



**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* BESARAN LISTRIK
PADA PERANGKAT *SOLAR CHARGE CONTROLLER*
BERBASIS ELEKTRONIKA DAYA**

**Disusun dan Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Mengikuti Ujian
Skripsi Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro dari Fakultas Sains dan
Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH :

**NAMA : NURINNISFI OKTAFIDA
N.P.M : 1824210315
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

MEDAN

2021

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* BESARAN LISTRIK
PADA PERANGKAT *SOLAR CHARGE CONTROLLER*
BERBASIS ELEKTRONIKA DAYA**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains
dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH

NAMA : NURINNISFI OKTAFIDA
NPM : 1824210315
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK

Diketahui dan Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Hamdani, ST.,MT

Dosen Pembimbing II

Siti Anisah, ST.,MT

Diketahui dan Disahkan oleh :

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi



Ketua Program Studi

Siti Anisah, ST.,MT

SURAT KETERANGAN PLAGIAT CHECKER

Dengan ini saya Ka LPMU UNPAB menerangkan bahwa surat ini adalah bukti pengesahan dari LPMU sebagai pengesah proses plagiat checker Tugas Akhir/ Skripsi/Tesis selama masa pandemi *Covid-19* sesuai dengan edaran rektor Nomor : 7594/13/R/2020 Tentang Pemberitahuan Perpanjangan PBM Online.

Demikian disampaikan.

NB: Segala penyalahgunaan pelanggaran atas surat ini akan di proses sesuai ketentuan yang berlaku UNPAB.



Yusuf Mubandari Kironga, BA., MSc

No. Dokumen : PM-UJMA-06-02	Revisi : 00	Tgl Eff : 23 Jan 2019
-----------------------------	-------------	-----------------------

KARTU BEBAS PRAKTIKUM
Nomor. 01/BL/LTPE/2021

Tanda tangan dibawah ini Ka. Laboratorium Elektro dengan ini menerangkan bahwa :

: NURIN NISFI OKTAFIDA
: 1824210315
Semester : Akhir
: SAINS & TEKNOLOGI
/Prodi : Teknik Elektro

telah menyelesaikan urusan administrasi di Laboratorium Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 12 Januari 2021
Ka. Laboratorium

[Approve By System]
D T O
Hamdani, S.T., M.T.



Men : FM-LEKTO-06-01

Revisi : 01

Tgl. Efektif : 04 Juni 2015



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
Jl. Jend. Gatot Subroto KM. 4,5 Medan Sunggal, Kota Medan Kode Pos 20122

**SURAT BEBAS PUSTAKA
NOMOR: 3501/PERP/BP/2021**

Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi menerangkan bahwa berdasarkan data pengguna perpustakaan saudara/i:

: NURIN NISFI OKTAFIDA
: 1824210315

Semester : Akhir

: SAINS & TEKNOLOGI

Prodi : Teknik Elektro

nya terhitung sejak tanggal 09 Januari 2021, dinyatakan tidak memiliki tanggungan dan atau pinjaman buku tidak lagi terdaftar sebagai anggota Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 09 Januari 2021
Diketahui oleh,
Kepala Perpustakaan,



Sugiarjo, S.Sos., S.Pd.I

Men : FM-PERPUS-06-01 Revisi : 01 Tgl. Efektif : 04 Juni 2015

SURAT PERNYATAAN

a Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

ma : NURIN NISFI OKTAFIDA
P. M : 1824210315
npat/Tgl. : TANAH MERAH / 19 Oktober 1997
hir
mat : Jl. Bajak V Medan Amplas
HP : 082361559642
ma Orang : MHD. SALEH/NURHAIDAH BR MANIK
ultas : SAINS & TEKNOLOGI
gram Studi : Teknik Elektro
tul : PERANCANGAN SISTEM MONITORING BESARAN LISTRIK PADA PERANGKAT SOLAR CHARGE CONTROLLER
BERBASIS ELEKTRONIKA DAYA

sama dengan surat ini menyatakan dengan sebenar - benarnya bahwa data yang tertera diatas adalah sudah benar sesuai dengan ijazah pada pendidikan terakhir yang saya jalani. Maka dengan ini saya tidak akan melakukan penuntutan kepada PAB. Apabila ada kesalahan data pada ijazah saya.

nikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar - benarnya, tanpa ada paksaan dari pihak manapun dan dibuat dalam keadaan sadar. Jika terjadi kesalahan, Maka saya bersedia bertanggung jawab atas kelalaian saya.

Medan, 13 Januari 2021



3 Membuat Pernyataan

Nurini
NURIN NISFI OKTAFIDA
1824210315



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : NURIN NISFI OKTAFIDA
 Tempat/Tgl. Lahir : TANAH MERAH / 19 Oktober 1997
 Nomor Pokok Mahasiswa : 1824210315
 Program Studi : Teknik Elektro
 Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
 Jumlah Kredit yang telah dicapai : 128 SKS, IPK 3.28
 Nomor Hp : 085270256626
 Dengan ini mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut :

No.	Judul
1.	PERANCANGAN SISTEM MONITORING BESARAN LISTRIK PADA PERANGKAT SOLAR CHARGE CONTROLLER BERBASIS ELEKTRONIKA DAYAO

Catatan : Diisi Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

Coret Yang Tidak Perlu

Rektor I,

 (Ir. Bhakti Alamasyah, M.T., Ph.D.)

Medan, 12 November 2019

Pemohon,

(Nurin Nisfi Oktafida)

Tanggal :
 Disahkan oleh :
 Dekan

 (Sri Shindi Indira, S.T., M.Sc.)

