,70
11	0,29	3,19	11	0,27	2,97
12	0,4	4,80	11,9	0,37	4,40

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 0 Volt -12 Volt (Frekuensi 390 Hz)

V_{in}(Volt)	I_{in}(A)	P_{in}(Watt)	V_{out}(Volt)	I_{out}(A)	P_{out}(Watt)
0	0	0,00	0	0	0,00
1	0	0,00	1	0	0,00
2	0	0,00	2,2	0	0,00
3	0	0,00	3,1	0	0,00
4	0	0,00	4,1	0	0,00
5	0	0,00	5	0	0,00
6	0	0,00	6	0	0,00
7	0	0,00	7	0,02	0,14
8	0,08	0,64	8	0,05	0,40
9	0,12	1,08	9	0,09	0,81
10	0,21	2,10	10	0,19	1,90
11	0,3	3,30	10,9	0,27	2,94
12	0,39	4,68	11,9	0,36	4,28

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 0 Volt -12 Volt (Frekuensi 490 Hz)

V_{in}(Volt)	I_{in}(A)	P_{in}(Watt)	V_{out}(Volt)	I_{out}(A)	P_{out}(Watt)
Vin	Iin	P1	Vout	Iout	P2
0	0	0,00	0	0	0,00
1	0	0,00	1	0	0,00
2	0	0,00	2	0	0,00
3	0	0,00	3	0	0,00
4	0	0,00	4,1	0	0,00
5	0	0,00	5	0	0,00
6	0	0,00	6	0	0,00
7	0	0,00	7	0,02	0,14
8	0,08	0,64	7,9	0,05	0,40
9	0,12	1,08	9	0,1	0,90
10	0,21	2,10	9,9	0,17	1,68
11	0,3	3,30	10,9	0,27	2,94

4.3.1.2 Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt

Pengukuran kedua dilakukan dengan menghubungkan *power supply* dengan *charge controller* selama 1 menit dengan tegangan tetap 12 Volt. Pengukuran dilakukan dengan memvarisikan frekuensi untuk mengetahui frekuensi yang paling efisien untuk kinerja alat.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 190 Hz)

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
1	190	0,35	11,6	0,33	11,6
2	190	0,35	11,6	0,33	11,6
3	190	0,35	11,6	0,33	11,6
4	190	0,35	11,6	0,33	11,6
5	190	0,35	11,6	0,33	11,6
6	190	0,35	11,6	0,33	11,6
7	190	0,35	11,6	0,33	11,6
8	190	0,35	11,6	0,33	11,6
9	190	0,35	11,6	0,33	11,6
10	190	0,35	11,6	0,33	11,6
11	190	0,35	11,6	0,33	11,6
12	190	0,35	11,6	0,33	11,6
13	190	0,35	11,6	0,33	11,6
14	190	0,35	11,6	0,33	11,6
15	190	0,35	11,6	0,33	11,6
16	190	0,35	11,6	0,33	11,6
17	190	0,35	11,6	0,33	11,6
18	190	0,35	11,6	0,33	11,6
19	190	0,36	11,6	0,33	11,6
20	190	0,35	11,6	0,33	11,6
21	190	0,36	11,6	0,33	11,6
22	190	0,36	11,6	0,33	11,6
23	190	0,36	11,6	0,33	11,6
24	190	0,36	11,6	0,33	11,6
25	190	0,36	11,6	0,33	11,6
26	190	0,36	11,6	0,33	11,6
27	190	0,37	11,6	0,34	11,6
28	190	0,37	11,6	0,34	11,6
29	190	0,37	11,6	0,34	11,6
30	190	0,36	11,7	0,33	11,7
31	190	0,36	11,8	0,30	11,7
32	190	0,33	11,8	0,30	11,8
33	190	0,37	11,6	0,33	11,7
34	190	0,37	11,6	0,33	11,7
35	190	0,37	11,6	0,33	11,6

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
36	190	0,36	11,7	0,33	11,6
37	190	0,36	11,8	0,33	11,6
38	190	0,33	11,8	0,34	11,6
39	190	0,37	11,6	0,32	11,7
40	190	0,37	11,6	0,33	11,6
41	190	0,37	11,6	0,33	11,6
42	190	0,36	11,7	0,32	11,7
43	190	0,36	11,8	0,33	11,6
44	190	0,33	11,8	0,29	11,6
45	190	0,37	11,6	0,32	11,6
46	190	0,36	11,7	0,33	11,7
47	190	0,38	11,8	0,38	11,6
48	190	0,33	11,9	0,33	11,6
49	190	0,33	11,8	0,33	11,6
50	190	0,37	12	0,31	11,6
51	190	0,39	12,2	0,33	11,6
52	190	0,37	12,1	0,29	11,7
53	190	0,38	11,9	0,28	11,6
54	190	0,33	11,9	0,30	11,6
55	190	0,33	12,1	0,30	11,7
56	190	0,33	12,1	0,33	11,6
57	190	0,39	12,1	0,33	11,7
58	190	0,37	11,9	0,31	11,7
59	190	0,38	12,2	0,29	11,6
60	190	0,36	12,1	0,30	11,60

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 290 Hz)

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
1	290	0,35	11,6	0,33	11,6
2	290	0,35	11,6	0,33	11,6
3	290	0,36	11,6	0,33	11,6
4	290	0,36	11,6	0,33	11,6
5	290	0,36	11,6	0,33	11,6
6	290	0,35	11,6	0,33	11,6
7	290	0,35	11,6	0,33	11,6

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
8	290	0,35	11,6	0,33	11,6
9	290	0,35	11,6	0,33	11,6
10	290	0,35	11,6	0,33	11,6
11	290	0,35	11,6	0,33	11,6
12	290	0,35	11,6	0,33	11,6
13	290	0,35	11,6	0,33	11,6
14	290	0,33	11,8	0,29	11,7
15	290	0,36	11,7	0,34	11,6
16	290	0,36	11,7	0,33	11,6
17	290	0,36	11,7	0,33	11,7
18	290	0,36	11,7	0,33	11,7
19	290	0,33	11,7	0,32	11,7
20	290	0,37	11,8	0,31	11,7
21	290	0,37	11,8	0,32	11,7
22	290	0,37	11,8	0,34	11,7
23	290	0,37	11,8	0,38	11,7
24	290	0,38	11,8	0,32	11,7
25	290	0,35	11,8	0,31	11,7
26	290	0,35	11,9	0,32	11,7
27	290	0,34	11,8	0,30	11,7
28	290	0,35	11,9	0,33	11,7
29	290	0,37	11,8	0,29	11,6
30	290	0,35	11,8	0,30	11,6
31	290	0,37	11,8	0,34	11,7
32	290	0,32	11,8	0,29	11,7
33	290	0,36	11,8	0,30	11,7
34	290	0,37	11,8	0,33	11,6
35	290	0,36	11,9	0,33	11,7
36	290	0,38	11,9	0,34	11,8
37	290	0,33	11,9	0,31	11,7
38	290	0,34	11,9	0,32	11,7
39	290	0,34	11,9	0,31	11,7
40	290	0,34	11,8	0,30	11,6
41	290	0,34	11,9	0,31	11,7
42	290	0,34	11,9	0,32	11,7
43	290	0,38	11,9	0,31	11,7
44	290	0,38	11,9	0,34	11,7

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
45	290	0,35	11,9	0,32	11,7
46	290	0,35	11,9	0,31	11,7
47	290	0,36	11,9	0,32	11,7
48	290	0,35	11,9	0,31	11,7
49	290	0,34	11,9	0,31	11,7
50	290	0,39	11,9	0,35	11,7
51	290	0,37	11,8	0,33	11,7
52	290	0,38	11,8	0,34	11,7
53	290	0,38	11,9	0,31	11,7
54	290	0,33	11,9	0,30	11,7
55	290	0,38	11,8	0,33	11,7
56	290	0,35	11,9	0,30	11,7
57	290	0,39	11,8	0,35	11,7
58	290	0,34	11,9	0,33	11,7
59	290	0,37	11,8	0,35	11,7
60	290	0,39	11,9	0,34	11,70

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 390 Hz)

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
1	390	0,36	11,6	0,33	11,6
2	390	0,36	11,6	0,33	11,6
3	390	0,36	11,6	0,33	11,6
4	390	0,36	11,6	0,33	11,6
5	390	0,36	11,6	0,33	11,6
6	390	0,36	11,6	0,33	11,6
7	390	0,36	11,6	0,34	11,6
8	390	0,36	11,6	0,33	11,6
9	390	0,36	11,6	0,33	11,6
10	390	0,36	11,6	0,33	11,6
11	390	0,36	11,6	0,33	11,6
12	390	0,35	11,6	0,33	11,7
13	390	0,36	11,6	0,32	11,6
14	390	0,36	11,6	0,34	11,6
15	390	0,36	11,7	0,34	11,7
16	390	0,35	11,6	0,33	11,6

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
17	390	0,33	11,6	0,34	11,7
18	390	0,34	11,6	0,33	11,7
19	390	0,36	11,6	0,34	11,7
20	390	0,34	11,6	0,31	11,8
21	390	0,34	11,6	0,34	11,7
22	390	0,34	11,6	0,32	11,7
23	390	0,36	11,6	0,35	11,7
24	390	0,34	11,6	0,31	11,7
25	390	0,35	11,6	0,32	11,7
26	390	0,37	11,6	0,32	11,7
27	390	0,37	11,6	0,35	11,6
28	390	0,34	11,6	0,39	11,7
29	390	0,35	11,6	0,33	11,7
30	390	0,33	11,6	0,31	11,7
31	390	0,35	11,6	0,32	11,7
32	390	0,34	11,6	0,32	11,7
33	390	0,34	11,6	0,32	11,7
34	390	0,34	11,6	0,32	11,7
35	390	0,39	11,6	0,39	11,6
36	390	0,34	11,6	0,33	11,7
37	390	0,37	11,6	0,33	11,7
38	390	0,34	11,6	0,31	11,7
39	390	0,33	11,6	0,32	11,7
40	390	0,35	11,6	0,33	11,7
41	390	0,35	11,6	0,32	11,7
42	390	0,33	11,6	0,34	11,7
43	390	0,33	11,6	0,31	11,7
44	390	0,35	11,6	0,34	11,7
45	390	0,33	11,6	0,36	11,7
46	390	0,34	11,6	0,31	11,7
47	390	0,37	11,6	0,34	11,7
48	390	0,37	11,6	0,34	11,7
49	390	0,35	11,6	0,33	11,7
50	390	0,33	11,6	0,31	11,7
51	390	0,33	11,6	0,31	11,7
52	390	0,35	11,6	0,35	11,7
53	390	0,37	11,6	0,32	11,7

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
54	390	0,33	11,6	0,31	11,7
55	390	0,34	11,6	0,35	11,7
56	390	0,32	11,6	0,31	11,7
57	390	0,37	11,6	0,33	11,7
58	390	0,34	11,6	0,31	11,7
59	390	0,37	11,6	0,34	11,6
60	390	0,37	11,6	0,30	11,60

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 490 Hz)