Tanggal :
 Disetujui oleh:
 Dosen Pembimbing I:

 (Hamdani, ST., MT)

Tanggal :
 Disetujui oleh:
 Ka. Prodi Teknik Elektro

 (Hamdani, ST., MT)

Tanggal :
 Disetujui oleh:
 Dosen Pembimbing II:

 (Siti Anisa, ST., MT)

No. Dokumen: FM-UPBM-18-02 Revisi: 0 Tgl. Eff: 22 Oktober 2018

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nurinnisfi Oktafida

NPM : 1824210315

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1 (Strata Satu)

Judul Skripsi : Perancangan Sistem Monitoring Besaran Listrik Pada Perangkat Solar Charge Controller Berbasis Elektronika Daya.

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan hasil karya orang lain.
2. Memberikan izin hak bebas Royalti Non-Eksklusif Unpub untuk menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola, mendistribusikan dan mempublikasikan karya skripsi saya melalui internet atau media lain bagi kepentingan akademis.

Pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab dan saya bersedia menerima konsekuensi apa pun sesuai dengan aturan yang berlaku apabila dikemudian hari diketahui bahwa pernyataan ini tidak benar.

Medan, 17 Februari 2021



(Nurinnisfi Oktafida)



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

Jl. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808

MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : NURIN NISFI OKTAFIDA
NPM : 1524210315
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : Siti Anisah, ST., MT
Judul Skripsi : PERANGKATAN SISTEM MONITORING BESARAN LISTRIK PADA PERANGKAT SOLAR CHARGE CONTROLLER BERBASIS ELEKTRONIKA
DAYA

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
24 September 2020	Abstraknya belum sesuai, abstrak terdiri dari latar belakang masalah, metodologi, dan hasil	Revisi	
24 September 2020	tidak boleh menggunakan kata depan diawal kalimat seperti dengan, atau, dan dalam dll, bahasa asing dicetak miring,	Revisi	
24 September 2020	perbaiki dan lakukan bimbingan kembali	Revisi	
03 Oktober 2020	penulisan abstrak perlu diperhatikan kembali ya abstrak terdiri dari latar belakang, metode penelitian dan hasil, mohon dicek kembali ya	Revisi	
03 Oktober 2020	penulisannya ash banyak yang harus diperbaiki mohon dicek kembali dan lihat panduannya ya	Revisi	
16 Oktober 2020	nuri baca panduannya ya, penulisan abstrak 1 spasi, yang ditulis miring itu abstrak bahasa ingris, baca kembali panduannya, crosscek kembali setiap bab dan sesuaikan dengan panduan	Revisi	
31 Oktober 2020	baca kembali panduan skripsinya ya, kenapa masih ada tulisan warna merah di bab 4, kamu silakan perbaiki kembali ya	Revisi	
31 Oktober 2020	setelah diperbaiki kamu boleh melanjutkan seminar hasil	Revisi	
04 November 2020	Acc Seminar Hasil	Disetujui	
08 Januari 2021	ACC skrang, silakan melengkapi list persyaratan skrang dan ajakan ke email admin	Disetujui	

Medan, 12 Januari 2021
Dosen Pembimbing,



Siti Anisah, ST., MT



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 PO. BOX 1099 Teup. 061-30106007 Fax. (061) 4514508

MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admit@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : NURIN NISFI OKTAFIDA
NPM : 1824210319
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : Hamdani, ST, MT
Judul Skripsi : PERANCANGAN SISTEM MONITORING BESARAN LISTRIK PADA PERANGKAT SOLAR CHARGE CONTROLLER BERBASIS ELEKTRONIKA
DAYA

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
21 September 2020	LINGKARI SELURUH ISI SKRIPSI	Revisi	
03 Oktober 2020	BLOK DIAGRAM MASIH BELUM BAKI, BLOK DIAGRAM BERTUJUAN UNTUK MENGAMBARAKAN KETERKATAN SELURUH SUB BLOK, TERUTAMA KETERKATAN DALAM HAL PENGELOLAAN SWAYAL KENDALI DAN DISTRIBUSI ENERGI LISTRIKNYA, DARI BLOK DIAGRAM YANG NURIN SUGUN HANYA MENGGAMBARAKAN DISTRIBUSI DAYA LISTRIK SAJA, DEMIKIAN JUGA FLOWCHART	Revisi	
03 Oktober 2020	DALAM BAB III ada dilusikan perancangan software, tetapi hanya adalah hardware ?? dan gambar saya lihat ada transformator, fungsinya untuk apa dalam rangkaian kamu ?	Revisi	
02 November 2020	coba cek kemal! howchart, ada yang salah dalam: dimana dan lands panah, tambahkan dasar teori tentang komponen elektronika daya yang digunakan dalam SCC (MOSFET atau IGBT), karena berkaitan dengan teknik monitoring yang diterapkan.	Revisi	
04 November 2020	teori elektronika daya sudah ditamahkan, silakan seminar hasil (ACC semesta)	Diselesa	
29 Desember 2020	periksa nama ka prodi pada lembar pengesahan, rapikan kembali daftar pustaka dan daftar isi, dan ada tulisan yng masih berwarna merah, agar diperiksa dan diperbaiki kembali. ACC sedang Meja Hijau	Diselesa	
30 Desember 2020	ACC sedang, tulisan lugas skir agar diubah menjadi skripsi	Diselesa	

Medan, 12 Januari 2021
Dosen Pembimbing,



Hamdani, ST, MT

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* BESARAN LISTRIK
PADA PERANGKAT *SOLAR CHARGE CONTROLLER*
BERBASIS ELEKTRONIKA DAYA**

Nurinnisfi Oktafida*

Hamdani, ST,.MT**

Siti Anisah,ST,.MT**

Universitas Pembangunan Pancabudi

ABSTRAK

Pemanfaatan energi alternatif yang dapat dihasilkan dari energi matahari dapat menjadi sumber manfaat bagi kelangsungan hidup manusia. Penggunaan energi listrik dari energi matahari dapat mengurangi pemborosan. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan merealisasikan *solar cell* dan *monitoring* tegangan dan beban berbasis elektronika daya. *LCD (Liquid Cristal Display)* akan menampilkan hasil keluaran arus, tegangan dan daya yang diproses pada arduino untuk *memonitoring* dan akan dideteksi oleh sensor PZEM-004T. Pada rancangan ini *solar charge controller* yang akan mendeteksi saat pengisian baterai agar tidak *overcharging* dan kelebihan *voltase* dari panel surya.

**Kata Kunci : *Solar cell* , *Monitoring*, *LCD (Liquid Cristal Display)*,
PZEM004T**

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : nisfinurin@gmail.com

**Dosen Program Studi Teknik Elektro

***DESIGN OF ELECTRONIC POWER MONITORING SYSTEM
FOR SOLAR CHARGE CONTROLLER BASED ON POWER
ELECTRONICS***

Hamdani, ST,.MT
Siti Anisah,ST,.MT**
Universitas Pembangunan Pancabudi**

ABSTRACT

The use of alternative energy that can be produced from solar energy can be a source of benefits for human survival. The use of electrical energy from solar energy can reduce waste. The purpose of this research is to design, manufacture solar cells and monitoring voltage and load based on power electronics. LCD (Liquid Cristal Display) will display the current output, voltage and power are processed on Arduino for monitoring and will be detected by the PZEM-004T sensor. In this design, the solar charge controller will detect when the battery is charging so as not to overcharging and excess voltage from the solar panel.

Key Word: Solar cell , Monitoring, LCD (Liquid Cristal Display), PZEM004T

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan kesehatan serta kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul Perancangan Sistem Monitoring Besaran Listrik Pada Perangkat Solar Charge Controller Berbasis Elektronika Daya.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis banyak menghadapi hambatan dan kesulitan, namun berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak maka tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr.H. Muhammad Isa Indrawan, SE, MM Selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi.
2. Bapak Hamdani, ST.,MT Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
3. Ibu Siti Anisah, ST., MT Selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
4. Bapak Hamdani , ST.,MT Selaku Dosen Pembimbing I Penulis.
5. Ibu Siti Anisah, ST., MT Sebagai Dosen Pembimbing II Penulis.
6. Kepada Seluruh Staf Pengajar Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
7. Ayahanda dan ibunda serta sanak saudara yang telah memberikan dukungan materi dan moril yang tidak henti-hentinya sehingga sekarang ini kami dapat menyelesaikan studi di Universitas Pembangunan Panca Budi.
8. Semua teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik Elektro yang turut membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir khusus nya kelas LE J/S.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini, masih banyak kekurangan yang perlu untuk di sempurnakan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membacanya dan berguna untuk masa yang akan datang.

Medan, 17 Februari 2021
Hormat Kami,

(Penulis)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR	viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Metodologi Penelitian	7
1.7 Sistematika Penulisan.....	7

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 <i>Solar Cell (Photovoltaic)</i>	6
2.1.1 Prinsip Dasar Teknologi <i>Solar Cell (Photovoltaic)</i>	7
2.2 <i>Solar Charge Controller</i>	11
2.2.1 <i>Charging Mode Solar Charge Controller</i>	13
2.2.2 Sensor Temperatur Baterai	14
2.2.3 Mode Operation <i>Solar Charge Controller</i>	14
2.3 Baterai	15
2.4 Material LCD (<i>Liquid Cristal Display</i>).....	18
2.4.1 Pengendali / kontroler LCD (<i>Liquid Cristal Display</i>).....	19
2.4.2 Register control yang terdapat dalam suatu LCD.....	20
2.5 Sensor PZEM-004T	21
2.5.1 <i>Spesification</i>	22
2.5.2 <i>AC digital display Multifunction Meter</i>	23

2.6 Sensor Tegangan (<i>volt meter</i>)	28
2.6.1 Pembagi Tegangan	29
2.7 Arduino	30
2.7.1 Arduino Uno	32
2.7.2 Spersifikasi Arduino Uno	34
2.8 <i>Inverter</i>	34
2.9 MOSFET	36
2.9.1 Jenis-jenis MOS.....	37

BAB III METODE

3.1 Metode Penelitian.....	42
3.2 Lokasi Penelitian.....	42
3.3 Peralatan dan Bahan.....	42
3.4 Blok Diagram Sistem dan Flow Chart	44
3.4.1 Perancangan Sistem <i>Monitoring</i> Besaran Listrik Pada Perangkat <i>Solar Charge Controller</i> Berbasis Elektronika Daya	44
3.4.2 Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>).....	47
3.5 Konstruksi Penelitian	48
3.5.1 Perancangan <i>Solar Cell</i>	48
3.5.2 Perancangan Sistem Sensor	49
3.5.3 Perancangan Sistem Penampil LCD.....	50
3.5.4 Rangkaian <i>Solar Charge Controller</i>	51
3.5.5 Arduino	52
3.5.6 Rangkaian <i>Monitoring Solar Charge Controller</i>	53
3.5.7 Rangkaian <i>Inverter</i>	54

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil	55
4.2 Pengujian Sistem.....	56
4.3 Pengujian dan Analisa Alat Monitoring Besaran Listrik Pada Perangkat <i>Solar Charge Controller</i> Berbasis Elektronika Daya	56
4.3.1. Pengujian alat menggunakan beban	56