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
1	490	0,36	11,6	0,33	11,6
2	490	0,36	11,6	0,33	11,6
3	490	0,36	11,6	0,33	11,6
4	490	0,36	11,6	0,33	11,6
5	490	0,36	11,6	0,33	11,6
6	490	0,36	11,6	0,34	11,6
7	490	0,36	11,6	0,34	11,6
8	490	0,36	11,6	0,34	11,6
9	490	0,32	11,6	0,34	11,6
10	490	0,36	11,6	0,31	11,7
11	490	0,36	11,6	0,33	11,6
12	490	0,36	11,6	0,34	11,6
13	490	0,36	11,6	0,34	11,6
14	490	0,36	11,6	0,31	11,7
15	490	0,36	11,7	0,34	11,6
16	490	0,34	11,6	0,30	11,7
17	490	0,33	11,6	0,34	11,7
18	490	0,32	11,6	0,29	11,7
19	490	0,33	11,6	0,30	11,7
20	490	0,36	11,6	0,31	11,6
21	490	0,38	11,6	0,30	11,7
22	490	0,33	11,6	0,30	11,7
23	490	0,37	11,6	0,35	11,6
24	490	0,32	11,6	0,31	11,7
25	490	0,34	11,6	0,35	11,6

t (s)	Frekuensi (Hz)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	I_{out} (A)	V_{out} (Volt)
26	490	0,37	11,6	0,34	11,6
27	490	0,35	11,6	0,30	11,7
28	490	0,32	11,6	0,34	11,6
29	490	0,36	11,6	0,33	11,7
30	490	0,32	11,6	0,31	11,7
31	490	0,35	11,6	0,30	11,7
32	490	0,36	11,6	0,34	11,7
33	490	0,36	11,6	0,34	11,6
34	490	0,33	11,6	0,30	11,7
35	490	0,33	11,6	0,31	11,7
36	490	0,38	11,6	0,35	11,6
37	490	0,33	11,6	0,30	11,7
38	490	0,34	11,6	0,31	11,7
39	490	0,33	11,6	0,38	11,7
40	490	0,37	11,6	0,35	11,6
41	490	0,37	11,6	0,31	11,7
42	490	0,34	11,6	0,32	11,7
43	490	0,34	11,6	0,31	11,7
44	490	0,34	11,6	0,32	11,7
45	490	0,38	11,6	0,32	11,7
46	490	0,36	11,6	0,33	11,7
47	490	0,39	11,6	0,32	11,7
48	490	0,38	11,6	0,35	11,6
49	490	0,34	11,6	0,35	11,7
50	490	0,34	11,6	0,32	11,7
51	490	0,34	11,6	0,31	11,7
52	490	0,35	11,6	0,32	11,7
53	490	0,35	11,6	0,32	11,7
54	490	0,35	11,6	0,33	11,7
55	490	0,34	11,6	0,36	11,7
56	490	0,38	11,6	0,32	11,7
57	490	0,37	11,6	0,33	11,7
58	490	0,34	11,6	0,36	11,7
59	490	0,37	11,6	0,32	11,7
60	490	0,34	11,6	0,32	11,7

Tabel 4.9 Daya Rata-rata Pengukuran *Power Supply* 12 Volt

Frekuensi (Hz)	ΣP_{in} (Watt)	ΣP_{out} (Watt)
190	4,181	3,773
290	4,208	3,769
390	4,067	3,848
490	4,004	3,805

4.3.2 Pengukuran Menggunakan Panel Surya

Pengukuran terakhir dilakukan dengan menghubungkan panel surya dengan *charge controller* untuk mengetahui kinerja alat dapat berfungsi dengan baik saat dihubungkan dengan panel surya.

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Menggunakan Panel Surya

I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	P_{in} (Watt)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	P_{out} (Watt)
15,90	0,68	10,81	16,00	0,67	10,72
16,00	0,69	11,04	16,10	0,64	10,30
16,10	0,56	9,02	16,20	0,54	8,75
16,50	0,64	10,56	16,50	0,61	10,07
16,70	0,72	12,02	16,90	0,69	11,66
16,80	0,83	13,94	16,90	0,79	13,35
16,90	0,71	12,00	17,00	0,68	11,56
17,30	0,78	13,49	17,20	0,75	12,90
16,70	0,72	12,02	17,20	0,75	12,90
16,60	0,71	11,79	17,90	0,79	14,14
16,70	0,59	9,85	16,30	0,56	9,13
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
17,00	0,71	12,07	16,90	0,68	11,49
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,30	0,75	12,98	17,20	0,70	12,04
17,00	0,71	12,07	16,90	0,69	11,66
16,70	0,59	9,85	16,30	0,56	9,13
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
16,90	0,71	12,00	17,00	0,68	11,56
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26

I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	P_{in} (Watt)	I_{in} (A)	V_{in} (Volt)	P_{out}(Watt)
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
17,00	0,71	12,07	16,90	0,68	11,49
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
16,70	0,72	12,02	16,90	0,69	11,66
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
16,70	0,72	12,02	17,20	0,75	12,90
16,60	0,71	11,79	17,90	0,79	14,14
16,70	0,59	9,85	16,30	0,56	9,13
17,30	0,78	13,49	17,20	0,75	12,90
17,30	0,78	13,49	17,20	0,75	12,90
16,70	0,72	12,02	16,90	0,69	11,66
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
16,70	0,72	12,02	17,20	0,75	12,90
17,00	0,71	12,07	16,90	0,68	11,49
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
17,00	0,71	12,07	16,90	0,68	11,49
16,70	0,72	12,02	17,20	0,75	12,90
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
16,70	0,72	12,02	16,90	0,69	11,66
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
16,70	0,72	12,02	16,90	0,69	11,66
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
17,00	0,71	12,07	16,80	0,67	11,26
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49
17,10	0,72	12,31	16,90	0,68	11,49

4.3.3 Perhitungan Efisiensi Daya

Berdasarkan hasil data arus dan tegangan pada tabel 4.5, tabel 4.6, tabel 4.7, dan tabel 4.8 yang telah ada, diperoleh rata-rata hasil daya. Maka dapat diketahui nilai efisiensi daya dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

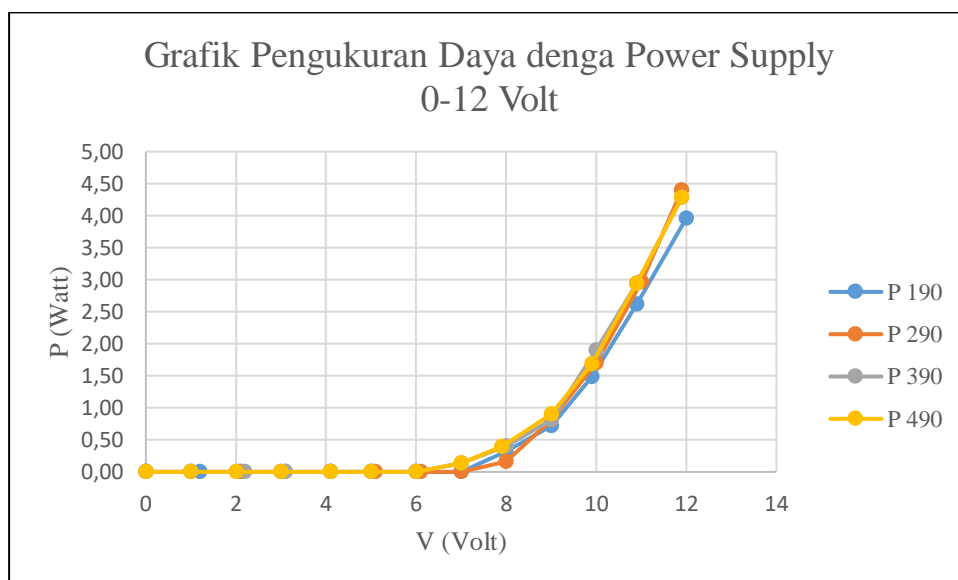
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (5.1)$$

Tabel 4.11 Perhitungan Efisiensi Daya

Frekuensi (Hz)	ΣP_{in} (Watt)	ΣP_{out} (Watt)	η (%)
190 Hz	4,181	3,773	90,23
290 Hz	4,208	3,769	89,57
390 Hz	4,067	3,848	94,63
490 Hz	4,004	3,805	95,02

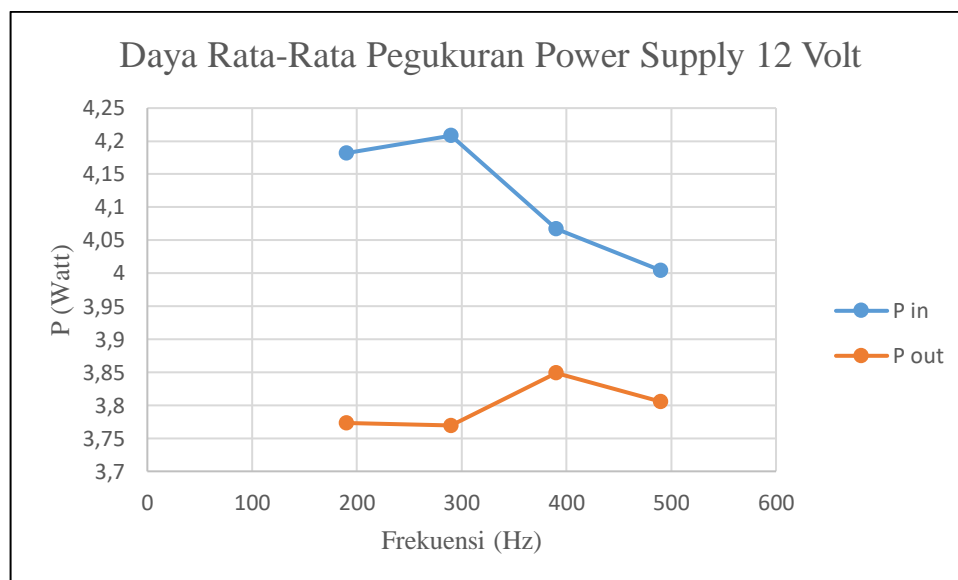
4.4 Analisis Data Hasil Penelitian

Setelah diperoleh data pada tabel 4.1, tabel 4.2, tabel 4.3 dan tabel 4.4 dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh variasi frekuensi pada daya yang dihasilkan seperti pada gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Daya Keluaran

Berdasarkan pada gambar 4.5 di atas dapat diketahui, bahwa frekuensi memiliki pengaruh pada daya keluaran. Arus yang keluar lebih cepat pada frekuensi 390 Hz dan 490 Hz, yakni pada saat diberi tegangan 7 Volt terdapat arus keluaran sebesar 0,02 Ampere. Sedangkan pada frekuensi 190 Hz dan 290 Hz, pada saat tegangan 8 Volt arus yang keluar sebesar 0,04 dan 0,02 Ampere. Akan tetapi daya yang dihasilkan paling tinggi berada pada frekuensi 290 Hz yang terlihat dengan pada grafik dengan garis merah. Sehingga dapat diketahui bahwa pemberian frekuensi yang maksimal membuat daya yang dihasilkan lebih maksimal juga.



Gambar 4.6 Daya Rata-rata Pengukuran *Power Supply* 12 Volt

Berdasarkan Grafik pada gambar 4.6 di atas, dapat diketahui bahwa daya keluaran paling besar pada frekuensi 290 Hz yakni sebesar 4,208 Watt. Hal tersebut dapat disebabkan oleh pemberian frekuensi sebesar 290 Hz merupakan rentang pertengahan dari kapasitas yang dapat dikeluarkan oleh Arduino sehingga arus keluaran yang dihasilkan lebih stabil dan menghasilkan daya yang lebih optimal. Sedangkan saat frekuensi yang diberikan melebihi 290 Hz, daya yang

dihasilkan menurun secara berkala. Hal ini dapat terjadi karena rentang frekuensi pin Arduino yang digunakan adalah pin 9 yang bekerja pada frekuensi 0 - 490 Hz. Semakin besar frekuensi yang diberikan semakin sulit MOSFET untuk naik turun sesuai PWMnya.