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno	34
Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan	42
Tabel 4.1 Pengujian tanpa beban	55
Tabel 4.2 Pengujian menggunakan beban 40 watt.....	58
Tabel 4.3 Pengujian menggunakan beban 4 watt.....	60
Tabel 4.4 Pengujian pada <i>Solar Charge Controller</i>	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema <i>Solar Cell</i>	6
Gambar 2.2 Cara Kerja <i>Solar Cell</i>	7
Gambar 2.3 Semikonduktor Tipe-P dan Tipe-N.....	8
Gambar 2.4 Diagram Energi Sambungan P-N Munculnya Daerah Deplesi.....	9
Gambar 2.5 Struktur Solar cell Silikon p-n Junction.....	10
Gambar 2.6 Struktur <i>Solar Charge Controller</i>	12
Gambar 2.7 <i>Charging Mode Solar Charge Controller</i>	14
Gambar 2.8 Baterai.....	15
Gambar 2.9 Bentuk LCD 16x2.....	19
Gambar 2.10 Sensor P-ZEM 004T.....	22
Gambar 2.11 Diagram pengkabelan.....	25
Gambar 2.12 Rangkaian Pembagi Tegangan.....	30
Gambar 2.13 Arduino.....	32
Gambar 2.14 Rangkaian Inverter.....	36
Gambar 2.15 Simbol Transistor MOSFET Mode <i>Depletion</i>	38
Gambar 2.16 Simbol Transistor MOSFET Mode <i>Enhancement</i>	38
Gambar 2.17 Skematik MOSFET tipe-n.....	40
Gambar 3.1 Diagram Blok.....	44
Gambar 3.2 Diagram Alir.....	47
Gambar 3.3 Perancangan <i>Solar Cell</i>	48
Gambar 3.4 Rangkaian sensor PZEM-004T.....	49
Gambar 3.5 Rangkaian Pembagi Tegangan.....	50
Gambar 3.6 Rangkaian LCD.....	51
Gambar 3.7 Rangkaian <i>Solar Charge Controller</i>	51
Gambar 3.8 Rangkaian Arduino Uno.....	52
Gambar 3.9 Rangkaian <i>Monitoring Solar Charge Controller</i>	53
Gambar 3.10 Rangkaian <i>Inverter</i>	54
Gambar 4.1 Rangkaian perangkat <i>solar charge controller</i>	54
Gambar 4.2 Pengujian menggunakan beban 40 Watt.....	61
Gambar 4.3 Pengujian menggunakan beban 4 Watt.....	63

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Matahari merupakan bintang dipusat tata surya yang memiliki sumber energi terbesar dibumi yang memiliki energi panas dan cahaya yang terpancar kepermukaan bumi dan mempunyai manfaat bagi kelangsungan seluruh makhluk hidup yang ada dibumi.

Pemanfaatan energi alternatif yang dapat dihasilkan dari energi matahari dengan menggunakan panel surya sebagai pengubah energi matahari menjadi listrik atau disebut pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Besar daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dimana sebuah panel surya ditempatkan seperti suhu, intensitas cahaya matahari, dan arah datangnya sinar matahari.

Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya membutuhkan sebuah alat pengendali yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus kebaterei, alat ini disebut *charge controller* dimana fungsi alat ini untuk menurunkan tegangan dari panel surya. Panel Surya yang digunakan pada penelitian ini yaitu panel surya 100 WP.

Pemanfaatan PLTS diperlukan *monitoring* untuk memantau kinerja sistem panel surya. Monitoring berguna untuk memberikan hasil pengukuran yang lebih mudah dan memiliki tingkat *error* sekecil mungkin sehingga memudahkan untuk mengetahui berapa tegangan dan beban.

Berdasarkan dari latar belakang permasalahan di atas, peneliti hendak membuat sistem yang memanfaatkan sensor arus, tegangan dan beban untuk mengetahui pengaruhnya terhadap output *solar charge*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui cara membuat sistem monitoring pada panel surya berbasis elektronika daya.

1.2. Rumusan masalah

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

1. Bagaimana merancang sistem kendali *solar charge controller* pada pengisian tegangan di aki .
2. Bagaimana memonitoring tegangan dan beban.

1.3. Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini permasalahan mengenai perancangan sistem *monitoring* besaran listrik pada perangkat *solar charge controller* berbasis elektronika daya manusia akan dibatasi pada:

1. Perancangan alat menggunakan Elektronika Daya.
2. Tidak membahas secara detail sel surya.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan merealisasikan *Solar cell* dan *monitoring* tegangan dan beban berbasis Elektronika Daya.
2. Merancang dan merealisasikan sistem kendali *solar cell*.
3. Mengukur dan menampilkan data keluaran dari *solar charge* dan aki.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan setelah penelitian ini adalah:

1. Menerapkan ilmu pengetahuan yang diperoleh di bangku kuliah.
2. Bahan studi perbandingan dan pertimbangan untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut.
3. Memperkenalkan metode Rancang Bangun *Solar Charge Dan Monitoring* Tegangan Dan Beban berbasis Elektronika Daya.
4. Skripsi ini dapat dijadikan Pertimbangan teknologi yang akan di terapkan di pembangkit listrik terbarukan.

1.6. Metodologi Penelitian

1. Kajian literatur, yaitu mempelajari teori melalui buku-buku ataupun literatur yang berhubungan dan mengembangkannya sesuai kebutuhan.
2. Praktek, yaitu membuat simulasi, membuat prototipe dan merancang sistem nyata, kalibrasi, pengujian dan analisa hasil.
3. Konsultasi atau diskusi, yaitu melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing, pakar maupun ahli dibidang yang sedang dibahas dan ditekuni.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini bertujuan untuk memberi gambaran secara garis besar isi setiap bab yang akan dibahas pada tugas akhir ini.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang pemilihan judul, batasan masalah, motivasi dan tujuan penelitian, sasaran penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini berisi landasan teori yang menjadi referensi utama dalam penulisan penelitian ini . Teori yang dibahas berhubungan dengan sistematika perancangan sistem monitoring besaran listrik pada perangkat *solar charge controller* berbasis elektronika daya.