4.5 Pembahasan

Penelitian tentang pembuatan *charge controller* untuk penyimpanan daya pada panel surya berbasis Arduino Uno ini menghasilkan data berupa arus dan tegangan. Pembuatan alat ini menggunakan beberapa macam komponen-komponen elektronika seperti Dual Digital Voltmeter-Ampermeter, *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module*, dan sebuah mikrokontroler berupa Arduino Uno. Semuanya komponen di atas dirangkai sedemikian rupa seperti pada gambar 4.4. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan 2 sumber, yakni *power supply* dan panel surya. Penggunaan *power supply* digunakan untuk mengetahui pengaruh terhadap daya keluaran dengan masukan yang diberikan stabil. Sumber kedua yakni percobaan menggunakan panel surya, untuk mengetahui keluaran apabila masukan tidak terlalu stabil bergantung pada intensitas cahaya matahari yang ada.

Sebelum dilakukan perangkaian alat, terlebih dahulu dilakukan pengujian pada komponen-komponen yang ada yaitu pengujian panel surya, pengujian Dual Digital Voltmeter-Ampermeter, dan rangkaian *charge controller* yakni menguji *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module*. Berdasarkan spesifikasi panel surya yang telah digunakan yakni panel surya dengan tipe SP-20-P36 yang dapat menghasilkan tegangan maksimal saat tidak digunakan atau tanpa disambungkan dengan beban yakni 21,6 Volt. Sedangkan tegangan yang

dihasilkan saat digunakan atau dihubungkan dengan beban yakni 17,8 Volt. Sedangkan panel surya 20 Watt peak menunjukkan bahwa daya maksimal yang dapat dihasilkan yakni 20 Watt. Panel surya yang digunakan adalah panel surya tipe *Polycrystalline* yang memiliki susunan kristal acak.

Penggunaan panel surya tipe SP-20-P36 menunjang penggunaan metode *Pulse Width Modulation*(PWM), dikarenakan daya yang dihasilkan lebih maksimal untuk panel yang berdaya kecil. Sedangkan untuk penggunaan panel dengan skala besar lebih efektif menggunakan metode *Maximum Power Point Tracking*(MPPT). PWM mensuplai daya dalam jumlah kecil untuk menjaga baterai tetap penuh. Sehingga PWM cocok digunakan dalam skala kecil.

Pengujian panel surya yang telah dilakukan, diperoleh bahwa tegangan yang dihasilkan dapat mencapai 21,6 Volt pada saat sirkuit terbuka (V_{oc}) atau saat tidak ada beban yang disambungkan. Sedangkan berdasarkan pengambilan data menggunakan panel surya dapat diketahui bahwa panel memiliki tegangan pada daya maksimum (V_{mp}) mencapai ± 17 Volt. Berdasarkan data penelitian yang telah dihasilkan, daya yang dihasilkan belum mencapai daya maksimal panel yang dapat dihasilkan.

Pada pengujian *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module*, modul dapat menerima kontrol sinyal PWM dari Arduino yang dapat diketahui dengan kontrol *duty cycle* menggunakan potensiometer dan ditampilkan pada serial monitor Arduino Uno. Selanjutnya pengujian Dual Digital Voltmeter-Ampermeter berhasil dilakukan dengan tegangan dan arus yang mengalir ditampilkan pada layar LCD.

Berdasarkan hasil data dan grafik yang telah ditampilkan dapat diketahui bahwa frekuensi memiliki pengaruh yang cukup kecil terhadap perubahan tegangan dan arus keluaran yang ada. Pengaruh yang dihasilkan hanya berkisar $\pm 0,02$ Volt dan $\pm 0,03$ Ampere. Hal ini dapat terjadi dikarenakan *range* yang digunakan cukup kecil. Hanya berkisar dari 0 – 490 Hz. Dikarenakan pin Arduino Uno yang digunakan adalah pin 9 yang bekerja pada frekuensi hingga 490 Hz. Sedangkan *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module* dapat mengakses sinyal PWM dengan frekuensi sinyal 0 – 20 KHz dan daya mencapai 400 Watt.

Arduino menyediakan 20 pin I/O, yang terdiri dari 6 pin *input* analog dan 14 pin digital *input/output*. Untuk 6 pin analog sendiri bisa juga difungsikan sebagai *output* digital jika diperlukan *output* digital tambahan selain 14 pin yang sudah tersedia. Untuk mengubah pin analog menjadi digital cukup mengubah konfigurasi pin pada program. Dalam *board* kita bisa melihat pin digital diberi keterangan 0-13, jadi untuk menggunakan pin analog menjadi *output* digital, pin analog yang pada keterangan *board* 0-5 kita ubah menjadi pin 14-19. Dengan kata lain pin analog 0-5 berfungsi juga sebagai pin *output* digital 14-16 (Fadhullah, 2017).

Berdasarkan tabel pengukuran yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa data yang dihasilkan kurang stabil, baik menggunakan *power supply* dengan nilai masukan tetap atau menggunakan panel surya yang masukannya berubah-ubah sesuai intensitas cahaya matahari. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya batas kemampuan MOSFET untuk *on* dan *off* pada rentang yang dapat diatur. Semakin besar tegangan dan arus yang diberikan, semakin kecil rentang perubahan yang dapat dilakukan oleh *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module*.

Penyebab lainnya juga dapat dikarenakan adanya arus *feedback* untuk mengubah tegangan *output* atau arus yang tidak terpakai yang masuk kembali pada rangkaian, sehingga menimbulkan *noise* atau data yang tidak stabil.

4.6 Integrasi

Kita mengetahui bahwa segala yang diciptakan Allah SWT memiliki manfaatnya sendiri. Bergantung dari manusia itu mau berusaha berfikir dan mencarinya. Seperti pada Q.S Ali-imron ayat 190-191 di bawah ini:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَأَخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾
 الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ
 وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya : *Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): Ya Tuhan Kami, Tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, Maka peliharalah Kami dari siksa neraka. (QS. Ali-imron[3]:190-191).*

Istilah *ulūl-albāb* terdiri dari dua kata, yaitu *ulū* dan *al-albāb*. Yang pertama merupakan bentuk jamak yang bermakna *zawu* (mereka yang mempunyai). Sedang kata kedua “*al-albāb*” adalah bentuk jamak dari *lubb* yaitu saripati sesuatu. Kacang, misalnya memiliki kulit yang menutupi isinya. Isi kacang dinamai *lubb*. *Ulūl-albāb* adalah orang-orang yang memiliki akal murni, yang tidak diselubungi oleh kulit, yakni kabut ide, yang dapat melahirkan kerancuan dalam berfikir (Shihab, 2002).

Ayat tersebut memerintah manusia untuk berpikir, karena sesungguhnya dalam penciptaan, yakni benda-benda angkasa seperti matahari, bulan, dan jutaan gugusan bintang yang terdapat di langit atau dalam pengaturan sistem kerja langit yang sangat teliti serta kejadian dan perputaran bumi pada porosnya, yang melahirkan silih bergantinya malam dan siang perbedaannya, baik dalam masa maupun dalam panjang dan pendeknya terdapat tanda-tanda kemahakuasaan Allah bagi *ulūl-albāb*, yakni orang-orang yang memiliki akal yang murni (Shihab, 2002).

Allah SWT berfirman dalam Q.S Ali-imron ayat 190-191 yang menjelaskan tentang segala yang diciptakan oleh-Nya, semua itu merupakan tanda-tanda kebesaran Allah SWT yang bagi orang-orang yang memiliki akal yang sempurna. Apabila orang yang berakal dan beriman kepada Allah SWT maka mereka akan selalu ingat kepada Allah dalam keadaan apapun, baik duduk, berdiri, ataupun berbaring. Mereka memikirkan ciptaan Tuhan berupa langit dan bumi itu, mendalami dan merenungkan hikmah yang terkandung dalam ciptaan itu menandakan wujud-Nya Maha Pencipta yang Maha Agung dan Maha Kuasa. Dalam ayat ini, mengandung maksud dan perintah untuk mempelajari ilmu pengetahuan dan teknologi yang ada, karena manusia sebagai makhluk pilihan Allah SWT yang memiliki akal dan derajat tinggi, antara lain:

- a. Manusia diperintahkan untuk menggunakan akal pikiran dengan membaca, belajar, dan meneliti apa yang ada di alam semesta.
- b. Manusia sebagai khalifah di bumi, dengan dipilihnya nabi Adam sebagai pemimpin daripada makhluk ciptaan yang lain.

- c. Adanya ilmu pengetahuan dapat memperkuat keimanan manusia dan menjadikan dirinya memiliki derajat tinggi di dunia dan akhirat.

Salah satu tanda kebesaran Allah SWT yakni ciptaan-Nya yang berupa matahari. Dalam Q.S Yunus ayat 5 disebutkan:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ
السِّنِينَ وَالْحِسَابِ ۚ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ ۗ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ
يَعْلَمُونَ ﴿٥﴾

Artinya : *Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan bulan itu, supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui.*(QS. Yunus[10]:5).

Dalam ayat Q.S Yunus ayat 5 tersebut dijelaskan bahwa Allah SWT menciptakan langit dan bumi, menjadikan matahari memancarkan sinar dan bulan mengirimkan cahaya. Dialah yang menjelaskan bukti-bukti yang menunjukkan ketuhanan dan kesempurnaan kekuasaan-Nya di dalam kitab suci-Nya, agar dapat direnungi dengan ilmu pengetahuan. Matahari adalah benda langit yang menyala dan memancarkan sinar dari dirinya sendiri serta sebagai sumber kekuatan bagi bumi, seperti sinar dan panasnya (Shihab, 2002).

Berdasarkan kajian fisika, cahaya memiliki sifat dualisme yaitu cahaya sebagai gelombang dan cahaya juga bersifat seperti partikel atau disebut dengan foton. Foton adalah kuantum elektromagnet yang diserap atau dipancarkan dan sejalan dengan usulan planck, yakni setiap foton dari radiasi berfrekuensi ν

memiliki energi. Sedangkan kita tahu bahwa energi bersifat kekal yakni suatu energi bisa diubah menjadi energi lain. Dan pada energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik (Krane, 2014).

Allah telah menunjukkan kekuasaan dan kebesaran-Nya melalui salah satu ciptaan-Nya yakni matahari. Sinar matahari yang memancar ke bumi memberikan banyak sekali manfaat untuk makhluk hidup, baik manusia, hewan, dan tumbuhan. Sinar matahari yang melimpah inilah yang akhirnya membuat kita manusia sebagai makhluk-Nya berfikir untuk dapat memanfaatkannya dengan baik, salah satunya dengan menciptakan panel surya. Pemanfaatan panel surya dapat dilakukan mulai skala rumah tangga, industri, maupun untuk pembangkit listrik skala besar. Selain pemanfaatan dalam bidang energi, manfaat lainnya juga dikarenakan panel surya ramah lingkungan. Sehingga turut mengurangi gas emisi rumah kaca.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian tentang pembuatan kontrol penyimpanan daya untuk panel surya menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) yang telah dilakukan mendapatkan hasil yang telah dipaparkan pada bab IV. Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu.