BAB 3 PERANCANGAN ALAT DAN SISTEM

Bab ini memuat analisa dan perancangan alat agar dapat menggambarkan serta menjabarkan kegiatan yang dilakukan pada perancangan sistem *monitoring* besaran listrik pada perangkat *solar charge controller* berbasis elektronika daya

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini memuat analisa dan hasil pengujian serta penelitian alat yang akan dilakukan meliputi cara kerja alat secara keseluruhan dan menganalisa hasil yang didapat dari hasil uji coba alat tersebut.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini menjelaskan hasil akhir dari semua laporan yang dikerjakan yaitu kesimpulan dan saran yang berisi masukan-masukan untuk mengembangkan dan melengkapi kekurangan pada pembuatan alat tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

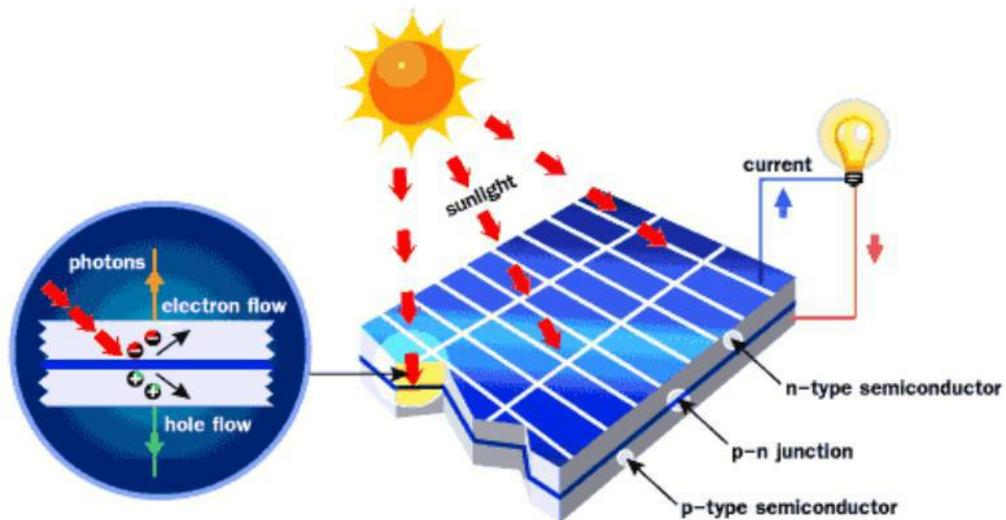
Daftar pustaka ini menunjukkan sumber referensi dari penelitian agar dapat menyusun teori pendukung dari penelitian ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. *Solar cell (Photovoltaic)*

Solar cell atau panel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung.



Gambar 2.1.Skema *Solar Cell*

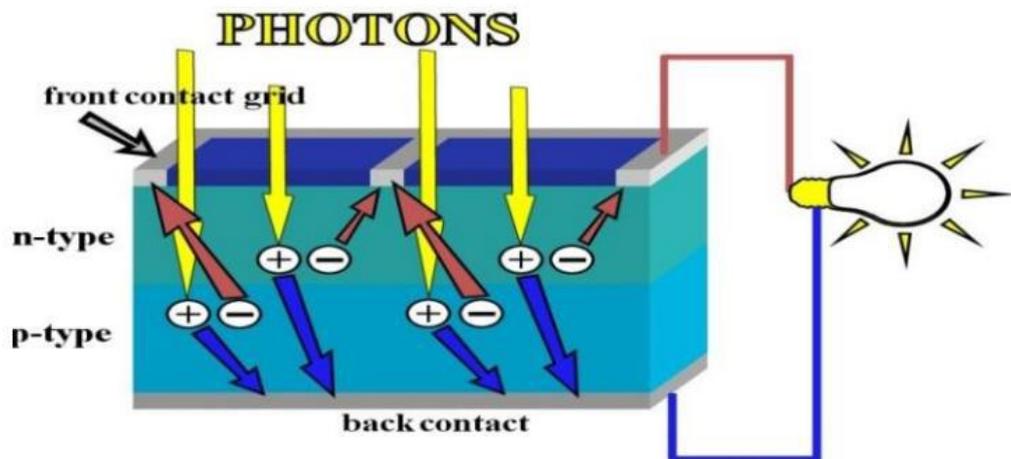
Sumber : *Mohammad Imron Rosidi, 2016*

Photovoltaic biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek fotovoltaiik. Solar cell mulai populer akhir-akhir ini, selain mulai menipisnya cadangan energi fosil dan isu *global warming*. energi yang

dihasilkan juga sangat murah karena sumber energi (matahari) bisa didapatkan secara gratis. Solar cell dapat dilihat pada Gambar 2.1.

2.1.1. Prinsip dasar teknologi *Solar cell (Photovoltaic)*

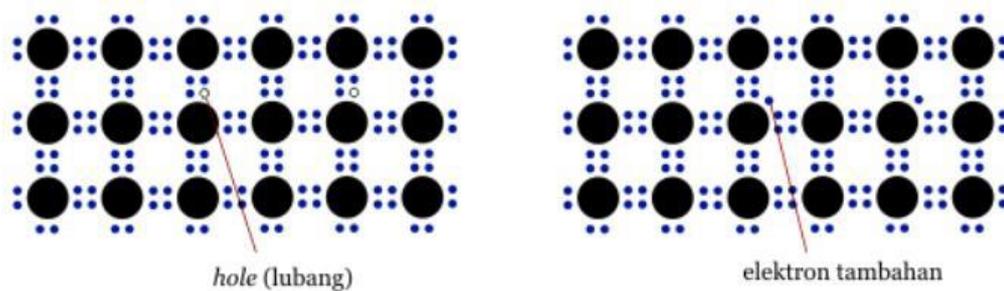
Solar cell merupakan suatu perangkat semi konduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam Kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai sel surya adalah Kristal silikon.