- 1) Efisiensi daya yang dihasilkan oleh *charge controller* yang telah dibuat cukup baik, yakni rata-rata menghasilkan 92%. Efisiensi tertinggi diperoleh pada frekuensi 490 Hz sebesar 95% dan efisiensi terkecil pada frekuensi 290 Hz dengan 89%. Di sini dapat dilihat bahwa frekuensi yang paling tinggi menghasilkan daya yang paling maksimal. Sedangkan untuk frekuensi yang kecil data yang dihasilkan masih kurang stabil.
- 2) Pengaruh variasi frekuensi pada daya keluaran yang dihasilkan antara daya masuk dan keluar yakni memberikan perbedaan $\pm 0,4$ Watt sedangkan untuk tegangan $\pm 0,02$ Volt dan arus $\pm 0,03$ Ampere. Perbandingan daya yang dihasilkan cukup bagus sehingga menghasilkan daya keluaran yang hampir sama dengan sumber tegangan yang diberikan.

5.2 Saran

Adapun saran yang perlu disampaikan setelah melakukan penelitian ini yaitu.

- 1) Perlu ditingkatkan untuk komponen *charge controller* agar dapat diperoleh data yang stabil, dikarenakan penggunaan *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module* memiliki batas kemampuan untuk melakukan *on* dan *off* pada rentang tertentu.

- 2) Pengukuran arus dan tegangan dapat dilakukan menggunakan sensor arus dan tegangan yang dapat disesuaikan dengan rangkaian *charge controller* sehingga menghasilkan data yang lebih akurat.
- 3) Modul yang digunakan untuk *charge controller* yang memiliki rentang frekuensi cukup besar untuk menghasilkan perbedaan yang lebih signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, Darmana. 2010. *Tachometer Digital Sepeda Motor Berbasis Mikrokontroler AT89S51*. Skripsi Diterbitkan. Surakarta :Universitas Sebelas Maret.
- Al-Imam Abul Fida Isma'il Ibnu Katsir ad-Dimasyqi. 2002. *Terjemah Tafsir Ibnu Katsir Juz 1*, Bandung: Sinar Baru al-Gensindo.
- Al-Qur'an Tajwid dan Terjemahannya. 2010. Departemen Agama RI, Bandung: PT. Sygma Examedia Arkaleema.
- Ardhi, F. Z. 2011. *Rancang Bangun Charge Controller Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Skripsi Diterbitkan. Depok: Universitas Indonesia.
- Aribowo, Desmira, & Maulana, A. 2016. *Sistem Penghitung Jumlah Penumpang Bus Way Berbasis Mikrokontroler At89s51*, Jurnal SENTRUM, 5(1), 16-20.
- Astra, I Made dan Satwiko Sidopekso. 2011. *Studi rancang bangun Solar Charge Controller dengan indikator arus, tegangan dan suhu berbasis mikrokontroler ATMEGA 8535*, Jurnal Fisika dan Aplikasinya, XI(1), 21-24.
- Chamim, A. N. N. 2010. *Penggunaan Microcontroller Sebagai Pendeteksi Posisi dengan Menggunakan Sinyal GSM*, Jurnal Informatika, 4(1), 430-439.
- Dakkak, M., & Hasan, A. 2012. *A charge controller based on microcontroller in stand-alone photovoltaic systems*, Energy Procedia, 19, 87-90.
- Dinniyah, S. & Fournier, J. 2017. *Simulation of Buck-Boost Converter for Solar Panels using PID Controller*, Energy Procedia, 115, 102-113.
- Dunlop, J. P. 1997. *Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems. Solar Energy*. Florida: University of Central Florida.
- Dzulfikar, D. & Wisnu Broto. 2016. *Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya, Prosiding Seminar Nasional Fisika SNF2016*, V, 73-76.
- Fadhlullah, Khafid. 2017. *"Solar Tracking System Berbasis Arduino"*. Skripsi Diterbitkan. Makassar: UIN Alauddin Makassar.
- Goswani, D. Y. 2015. *Principles of Solar Engineering Third Edition (Third)*. New York: CRC Press.
- Kusuma, Yudhy Wiranatha Jaya, Noer soerdjawanto, Agus Trisanto, Dikpride Despa. 2015. *Rancang Banngun Penggerak Otomatis Panel Surya Menggunakan Sensor Photodiode Berbasis Mikrokontroler Atmega 16*. Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, 9(1), 12-20.
- Mahardika, I. G. N. A. Wijaya, I. W. A., & Rinas, I. Wayan. 2016. *Rancang*

Bangun Baterai Charge Control untuk Sistem Pengangkat Air Berbasis Arduino Uno Memanfaatkan Sumber PLTS, E-Journal SPEKTRUM, 3(1), 26–32.

Muchlis, M., & Permana, A. D. 2003. *Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN 2003 s.d. 2020*. Pengembangan Sistem Kelistrikan Dan Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang, 19-29.

Permana, E., & Desrianty, A. 2015. *Rancangan Alat Pengisi Daya Dengan Panel Surya (Solar Charging Bag) Menggunakan Quality Function Deployment (Qfd) **, Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, 3(4), 97-107.

Rahayu, Y., Amri R., & Hamdani E. 2017. *Perancangan Konverter DC ke DC untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell Menggunakan Teknologi Boost Converter*, Journal of Electrical Technology, 1099, 61–66.

Republik Indonesia. 2017. *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional*. Lembaran Negara RI Tahun 2017, Nomor 43. Jakarta: Sekretariat Kabinet RI.

Rusman. 2015. *Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell*. Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro, 4(2), 84-90.

Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah; Pesan, Kesan. dan Keserasian*. Alquran Vol. 5. Jakarta: Lentera Hati. Negara RI Tahun 2017 Nomor 43

Setiawan, F., Kirom, M. R., & Iskandar, R. F. 2016. *Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking Menggunakan Buck Converter dengan Metode Hill Climbing (Design Of Maximum Power Point Tracking Using Buck Converter With Hill Climbing Method)*, E-prociding of engineering, 3(2), 2019–2024.

Warman, B. 2016. *Rancang Bangun Pengisi Baterai dengan Solar Charger Controller Pada Sistem Peringatan Dini Tsunami*. Skripsi Diterbitkan. Padang: Politeknik Negeri Padang.

Yuliananda, S., Sarya, G., & Hastijanti, R. R. 2015. *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya*. Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya, 1(2), 193–202.

Tanpa Pengarang. 2015. *SP 20 P36*, (Online), (<http://www.solarpanelseries.com/sp-20/>) diakses tanggal 28 Februari 2018.

Tanpa Pengarang. 2017. *Cara Download dan Instalasi Software IDE Arduino pada Windows*, (Online), (<http://www.labelektronika.com/2017/03/cara-instalasi-software-ide-arduino-pada-windows.html?m=1>) diakses tanggal 15 Oktober 2018.

Tanpa Pengarang. 2017, *Popular Chinese Dual Digital-Voltmeters/Ammeters Models and Connections*, (Online), (http://www.electrosun.com/documentos/D_MD9059_0_MD9059%20DISPLAY%20LED_DOCUMENTACION.pdf) diakses tanggal 02 Januari 2021.

Tanpa Pengarang. Tanpa Tahun. *Arduino Uno*, (Online), (<https://www.datasheet.octopart.com/A000049-Arduino-datasheet-10591224.pdf>) diakses tanggal 03 Maret 2018.

Tanpa Pengarang. Tanpa Tahun. *High-Power MOSFET Trigger Switch Drive Module*, (Online), (<https://www.hotmcu.com/highpower-mosfet-trigger-switch-drive-module-p-318.html>) diakses tanggal 02 Januari 2021.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

A. Data Hasil Pengukuran

1. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 0 Volt – 12 Volt (Frekuensi 190 Hz)

No.	V _{in} (Volt)	I _{in} (A)	P _{in} (Watt)	V _{out} (Volt)	I _{out} (A)	P _{out} (Watt)
1	0	0	0,00	0	0	0,00
2	1	0	0,00	1,2	0	0,00
3	2	0	0,00	2,1	0	0,00
4	3	0	0,00	3,1	0	0,00
5	4	0	0,00	4,1	0	0,00
6	5	0	0,00	5	0	0,00
7	6	0	0,00	6	0	0,00
8	7	0	0,00	7	0	0,00
9	8	0	0,00	8	0,04	0,32
10	9	0,11	0,99	9	0,08	0,72
11	10	0,18	1,80	9,9	0,15	1,49
12	11	0,27	2,97	10,9	0,24	2,62
13	12	0,37	4,44	12	0,33	3,96

2. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 0 Volt – 12 Volt (Frekuensi 290 Hz)

No.	V _{in} (Volt)	I _{in} (A)	P _{in} (Watt)	V _{out} (Volt)	I _{out} (A)	P _{out} (Watt)
1	0	0	0,00	0	0	0,00
2	1	0	0,00	1	0	0,00
3	2	0	0,00	2,1	0	0,00
4	3	0	0,00	3	0	0,00
5	4	0	0,00	4,1	0	0,00
6	5	0	0,00	5,1	0	0,00
7	6	0	0,00	6,1	0	0,00
8	7	0	0,00	7	0	0,00
9	8	0,05	0,40	8	0,02	0,16
10	9	0,12	1,08	9	0,09	0,81
11	10	0,2	2,00	10	0,17	1,70
12	11	0,29	3,19	11	0,27	2,97
13	12	0,4	4,80	11,9	0,37	4,40

3. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 0 Volt – 12 Volt (Frekuensi 390 Hz)

No.	V _{in} (Volt)	I _{in} (A)	P _{in} (Watt)	V _{out} (Volt)	I _{out} (A)	P _{out} (Watt)
1	0	0	0,00	0	0	0,00
2	1	0	0,00	1	0	0,00

No.	V _{in} (Volt)	I _{in} (A)	P _{in} (Watt)	V _{out} (Volt)	I _{out} (A)	P _{out} (Watt)
3	2	0	0,00	2,2	0	0,00
4	3	0	0,00	3,1	0	0,00
5	4	0	0,00	4,1	0	0,00
6	5	0	0,00	5	0	0,00
7	6	0	0,00	6	0	0,00
8	7	0	0,00	7	0,02	0,14
9	8	0,08	0,64	8	0,05	0,40
10	9	0,12	1,08	9	0,09	0,81
11	10	0,21	2,10	10	0,19	1,90
12	11	0,3	3,30	10,9	0,27	2,94
13	12	0,39	4,68	11,9	0,36	4,28

4. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 0 Volt – 12 Volt (Frekuensi 490 Hz)

No.	V _{in} (Volt)	I _{in} (A)	P _{in} (Watt)	V _{out} (Volt)	I _{out} (A)	P _{out} (Watt)
1	0	0	0,00	0	0	0,00
2	1	0	0,00	1	0	0,00
3	2	0	0,00	2	0	0,00
4	3	0	0,00	3	0	0,00
5	4	0	0,00	4,1	0	0,00
6	5	0	0,00	5	0	0,00
7	6	0	0,00	6	0	0,00
8	7	0	0,00	7	0,02	0,14
9	8	0,08	0,64	7,9	0,05	0,40
10	9	0,12	1,08	9	0,1	0,90
11	10	0,21	2,10	9,9	0,17	1,68
12	11	0,3	3,30	10,9	0,27	2,94
13	12	0,39	4,68	11,9	0,36	4,28

5. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 190 Hz) ke-1

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	190	0,33	11,6	0,35	11,6
2	190	0,33	11,6	0,35	11,6
3	190	0,33	11,6	0,35	11,6
4	190	0,33	11,6	0,35	11,6
5	190	0,33	11,6	0,35	11,6
6	190	0,33	11,6	0,35	11,6
7	190	0,33	11,6	0,35	11,6
8	190	0,33	11,6	0,35	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
9	190	0,33	11,6	0,35	11,6
10	190	0,33	11,6	0,35	11,6
11	190	0,33	11,6	0,35	11,6
12	190	0,33	11,6	0,35	11,6
13	190	0,33	11,6	0,35	11,6
14	190	0,33	11,6	0,35	11,6
15	190	0,33	11,6	0,35	11,6
16	190	0,33	11,6	0,35	11,6
17	190	0,33	11,6	0,35	11,6
18	190	0,33	11,6	0,35	11,6
19	190	0,33	11,6	0,36	11,6
20	190	0,33	11,6	0,35	11,6
21	190	0,33	11,6	0,36	11,6
22	190	0,33	11,6	0,36	11,6
23	190	0,33	11,6	0,36	11,6
24	190	0,33	11,6	0,36	11,6
25	190	0,33	11,6	0,36	11,6
26	190	0,33	11,6	0,36	11,6
27	190	0,34	11,6	0,37	11,6
28	190	0,34	11,6	0,37	11,6
29	190	0,34	11,6	0,37	11,6
30	190	0,33	11,7	0,36	11,7
31	190	0,30	11,7	0,36	11,8
32	190	0,30	11,8	0,33	11,8
33	190	0,33	11,7	0,37	11,6
34	190	0,33	11,7	0,37	11,6
35	190	0,33	11,6	0,37	11,6
36	190	0,33	11,6	0,36	11,7
37	190	0,33	11,6	0,36	11,8
38	190	0,34	11,6	0,33	11,8
39	190	0,32	11,7	0,37	11,6
40	190	0,33	11,6	0,37	11,6
41	190	0,33	11,6	0,37	11,6
42	190	0,32	11,7	0,36	11,7
43	190	0,33	11,6	0,36	11,8
44	190	0,29	11,6	0,33	11,8

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
45	190	0,32	11,6	0,37	11,6
46	190	0,33	11,7	0,36	11,7
47	190	0,38	11,6	0,38	11,8
48	190	0,33	11,6	0,33	11,9
49	190	0,33	11,6	0,33	11,8
50	190	0,31	11,6	0,37	12
51	190	0,33	11,6	0,39	12,2
52	190	0,29	11,7	0,37	12,1
53	190	0,28	11,6	0,38	11,9
54	190	0,30	11,6	0,33	11,9
55	190	0,30	11,7	0,33	12,1
56	190	0,33	11,6	0,33	12,1
57	190	0,33	11,7	0,39	12,1
58	190	0,31	11,7	0,37	11,9
59	190	0,29	11,6	0,38	12,2
60	190	0,30	11,60	0,36	12,1

6. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 190 Hz) ke-2

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	190	0,35	11,6	0,33	11,6
2	190	0,35	11,6	0,33	11,6
3	190	0,35	11,6	0,33	11,6
4	190	0,35	11,6	0,33	11,6
5	190	0,35	11,6	0,33	11,6
6	190	0,35	11,6	0,33	11,6
7	190	0,35	11,6	0,33	11,6
8	190	0,35	11,6	0,33	11,6
9	190	0,35	11,6	0,33	11,6
10	190	0,35	11,6	0,33	11,6
11	190	0,35	11,6	0,33	11,6
12	190	0,35	11,6	0,33	11,6
13	190	0,35	11,6	0,33	11,6
14	190	0,35	11,6	0,33	11,6
15	190	0,35	11,6	0,33	11,6
16	190	0,35	11,6	0,33	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
17	190	0,35	11,6	0,33	11,6
18	190	0,35	11,6	0,33	11,6
19	190	0,36	11,6	0,33	11,6
20	190	0,35	11,6	0,33	11,6
21	190	0,36	11,6	0,33	11,6
22	190	0,36	11,6	0,33	11,6
23	190	0,36	11,6	0,33	11,6
24	190	0,36	11,6	0,33	11,6
25	190	0,36	11,6	0,33	11,6
26	190	0,37	11,6	0,33	11,6
27	190	0,37	11,6	0,34	11,6
28	190	0,37	11,6	0,34	11,6
29	190	0,36	11,7	0,34	11,6
30	190	0,36	11,8	0,33	11,7
31	190	0,36	11,8	0,30	11,6
32	190	0,33	11,8	0,33	11,7
33	190	0,37	11,6	0,33	11,7
34	190	0,37	11,6	0,33	11,7
35	190	0,37	11,6	0,33	11,6
36	190	0,36	11,7	0,33	11,6
37	190	0,36	11,8	0,32	11,6
38	190	0,33	11,8	0,33	11,6
39	190	0,37	11,6	0,32	11,6
40	190	0,37	11,6	0,33	11,6
41	190	0,36	11,6	0,33	11,6
42	190	0,36	11,6	0,32	11,7
43	190	0,36	11,7	0,33	11,6
44	190	0,33	11,8	0,30	11,6
45	190	0,36	11,6	0,30	11,6
46	190	0,36	11,7	0,33	11,7
47	190	0,38	11,8	0,38	11,6
48	190	0,33	11,9	0,33	11,6
49	190	0,33	11,8	0,33	11,6
50	190	0,37	12	0,31	11,6
51	190	0,39	12,2	0,33	11,6
52	190	0,37	12,1	0,29	11,7

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
53	190	0,38	11,9	0,28	11,6
54	190	0,33	11,9	0,29	11,7
55	190	0,33	12,1	0,30	11,7
56	190	0,33	12,1	0,31	11,6
57	190	0,39	12,1	0,33	11,7
58	190	0,37	11,9	0,31	11,7
59	190	0,38	12,2	0,29	11,6
60	190	0,36	12,1	0,30	11,60

7. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 190 Hz) ke-3

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	190	0,35	11,6	0,33	11,6
2	190	0,35	11,6	0,33	11,6
3	190	0,35	11,6	0,33	11,6
4	190	0,35	11,6	0,33	11,6
5	190	0,35	11,6	0,33	11,6
6	190	0,35	11,6	0,33	11,6
7	190	0,35	11,6	0,33	11,6
8	190	0,35	11,6	0,33	11,6
9	190	0,36	11,6	0,33	11,6
10	190	0,36	11,6	0,34	11,7
11	190	0,35	11,6	0,33	11,6
12	190	0,35	11,6	0,33	11,6
13	190	0,35	11,6	0,33	11,6
14	190	0,36	11,6	0,33	11,6
15	190	0,35	11,6	0,33	11,6
16	190	0,35	11,6	0,33	11,6
17	190	0,35	11,6	0,34	11,6
18	190	0,36	11,6	0,33	11,6
19	190	0,35	11,6	0,33	11,6
20	190	0,35	11,6	0,33	11,6
21	190	0,35	11,6	0,33	11,6
22	190	0,36	11,6	0,33	11,6
23	190	0,36	11,6	0,33	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
24	190	0,35	11,6	0,33	11,6
25	190	0,36	11,6	0,33	11,6
26	190	0,37	11,6	0,32	11,7
27	190	0,37	11,6	0,33	11,6
28	190	0,37	11,6	0,30	11,6
29	190	0,36	11,7	0,33	11,6
30	190	0,36	11,7	0,33	11,7
31	190	0,36	11,7	0,38	11,6
32	190	0,33	11,7	0,33	11,6
33	190	0,37	11,6	0,33	11,7
34	190	0,37	11,6	0,33	11,7
35	190	0,37	11,6	0,33	11,6
36	190	0,36	11,7	0,32	11,6
37	190	0,36	11,8	0,33	11,6
38	190	0,33	11,8	0,33	11,6
39	190	0,37	11,6	0,30	11,6
40	190	0,37	11,6	0,33	11,6
41	190	0,36	11,7	0,33	11,6
42	190	0,36	11,6	0,33	11,6
43	190	0,36	11,7	0,34	11,6
44	190	0,33	11,8	0,34	11,6
45	190	0,37	11,8	0,34	11,6
46	190	0,37	11,8	0,33	11,7
47	190	0,36	11,8	0,30	11,6
48	190	0,33	11,9	0,29	11,6
49	190	0,33	11,8	0,33	11,6
50	190	0,37	12	0,30	11,6
51	190	0,38	12	0,33	11,6
52	190	0,37	12,1	0,30	11,7
53	190	0,38	11,9	0,28	11,6
54	190	0,33	11,9	0,29	11,7
55	190	0,33	12	0,30	11,7
56	190	0,33	12	0,33	11,6
57	190	0,39	12,1	0,33	11,7
58	190	0,37	12	0,31	11,7
59	190	0,38	12,2	0,29	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
60	190	0,36	12,1	0,30	11,60

8. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 290 Hz) ke-1

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	290	0,33	11,6	0,35	11,6
2	290	0,33	11,6	0,35	11,6
3	290	0,33	11,6	0,36	11,6
4	290	0,33	11,6	0,36	11,6
5	290	0,33	11,6	0,36	11,6
6	290	0,33	11,6	0,35	11,6
7	290	0,33	11,6	0,35	11,6
8	290	0,33	11,6	0,35	11,6
9	290	0,33	11,6	0,35	11,6
10	290	0,33	11,6	0,35	11,6
11	290	0,33	11,6	0,35	11,6
12	290	0,33	11,6	0,35	11,6
13	290	0,33	11,6	0,35	11,6
14	290	0,29	11,7	0,33	11,8
15	290	0,34	11,6	0,36	11,7
16	290	0,33	11,6	0,36	11,7
17	290	0,33	11,7	0,36	11,7
18	290	0,33	11,7	0,36	11,7
19	290	0,32	11,7	0,33	11,7
20	290	0,31	11,7	0,37	11,8
21	290	0,32	11,7	0,37	11,8
22	290	0,34	11,7	0,37	11,8
23	290	0,38	11,7	0,37	11,8
24	290	0,32	11,7	0,38	11,8
25	290	0,31	11,7	0,35	11,8
26	290	0,32	11,7	0,35	11,9
27	290	0,30	11,7	0,34	11,8
28	290	0,33	11,7	0,35	11,9
29	290	0,29	11,6	0,37	11,8
30	290	0,30	11,6	0,35	11,8

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
31	290	0,34	11,7	0,37	11,8
32	290	0,29	11,7	0,32	11,8
33	290	0,30	11,7	0,36	11,8
34	290	0,33	11,6	0,37	11,8
35	290	0,33	11,7	0,36	11,9
36	290	0,34	11,8	0,38	11,9
37	290	0,31	11,7	0,33	11,9
38	290	0,32	11,7	0,34	11,9
39	290	0,31	11,7	0,34	11,9
40	290	0,30	11,6	0,34	11,8
41	290	0,31	11,7	0,34	11,9
42	290	0,32	11,7	0,34	11,9
43	290	0,31	11,7	0,38	11,9
44	290	0,34	11,7	0,38	11,9
45	290	0,32	11,7	0,35	11,9
46	290	0,31	11,7	0,35	11,9
47	290	0,32	11,7	0,36	11,9
48	290	0,31	11,7	0,35	11,9
49	290	0,31	11,7	0,34	11,9
50	290	0,35	11,7	0,39	11,9
51	290	0,33	11,7	0,37	11,8
52	290	0,34	11,7	0,38	11,8
53	290	0,31	11,7	0,38	11,9
54	290	0,30	11,7	0,33	11,9
55	290	0,33	11,7	0,38	11,8
56	290	0,30	11,7	0,35	11,9
57	290	0,35	11,7	0,39	11,8
58	290	0,33	11,7	0,34	11,9
59	290	0,35	11,7	0,37	11,8
60	290	0,34	11,70	0,39	11,9

9. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 290 Hz) ke-2

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	290	0,35	11,6	0,33	11,6
2	290	0,35	11,6	0,33	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
3	290	0,36	11,6	0,33	11,6
4	290	0,36	11,6	0,33	11,6
5	290	0,36	11,6	0,33	11,6
6	290	0,35	11,6	0,33	11,6
7	290	0,36	11,7	0,33	11,6
8	290	0,36	11,7	0,33	11,7
9	290	0,33	11,7	0,31	11,7
10	290	0,37	11,8	0,31	11,7
11	290	0,37	11,8	0,31	11,7
12	290	0,37	11,8	0,34	11,7
13	290	0,35	11,6	0,38	11,7
14	290	0,33	11,8	0,29	11,7
15	290	0,36	11,7	0,34	11,6
16	290	0,36	11,7	0,34	11,6
17	290	0,36	11,7	0,34	11,7
18	290	0,35	11,6	0,33	11,6
19	290	0,35	11,6	0,33	11,6
20	290	0,35	11,6	0,33	11,6
21	290	0,35	11,6	0,33	11,6
22	290	0,35	11,6	0,33	11,6
23	290	0,37	11,8	0,33	11,6
24	290	0,37	11,7	0,32	11,7
25	290	0,35	11,8	0,31	11,7
26	290	0,36	11,8	0,32	11,7
27	290	0,35	11,7	0,30	11,7
28	290	0,35	11,9	0,33	11,7
29	290	0,37	11,8	0,29	11,6
30	290	0,35	11,8	0,30	11,6
31	290	0,37	11,8	0,34	11,7
32	290	0,32	11,8	0,29	11,7
33	290	0,38	11,9	0,29	11,7
34	290	0,38	11,9	0,33	11,6
35	290	0,35	11,9	0,33	11,7
36	290	0,35	11,9	0,34	11,7
37	290	0,36	11,9	0,31	11,7
38	290	0,35	11,9	0,30	11,7

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
39	290	0,34	11,9	0,33	11,7
40	290	0,34	11,8	0,30	11,6
41	290	0,34	11,9	0,31	11,7
42	290	0,34	11,9	0,32	11,7
43	290	0,36	11,8	0,31	11,7
44	290	0,37	11,8	0,34	11,7
45	290	0,36	11,9	0,32	11,7
46	290	0,38	11,9	0,30	11,8
47	290	0,33	11,9	0,32	11,7
48	290	0,34	11,9	0,31	11,7
49	290	0,34	11,9	0,31	11,7
50	290	0,39	11,9	0,35	11,7
51	290	0,37	11,8	0,33	11,7
52	290	0,38	11,8	0,34	11,8
53	290	0,38	11,9	0,31	11,7
54	290	0,33	11,9	0,32	11,7
55	290	0,38	11,8	0,31	11,7
56	290	0,35	11,9	0,30	11,8
57	290	0,39	11,8	0,35	11,7
58	290	0,34	11,9	0,33	11,7
59	290	0,37	11,8	0,35	11,7
60	290	0,39	11,9	0,34	11,7

10. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 290 Hz) ke-3

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	290	0,35	11,6	0,33	11,6
2	290	0,35	11,6	0,33	11,6
3	290	0,36	11,6	0,33	11,6
4	290	0,36	11,6	0,33	11,6
5	290	0,35	11,6	0,33	11,6
6	290	0,33	11,8	0,33	11,6
7	290	0,36	11,7	0,33	11,6
8	290	0,36	11,7	0,33	11,6
9	290	0,36	11,7	0,32	11,7
10	290	0,35	11,6	0,31	11,7

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
11	290	0,37	11,8	0,31	11,7
12	290	0,37	11,8	0,34	11,7
13	290	0,36	11,6	0,38	11,7
14	290	0,33	11,6	0,29	11,7
15	290	0,36	11,7	0,34	11,6
16	290	0,36	11,7	0,34	11,6
17	290	0,33	11,7	0,34	11,7
18	290	0,37	11,8	0,33	11,6
19	290	0,35	11,6	0,33	11,6
20	290	0,35	11,6	0,33	11,6
21	290	0,35	11,6	0,33	11,6
22	290	0,35	11,6	0,31	11,7
23	290	0,37	11,8	0,30	11,7
24	290	0,37	11,7	0,33	11,7
25	290	0,36	11,8	0,30	11,6
26	290	0,36	11,8	0,31	11,7
27	290	0,35	11,7	0,32	11,7
28	290	0,35	11,8	0,33	11,7
29	290	0,37	11,8	0,29	11,6
30	290	0,35	11,8	0,30	11,6
31	290	0,36	11,8	0,34	11,7
32	290	0,32	11,8	0,29	11,7
33	290	0,38	11,9	0,29	11,7
34	290	0,38	11,9	0,33	11,6
35	290	0,36	11,9	0,33	11,7
36	290	0,35	11,9	0,34	11,7
37	290	0,36	11,9	0,33	11,6
38	290	0,35	11,9	0,33	11,7
39	290	0,34	11,8	0,31	11,7
40	290	0,34	11,8	0,31	11,7
41	290	0,34	11,9	0,32	11,7
42	290	0,34	11,9	0,30	11,7
43	290	0,36	11,8	0,31	11,7
44	290	0,37	11,9	0,34	11,7
45	290	0,36	11,9	0,33	11,7
46	290	0,37	11,9	0,31	11,7

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
47	290	0,34	11,9	0,32	11,7
48	290	0,34	11,9	0,31	11,7
49	290	0,34	11,9	0,30	11,8
50	290	0,39	11,9	0,31	11,7
51	290	0,37	11,8	0,33	11,7
52	290	0,38	11,8	0,34	11,8
53	290	0,38	11,9	0,30	11,8
54	290	0,33	11,9	0,32	11,7
55	290	0,38	11,8	0,31	11,7
56	290	0,35	11,9	0,31	11,7
57	290	0,39	11,8	0,35	11,7
58	290	0,34	11,9	0,33	11,7
59	290	0,37	11,8	0,35	11,7
60	290	0,39	11,9	0,34	11,7

11. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 390 Hz) ke-1

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	390	0,33	11,6	0,36	11,6
2	390	0,33	11,6	0,36	11,6
3	390	0,33	11,6	0,36	11,6
4	390	0,33	11,6	0,36	11,6
5	390	0,33	11,6	0,36	11,6
6	390	0,33	11,6	0,36	11,6
7	390	0,34	11,6	0,36	11,6
8	390	0,33	11,6	0,36	11,6
9	390	0,33	11,6	0,36	11,6
10	390	0,33	11,6	0,36	11,6
11	390	0,33	11,6	0,36	11,6
12	390	0,33	11,7	0,35	11,6
13	390	0,32	11,6	0,36	11,6
14	390	0,34	11,6	0,36	11,6
15	390	0,34	11,7	0,36	11,7
16	390	0,33	11,6	0,35	11,6
17	390	0,34	11,7	0,33	11,6
18	390	0,33	11,7	0,34	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
19	390	0,34	11,7	0,36	11,6
20	390	0,31	11,8	0,34	11,6
21	390	0,34	11,7	0,34	11,6
22	390	0,32	11,7	0,34	11,6
23	390	0,35	11,7	0,36	11,6
24	390	0,31	11,7	0,34	11,6
25	390	0,32	11,7	0,35	11,6
26	390	0,32	11,7	0,37	11,6
27	390	0,35	11,6	0,37	11,6
28	390	0,39	11,7	0,34	11,6
29	390	0,33	11,7	0,35	11,6
30	390	0,31	11,7	0,33	11,6
31	390	0,32	11,7	0,35	11,6
32	390	0,32	11,7	0,34	11,6
33	390	0,32	11,7	0,34	11,6
34	390	0,32	11,7	0,34	11,6
35	390	0,39	11,6	0,39	11,6
36	390	0,33	11,7	0,34	11,6
37	390	0,33	11,7	0,37	11,6
38	390	0,31	11,7	0,34	11,6
39	390	0,32	11,7	0,33	11,6
40	390	0,33	11,7	0,35	11,6
41	390	0,32	11,7	0,35	11,6
42	390	0,34	11,7	0,33	11,6
43	390	0,31	11,7	0,33	11,6
44	390	0,34	11,7	0,35	11,6
45	390	0,36	11,7	0,33	11,6
46	390	0,31	11,7	0,34	11,6
47	390	0,34	11,7	0,37	11,6
48	390	0,34	11,7	0,37	11,6
49	390	0,33	11,7	0,35	11,6
50	390	0,31	11,7	0,33	11,6
51	390	0,31	11,7	0,33	11,6
52	390	0,35	11,7	0,35	11,6
53	390	0,32	11,7	0,37	11,6
54	390	0,31	11,7	0,33	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
55	390	0,35	11,7	0,34	11,6
56	390	0,31	11,7	0,32	11,6
57	390	0,33	11,7	0,37	11,6
58	390	0,31	11,7	0,34	11,6
59	390	0,34	11,6	0,37	11,6
60	390	0,30	11,60	0,37	11,6

12. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 390 Hz) ke-2

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	390	0,36	11,6	0,33	11,6
2	390	0,36	11,6	0,33	11,6
3	390	0,35	11,6	0,33	11,6
4	390	0,36	11,6	0,33	11,7
5	390	0,36	11,6	0,32	11,6
6	390	0,36	11,7	0,31	11,8
7	390	0,36	11,6	0,34	11,7
8	390	0,36	11,6	0,33	11,7
9	390	0,36	11,6	0,34	11,7
10	390	0,36	11,6	0,32	11,7
11	390	0,36	11,6	0,34	11,7
12	390	0,36	11,7	0,33	11,7
13	390	0,36	11,6	0,34	11,7
14	390	0,36	11,6	0,34	11,6
15	390	0,36	11,6	0,34	11,6
16	390	0,34	11,6	0,33	11,6
17	390	0,34	11,6	0,32	11,7
18	390	0,34	11,6	0,35	11,6
19	390	0,35	11,6	0,38	11,7
20	390	0,35	11,6	0,33	11,7
21	390	0,34	11,6	0,31	11,6
22	390	0,34	11,6	0,32	11,7
23	390	0,36	11,7	0,35	11,7
24	390	0,35	11,6	0,32	11,7
25	390	0,35	11,6	0,32	11,7
26	390	0,37	11,7	0,33	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
27	390	0,37	11,6	0,33	11,6
28	390	0,34	11,6	0,33	11,6
29	390	0,35	11,6	0,32	11,6
30	390	0,33	11,6	0,34	11,6
31	390	0,35	11,6	0,32	11,7
32	390	0,33	11,6	0,32	11,7
33	390	0,33	11,6	0,32	11,7
34	390	0,35	11,6	0,32	11,7
35	390	0,33	11,6	0,38	11,6
36	390	0,34	11,6	0,33	11,7
37	390	0,37	11,6	0,33	11,7
38	390	0,34	11,6	0,31	11,6
39	390	0,33	11,6	0,32	11,7
40	390	0,35	11,6	0,31	11,7
41	390	0,35	11,6	0,35	11,7
42	390	0,34	11,6	0,32	11,7
43	390	0,34	11,6	0,31	11,6
44	390	0,34	11,6	0,35	11,7
45	390	0,39	11,6	0,31	11,7
46	390	0,34	11,6	0,31	11,6
47	390	0,36	11,6	0,34	11,7
48	390	0,37	11,6	0,34	11,7
49	390	0,36	11,6	0,33	11,7
50	390	0,33	11,6	0,31	11,7
51	390	0,35	11,6	0,33	11,7
52	390	0,35	11,6	0,32	11,7
53	390	0,35	11,6	0,34	11,7
54	390	0,34	11,6	0,32	11,7
55	390	0,34	11,6	0,34	11,7
56	390	0,32	11,6	0,36	11,7
57	390	0,34	11,6	0,33	11,7
58	390	0,34	11,6	0,32	11,6
59	390	0,37	11,6	0,35	11,7
60	390	0,37	11,6	0,31	11,6

13. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 390 Hz) ke-3

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	390	0,36	11,6	0,33	11,6
2	390	0,36	11,6	0,33	11,6
3	390	0,35	11,6	0,33	11,6
4	390	0,36	11,6	0,33	11,7
5	390	0,36	11,6	0,32	11,6
6	390	0,36	11,6	0,31	11,8
7	390	0,36	11,6	0,33	11,7
8	390	0,36	11,6	0,34	11,7
9	390	0,36	11,6	0,34	11,6
10	390	0,36	11,6	0,34	11,6
11	390	0,36	11,6	0,33	11,6
12	390	0,36	11,7	0,34	11,7
13	390	0,36	11,6	0,33	11,7
14	390	0,36	11,6	0,34	11,7
15	390	0,36	11,6	0,32	11,7
16	390	0,34	11,6	0,34	11,7
17	390	0,34	11,6	0,32	11,7
18	390	0,34	11,6	0,35	11,6
19	390	0,34	11,6	0,38	11,7
20	390	0,35	11,6	0,33	11,7
21	390	0,34	11,6	0,31	11,6
22	390	0,34	11,6	0,32	11,7
23	390	0,35	11,7	0,31	11,7
24	390	0,35	11,6	0,35	11,7
25	390	0,33	11,6	0,32	11,7
26	390	0,34	11,6	0,33	11,6
27	390	0,37	11,6	0,33	11,6
28	390	0,35	11,6	0,33	11,6
29	390	0,33	11,6	0,32	11,6
30	390	0,35	11,6	0,34	11,6
31	390	0,35	11,6	0,32	11,7
32	390	0,33	11,6	0,32	11,7
33	390	0,33	11,6	0,32	11,7
34	390	0,35	11,6	0,32	11,7

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
35	390	0,35	11,6	0,38	11,6
36	390	0,37	11,7	0,33	11,7
37	390	0,37	11,7	0,33	11,7
38	390	0,34	11,6	0,31	11,6
39	390	0,35	11,6	0,32	11,7
40	390	0,33	11,6	0,35	11,7
41	390	0,35	11,6	0,32	11,7
42	390	0,34	11,6	0,32	11,7
43	390	0,34	11,6	0,31	11,6
44	390	0,34	11,6	0,35	11,7
45	390	0,39	11,7	0,31	11,6
46	390	0,34	11,6	0,31	11,6
47	390	0,36	11,6	0,34	11,7
48	390	0,36	11,6	0,34	11,7
49	390	0,35	11,6	0,33	11,7
50	390	0,33	11,6	0,31	11,7
51	390	0,36	11,6	0,33	11,7
52	390	0,35	11,6	0,32	11,7
53	390	0,35	11,6	0,34	11,7
54	390	0,34	11,6	0,32	11,7
55	390	0,34	11,6	0,34	11,7
56	390	0,32	11,6	0,35	11,7
57	390	0,37	11,6	0,33	11,7
58	390	0,34	11,6	0,32	11,6
59	390	0,37	11,6	0,35	11,7
60	390	0,37	11,6	0,31	11,6

14. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 490 Hz) ke -1

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	490	0,33	11,6	0,36	11,6
2	490	0,33	11,6	0,36	11,6
3	490	0,33	11,6	0,36	11,6
4	490	0,33	11,6	0,36	11,6
5	490	0,33	11,6	0,36	11,6
6	490	0,34	11,6	0,36	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
7	490	0,34	11,6	0,36	11,6
8	490	0,34	11,6	0,36	11,6
9	490	0,34	11,6	0,32	11,6
10	490	0,31	11,7	0,36	11,6
11	490	0,33	11,6	0,36	11,6
12	490	0,34	11,6	0,36	11,6
13	490	0,34	11,6	0,36	11,6
14	490	0,31	11,7	0,36	11,6
15	490	0,34	11,6	0,36	11,7
16	490	0,30	11,7	0,34	11,6
17	490	0,34	11,7	0,33	11,6
18	490	0,29	11,7	0,32	11,6
19	490	0,30	11,7	0,33	11,6
20	490	0,31	11,6	0,36	11,6
21	490	0,30	11,7	0,38	11,6
22	490	0,30	11,7	0,33	11,6
23	490	0,35	11,6	0,37	11,6
24	490	0,31	11,7	0,32	11,6
25	490	0,35	11,6	0,34	11,6
26	490	0,34	11,6	0,37	11,6
27	490	0,30	11,7	0,35	11,6
28	490	0,34	11,6	0,32	11,6
29	490	0,33	11,7	0,36	11,6
30	490	0,31	11,7	0,32	11,6
31	490	0,30	11,7	0,35	11,6
32	490	0,34	11,7	0,36	11,6
33	490	0,34	11,6	0,36	11,6
34	490	0,30	11,7	0,33	11,6
35	490	0,31	11,7	0,33	11,6
36	490	0,35	11,6	0,38	11,6
37	490	0,30	11,7	0,33	11,6
38	490	0,31	11,7	0,34	11,6
39	490	0,38	11,7	0,33	11,6
40	490	0,35	11,6	0,37	11,6
41	490	0,31	11,7	0,37	11,6
42	490	0,32	11,7	0,34	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
43	490	0,31	11,7	0,34	11,6
44	490	0,32	11,7	0,34	11,6
45	490	0,32	11,7	0,38	11,6
46	490	0,33	11,7	0,36	11,6
47	490	0,32	11,7	0,39	11,6
48	490	0,35	11,6	0,38	11,6
49	490	0,35	11,7	0,34	11,6
50	490	0,32	11,7	0,34	11,6
51	490	0,31	11,7	0,34	11,6
52	490	0,32	11,7	0,35	11,6
53	490	0,32	11,7	0,35	11,6
54	490	0,33	11,7	0,35	11,6
55	490	0,36	11,7	0,34	11,6
56	490	0,32	11,7	0,38	11,6
57	490	0,33	11,7	0,37	11,6
58	490	0,36	11,7	0,34	11,6
59	490	0,32	11,7	0,37	11,6
60	490	0,32	11,7	0,34	11,6

15. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 490 Hz) ke -2

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	490	0,36	11,6	0,33	11,6
2	490	0,36	11,6	0,33	11,6
3	490	0,36	11,6	0,33	11,6
4	490	0,36	11,6	0,33	11,6
5	490	0,36	11,6	0,34	11,6
6	490	0,34	11,6	0,34	11,6
7	490	0,33	11,6	0,31	11,7
8	490	0,36	11,6	0,33	11,6
9	490	0,33	11,6	0,34	11,6
10	490	0,36	11,6	0,31	11,7
11	490	0,36	11,6	0,33	11,6
12	490	0,36	11,6	0,33	11,6
13	490	0,36	11,6	0,34	11,6
14	490	0,36	11,6	0,34	11,6

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
15	490	0,36	11,6	0,34	11,6
16	490	0,36	11,6	0,31	11,6
17	490	0,36	11,6	0,34	11,7
18	490	0,32	11,6	0,30	11,7
19	490	0,33	11,6	0,30	11,7
20	490	0,36	11,6	0,31	11,6
21	490	0,38	11,7	0,30	11,7
22	490	0,33	11,6	0,30	11,7
23	490	0,34	11,6	0,35	11,6
24	490	0,33	11,6	0,31	11,7
25	490	0,37	11,6	0,35	11,6
26	490	0,37	11,6	0,34	11,6
27	490	0,34	11,6	0,30	11,7
28	490	0,32	11,6	0,35	11,7
29	490	0,36	11,6	0,33	11,7
30	490	0,32	11,6	0,31	11,7
31	490	0,35	11,6	0,30	11,7
32	490	0,36	11,6	0,34	11,7
33	490	0,36	11,6	0,34	11,6
34	490	0,33	11,6	0,30	11,7
35	490	0,33	11,6	0,31	11,7
36	490	0,38	11,7	0,35	11,6
37	490	0,33	11,6	0,30	11,7
38	490	0,37	11,6	0,31	11,7
39	490	0,32	11,6	0,38	11,7
40	490	0,34	11,6	0,35	11,6
41	490	0,37	11,6	0,32	11,7
42	490	0,34	11,6	0,32	11,7
43	490	0,34	11,6	0,32	11,7
44	490	0,34	11,6	0,31	11,7
45	490	0,38	11,6	0,31	11,6
46	490	0,37	11,6	0,32	11,7
47	490	0,39	11,6	0,33	11,6
48	490	0,38	11,6	0,35	11,6
49	490	0,34	11,6	0,35	11,7
50	490	0,38	11,6	0,31	11,7

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
51	490	0,37	11,6	0,32	11,7
52	490	0,34	11,6	0,32	11,7
53	490	0,35	11,6	0,33	11,7
54	490	0,35	11,6	0,32	11,7
55	490	0,35	11,6	0,36	11,7
56	490	0,34	11,6	0,32	11,7
57	490	0,34	11,6	0,33	11,7
58	490	0,34	11,6	0,36	11,7
59	490	0,36	11,6	0,32	11,7
60	490	0,34	11,6	0,32	11,7

16. Data Hasil Pengukuran Menggunakan *Power Supply* 12 Volt (Frekuensi 490 Hz) ke -3

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	490	0,36	11,6	0,33	11,6
2	490	0,36	11,6	0,33	11,6
3	490	0,36	11,6	0,33	11,6
4	490	0,36	11,6	0,33	11,6
5	490	0,36	11,6	0,31	11,6
6	490	0,36	11,6	0,34	11,7
7	490	0,36	11,6	0,30	11,7
8	490	0,36	11,6	0,30	11,7
9	490	0,32	11,6	0,31	11,6
10	490	0,33	11,6	0,31	11,7
11	490	0,36	11,6	0,32	11,7
12	490	0,33	11,6	0,33	11,6
13	490	0,36	11,6	0,34	11,6
14	490	0,33	11,6	0,34	11,6
15	490	0,36	11,6	0,34	11,6
16	490	0,36	11,6	0,34	11,6
17	490	0,36	11,6	0,34	11,6
18	490	0,36	11,6	0,31	11,7
19	490	0,36	11,6	0,33	11,6
20	490	0,34	11,6	0,34	11,6
21	490	0,38	11,7	0,30	11,7
22	490	0,33	11,6	0,31	11,7

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
23	490	0,34	11,6	0,35	11,6
24	490	0,33	11,6	0,30	11,7
25	490	0,37	11,6	0,31	11,7
26	490	0,37	11,6	0,32	11,7
27	490	0,34	11,6	0,31	11,6
28	490	0,32	11,6	0,35	11,7
29	490	0,36	11,6	0,33	11,7
30	490	0,32	11,6	0,31	11,7
31	490	0,35	11,6	0,30	11,7
32	490	0,36	11,6	0,34	11,7
33	490	0,36	11,6	0,34	11,6
34	490	0,33	11,6	0,30	11,7
35	490	0,33	11,6	0,30	11,7
36	490	0,38	11,7	0,35	11,6
37	490	0,33	11,6	0,31	11,7
38	490	0,37	11,6	0,34	11,6
39	490	0,32	11,6	0,34	11,6
40	490	0,34	11,6	0,33	11,7
41	490	0,37	11,6	0,36	11,7
42	490	0,34	11,6	0,32	11,7
43	490	0,34	11,6	0,32	11,7
44	490	0,34	11,6	0,32	11,7
45	490	0,34	11,6	0,31	11,6
46	490	0,35	11,6	0,32	11,7
47	490	0,36	11,6	0,32	11,6
48	490	0,34	11,6	0,35	11,6
49	490	0,34	11,6	0,35	11,7
50	490	0,38	11,6	0,32	11,6
51	490	0,37	11,6	0,32	11,7
52	490	0,34	11,6	0,32	11,7
53	490	0,34	11,6	0,32	11,7
54	490	0,35	11,6	0,32	11,7
55	490	0,34	11,6	0,36	11,7
56	490	0,34	11,6	0,38	11,7
57	490	0,38	11,6	0,35	11,6
58	490	0,37	11,6	0,32	11,7

No.	Frekuensi(Hz)	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
59	490	0,39	11,6	0,32	11,7
60	490	0,38	11,6	0,32	11,7

17. Data Hasil Pengukuran Menggunakan Panel Surya

No.	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
1	15,90	0,68	16,00	0,67
2	16,00	0,69	16,10	0,64
3	16,10	0,56	16,20	0,54
4	16,50	0,64	16,50	0,61
5	16,70	0,72	16,90	0,69
6	16,80	0,83	16,90	0,79
7	16,90	0,71	17,00	0,68
8	17,30	0,78	17,20	0,75
9	16,70	0,72	17,20	0,75
10	16,60	0,71	17,90	0,79
11	16,70	0,59	16,30	0,56
12	17,10	0,72	16,90	0,68
13	17,10	0,72	16,90	0,68
14	17,00	0,71	16,80	0,67
15	17,00	0,71	16,90	0,68
16	17,10	0,72	16,90	0,68
17	17,30	0,75	17,20	0,70
18	17,00	0,71	16,90	0,69
19	16,70	0,59	16,30	0,56
20	17,10	0,72	16,90	0,68
21	16,90	0,71	17,00	0,68
22	17,10	0,72	16,90	0,68
23	17,10	0,72	16,90	0,68
24	17,00	0,71	16,80	0,67
25	17,10	0,72	16,90	0,68
26	17,10	0,72	16,90	0,68
27	17,00	0,71	16,80	0,67
28	17,00	0,71	16,90	0,68
29	17,00	0,71	16,80	0,67
30	16,70	0,72	16,90	0,69

No.	I _{in} (A)	V _{in} (Volt)	I _{out} (A)	V _{out} (Volt)
31	17,10	0,72	16,90	0,68
32	17,00	0,71	16,80	0,67
33	17,00	0,71	16,80	0,67
34	16,70	0,72	17,20	0,75
35	16,60	0,71	17,90	0,79
36	16,70	0,59	16,30	0,56
37	17,30	0,78	17,20	0,75
38	17,30	0,78	17,20	0,75
39	16,70	0,72	16,90	0,69
40	17,10	0,72	16,90	0,68
41	17,00	0,71	16,80	0,67
42	17,00	0,71	16,80	0,67
43	16,70	0,72	17,20	0,75
44	17,00	0,71	16,90	0,68
45	17,10	0,72	16,90	0,68
46	17,00	0,71	16,80	0,67
47	17,00	0,71	16,80	0,67
48	17,00	0,71	16,90	0,68
49	16,70	0,72	17,20	0,75
50	17,10	0,72	16,90	0,68
51	16,70	0,72	16,90	0,69
52	17,10	0,72	16,90	0,68
53	17,10	0,72	16,90	0,68
54	17,10	0,72	16,90	0,68
55	16,70	0,72	16,90	0,69
56	17,10	0,72	16,90	0,68
57	17,00	0,71	16,80	0,67
58	17,00	0,71	16,80	0,67
59	17,10	0,72	16,90	0,68
60	17,10	0,72	16,90	0,68

LAMPIRAN 2

Perhitungan Efisiensi Daya

Perhitungan Efisiensi daya dari hasil data menggunakan *power supply* dengan tegangan stabil 12 Volt dari masing-masing frekuensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

1. Perhitungan Efisiensi daya dari hasil data menggunakan *power supply* dengan tegangan stabil 12 Volt dengan frekuensi 190 Hz yang telah dirata-rata dengan P_{in} sebesar 4,181 Watt dan P_{out} sebesar 3,773 Watt.

Diketahui: $P_{in} = 4,181$ Watt

$$P_{out} = 3,773 \text{ Watt}$$

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3,773}{4,181} \times 100\%$$

$$\eta = 90,23\%$$

2. Perhitungan Efisiensi daya dari hasil data menggunakan *power supply* dengan tegangan stabil 12 Volt dengan frekuensi 290 Hz yang telah dirata-rata dengan P_{in} sebesar 4,208 Watt dan P_{out} sebesar 3,769 Watt.

Diketahui: $P_{in} = 4,208$ Watt

$$P_{out} = 3,769 \text{ Watt}$$

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3,769}{4,208} \times 100\%$$

$$\eta = 89,57\%$$

3. Perhitungan Efisiensi daya dari hasil data menggunakan *power supply* dengan tegangan stabil 12 Volt dengan frekuensi 390 Hz yang telah dirata-rata dengan P_{in} sebesar 4,067 Watt dan P_{out} sebesar 3,848 Watt.

Diketahui: $P_{in} = 4,067$ Watt

$$P_{out} = 3,848 \text{ Watt}$$

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3,848}{4,067} \times 100\%$$

$$\eta = 94,63\%$$

4. Perhitungan Efisiensi daya dari hasil data menggunakan *power supply* dengan tegangan stabil 12 Volt dengan frekuensi 490 Hz yang telah dirata-rata dengan P_{in} sebesar 4,004 Watt dan P_{out} sebesar 3,805 Watt.

Diketahui: $P_{in} = 4,004$ Watt

$$P_{out} = 3,805 \text{ Watt}$$

Penyelesaian:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3,805}{4,004} \times 100\%$$

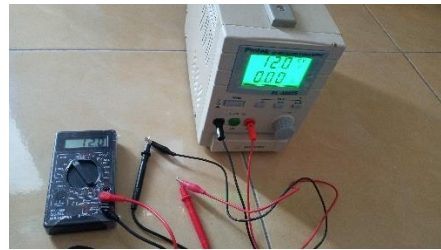
$$\eta = 95,02\%$$

LAMPIRAN 3

Dokumentasi Penelitian



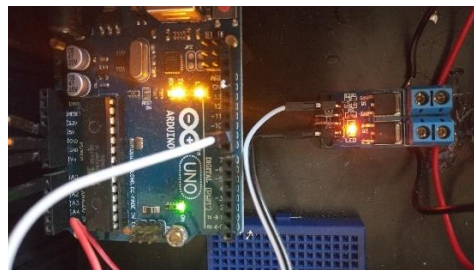
Pengujian Panel Surya



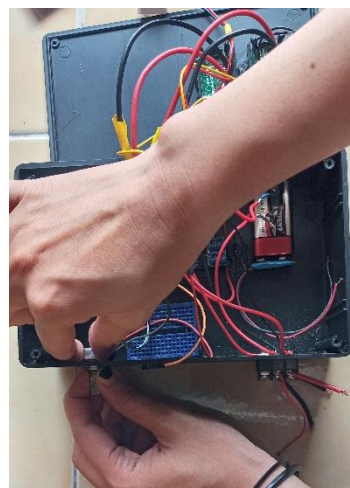
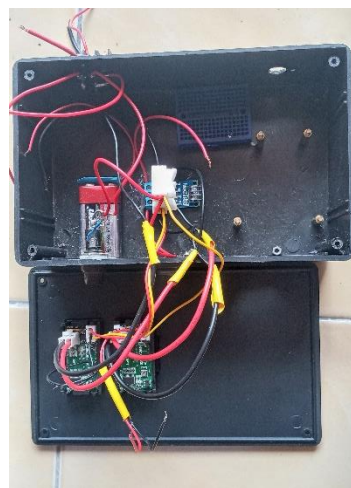
Pengujian *Power Supply*



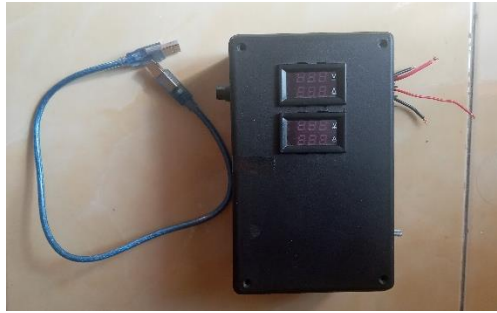
Pengujian Dual Digital Voltmeter-
Ampermeter



Pengujian *High-Power MOSFET
Trigger Switch Drive Module*



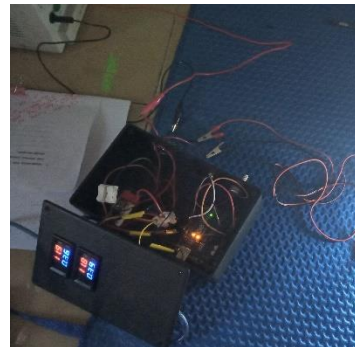
Pembuatan Alat



Bentuk Fisik *Charge Controller*



Pengambilan Data Menggunakan Panel Surya



Pengambilan Data Menggunakan *Power Supply*



BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Ainur Rizza
NIM : 14640042
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Kontrol Otomatis Penyimpanan Baterai pada Panel Surya Menggunakan *Pulse Width Modulation*(PWM) Berbasis Arduino Uno
Pembimbing I : Farid Samsu Hananto, M.T
Pembimbing II : Drs. Abdul Basid, M.Si

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	03 April 2018	Konsultasi Bab I dan II	
2.	06 April 2018	Konsultasi Bab III	
3.	08 April 2021	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	
4.	09 April 2021	Konsultasi Data Hasil di Bab IV	
5.	16 April 2021	Konsultasi Bab IV	
6.	07 Mei 2021	Konsultasi Kajian Agama Bab I, II dan III	
7.	01 Juni 2021	Konsultasi Bab V	
8.	14 Juni 2021	Konsultasi Kajian Agama dan ACC	
9.	17 Juni 2021	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan ACC	

Malang, 21 Juni 2021

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si

19650504 199003 1 003