Gambar 2.2. Cara Kerja Solar Cell.
Sumber : Mohammad Imron Rosidi, 2016

Ketika suatu Kristal silikon ditambahkan dengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material-campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah sili-

con. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n. Hal yang sebaliknya terjadi jika Kristal silicon ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya elektron valensi boron dibandingkan dengan silicon mengakibatkan munculnya hole yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini di namakan semikonduktor tipe-p. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan semikonduktor ini akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-p.

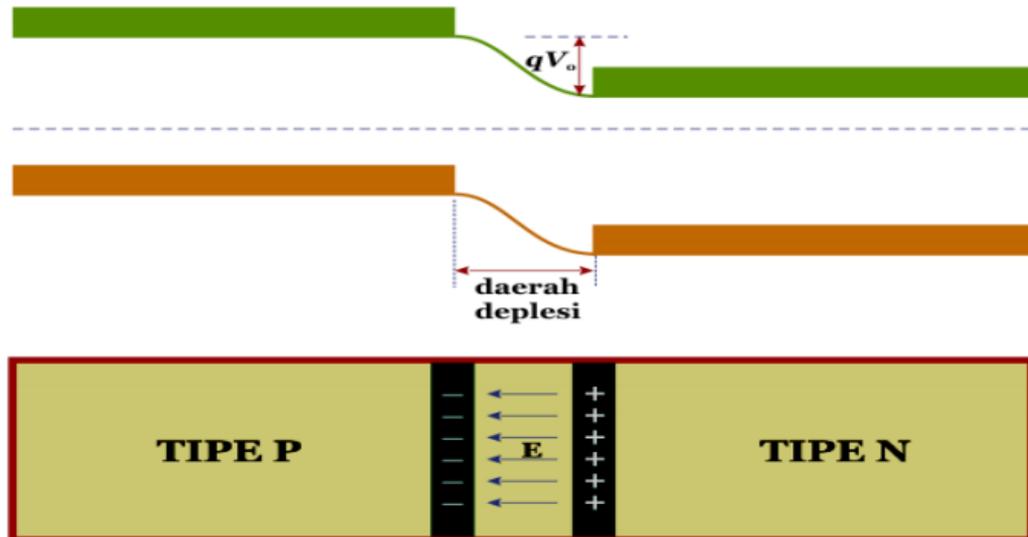


Gambar 2.3. Semikonduktor Tipe-P (Kiri) dan Tipe-N (Kanan)

Sumber : Ady Iswanto 2008

Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan maka akan terjadi difusi hole dari tipe-p menuju tipe-n dan difusi electron dari tipe-n menuju tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-n dan daerah lebih negative pada batas tipe-p. Adanya perbedaan muatan pada sambungan p-n disebut dengan daerah deplesi akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus drift. Arus drift yaitu arus yang dihasilkan karena kemunculan medan listrik. Namun arus ini terimbangi oleh

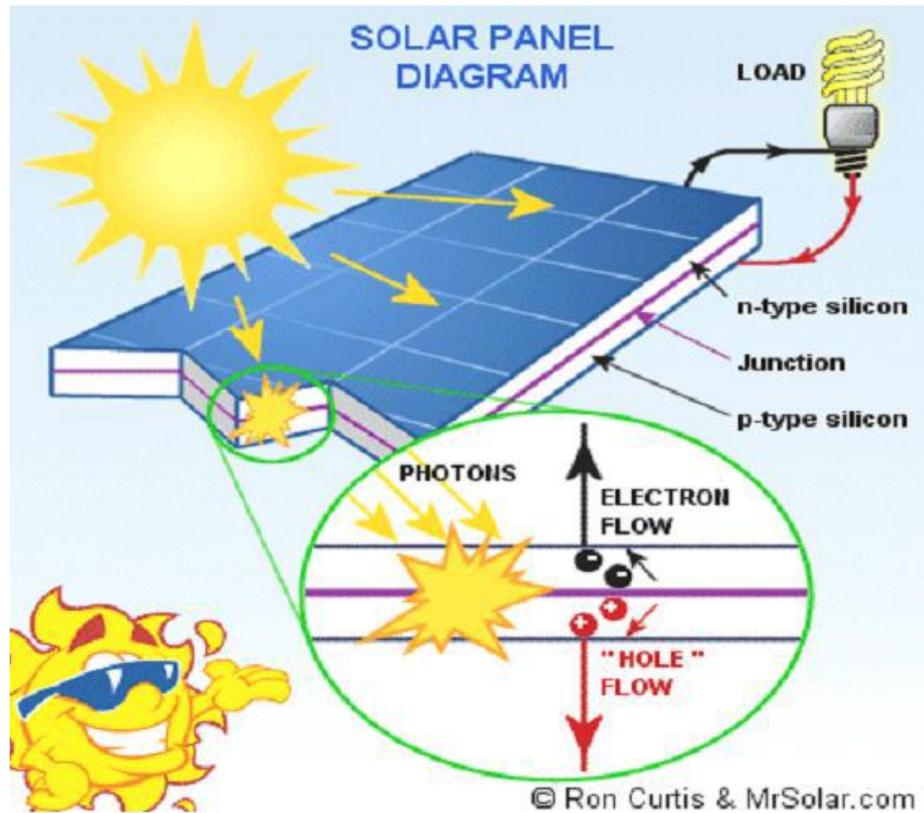
arusdifusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut.



Gambar 2.4. Diagram Energi Sambungan P-N Munculnya Daerah Deplesi

Sumber : Ady Iswanto 2008

Sebagaimana yang kita ketahui bersama, elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. kehadiran medan listrik pada elektron dapat mengakibatkan elektron bergerak. Hal inilah yang dilakukan pada Solar cell sambungan p-n, yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan p-n agar elektron dapat mengalir akibat kehadiran medan listrik tersebut.



Gambar 2.5. Struktur Solar cell Silikon p-n Junction

Sumber : Mohammad Imron Rosidi, 2016

Ketika junction disinari, photon yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* pada pita valensi. Elektron dan *hole* ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan *electron-hole*. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka *electron* dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir.

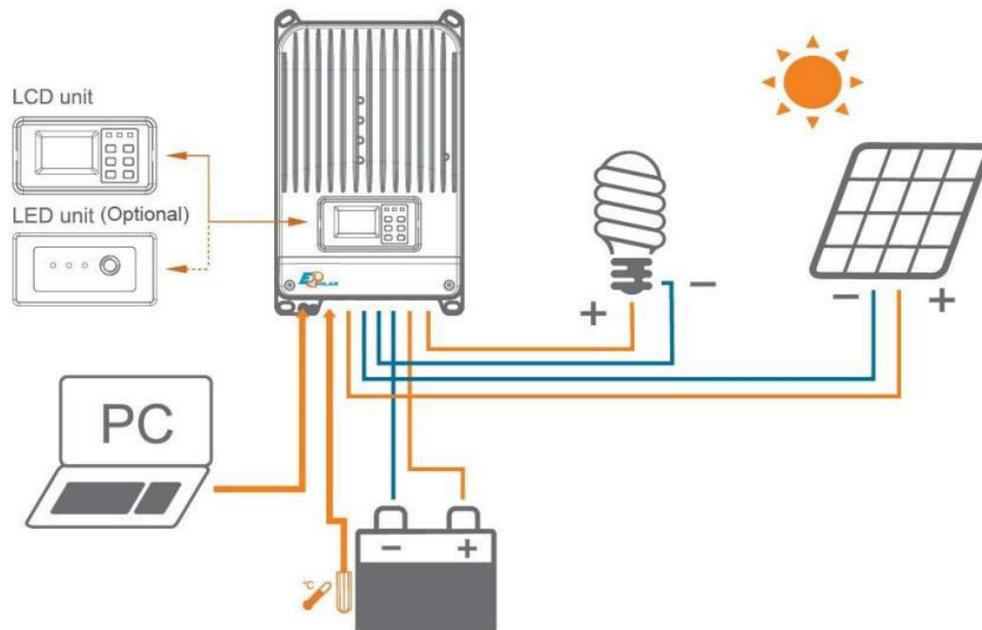
2.2. *Solar Charge Controller*

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena batere sudah penuh) dan kelebihan *voltase* dari panel surya / *SolarCell*. Kelebihan *voltase* dan pengisian akan mengurangi umur baterai. *Solar charge controller* menerapkan teknologi *Pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya / *SolarCell* 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 Volt. Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh over-charging dan ketidakstabilan tegangan Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14 - 14.7 Volt.

Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

1. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.
2. Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak 'full discharge', dan *overloading*.
3. *Monitoring* temperatur baterai seperti yang telah disebutkan di atas *solar charge controller* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya / *SolarCell* berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan battery. *Solar charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kema-

li. *Solar Charge Controller* biasanya terdiri dari : 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan output panel surya / *SolarCell*, 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan baterai / aki dan 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban (*load*). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada 'diode protection' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya / *solar cell* ke baterai.



Gambar 2.6. Struktur *Solar Charge Controller*
Sumber : Mohammad Imron Rosidi,2016

Teknologi *Solar Charge Controller*, ada dua jenis teknologi yang umum digunakan oleh *solar charge controller*:

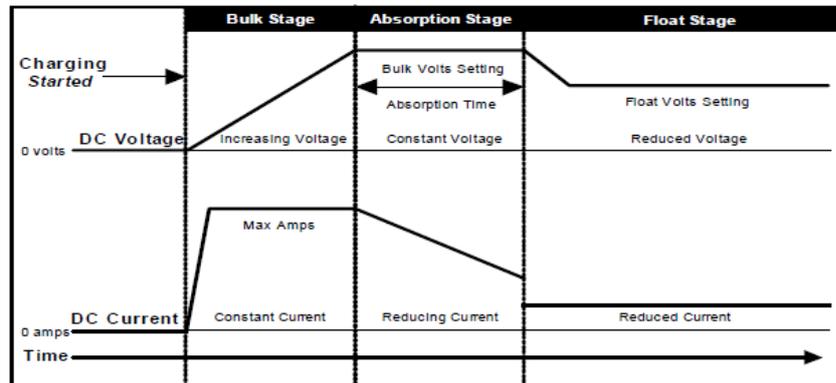
- a. PWM (*Pulse Wide Modulation*), seperti namanya menggunakan 'lebar' pulse dari ondan off elektrik, sehingga menciptakan seakan-akan sine wave electrical form.
- b. MPPT (*Maximum Power Point Tracker*), yang lebih efisien konversi DC to DC (*Direct Current*). MPPT dapat mengambil maxim daya dari PV. MPPT *charge controller* dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak digunakan oleh beban ke dalam baterai, dan apabila daya yang dibutuhkan beban lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh PV, maka daya dapat diambil dari baterai.

2.2.1. Charging Mode *Solar Charge Controller*

Dalam charging mode, umumnya baterai diisi dengan *metoda three stage charging*:

1. *Fase bulk* : baterai akan di-charge sesuai dengan tegangan setup (bulk - antara 14.4 - 14.6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel surya / solar cell. Pada saat baterai sudah pada tegangan setup (bulk) dimulailah fase absorption.
2. *Fase absorption* : pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan bulk, sampai *solar charge controller timer* (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
3. *Fase float* : baterai akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13.4 - 13.7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat

menggunakan arus maksimum dari panel surya / *solar cell* pada *stage* ini.



Gambar 2.7. Charging Mode Solar Charge Controller

Sumber : Mohammad Imron Rosidi, 2016

2.2.2. Sensor Temperatur Baterai

Untuk *solar charge controller* yang dilengkapi dengan sensor temperatur baterai. Tegangan *charging* disesuaikan dengan temperatur dari baterai. Dengan sensor ini didapatkan optimum dari *charging* dan juga optimum dari usia baterai. Apabila *solar charge controller* tidak memiliki sensor temperatur baterai, maka tegangan *charging* perlu diatur, disesuaikan dengan temperatur lingkungan dan jenis baterai.

2.2.3. Mode Operation Solar Charge Controller

Pada mode ini, baterai akan melayani beban. Apabila ada *over-discharge* ataupun *over-load*, maka baterai akan dilepaskan dari beban. Hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai.

2.3. Baterai

Baterai adalah alat penyimpan tenaga listrik arus searah (DC). Ada beberapa jenis baterai / aki di pasaran yaitu jenis aki basah/ konvensional, hybrid dan MF (*Maintenance Free*). Aki basah/konvensional berarti masih menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dalam bentuk cair. Sedangkan aki MF sering disebut juga aki kering karena asam sulfatnya sudah dalam bentuk gel/selai. Dalam hal mempertimbangkan posisi peletakannya maka aki kering tidak mempunyai kendala, lain halnya dengan aki basah.



Gambar 2.8. Batrei.

Sumber : Penulis,2020

Aki konvensional juga kandungan timbalnya (Pb) masih tinggi sekitar 2,5% untuk masing-masing sel positif dan negatif. Sedangkan jenis hybrid kandungan timbalnya sudah dikurangi menjadi masing-masing 1,7%, hanya saja sel negatifnya sudah ditambahkan unsur Calcium. Sedangkan aki MF / aki kering sel positifnya masih menggunakan timbal 1,7% tetapi sel negatifnya sudah tidak menggunakan timbal melainkan Calcium sebesar 1,7%. Pada Calcium battery

Asam Sulfatnya (H_2SO_4) masih berbentuk cairan, hanya saja hampir tidak memerlukan perawatan karena tingkat penguapannya kecil sekali dan di kondensasi kembali. Teknologi sekarang bahkan sudah memakai bahan silver untuk campuran sel negatifnya. Ada beberapa pertimbangan dalam memilih aki :

1. Tata letak, apakah posisi tegak, miring atau terbalik. Bila pertimbangannya untuk segala posisi maka aki kering adalah pilihan utama karena cairan air aki tidak akan tumpah. Kendaraan *off road* biasanya menggunakan aki kering mengingat medannya yang berat. Aki ikut terguncang guncang dan terbanting. Aki kering tahan guncangan sedangkan aki basah bahan elektodanya mudah rapuh terkena guncangan.
2. *Voltase* / tegangan, di pasaran yang mudah ditemui adalah yang bertegangan 6V, 12V da 24V. Ada juga yang multipole yang mempunyai beberapa titik tegangan. Yang custom juga ada, biasanya dipakai untuk keperluan industri.
3. Kapasitas aki yang tertulis dalam satuan Ah (*Ampere hour*), yang menyatakan kekuatan aki, seberapa lama aki tersebut dapat bertahan mensuplai arus untuk beban / load.
4. *Cranking Ampere* yang menyatakan seberapa besar arus start yang dapat disuplai untuk pertama kali pada saat beban dihidupkan. Aki kering biasanya mempunyai cranking ampere yang lebih kecil dibandingkan aki basah, akan tetapi suplai tegangan dan arusnya relatif stabil dan konsisten. Itu sebabnya perangkat audio mobil banyak menggunakan aki kering.

5. Pemakaian dari aki itu sendiri apakah untuk kebutuhan rutin yang sering dipakai atukah cuma sebagai *back-up* saja. Aki basah, tegangan dan kapasitasnya akan menurun bila disimpan lama tanpa *recharge*, sedangkan aki kering relatif stabil bila di simpan untuk jangka waktu lama tanpa *recharge*.
6. Harga karena aki kering mempunyai banyak keunggulan maka harganya pun jauh lebih mahal dari pada aki basah. Untuk menjembatani rentang harga yang jauh maka produsen aki juga memproduksi jenis aki kalsium (*calcium battery*) yang harganya diantara keduanya. Secara garis besar, battery dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksinya. Berdasarkan aplikasi maka *battery* dibedakan untuk automotif, marine dan *deep cycle*. *Deep cycle* itu meliputi battery yang bisa digunakan untuk PV (*Photo Voltaic*) dan *back up power*. Sedangkan secara konstruksi maka *battery* dibedakan menjadi type basah, gel dan AGM (*Absorbed Glass Mat*). Battery jenis AGM biasanya juga dikenal dgn VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*). *Battery* kering *Deep Cycle* juga dirancang untuk menghasilkan tegangan yang stabil dan konsisten. Penurunan kemampuannya tidak lebih dari 1-2% per bulan tanpa perlu *discharge*. Bandingkan dengan *battery* konvensional yang bisa mencapai 2% per minggu untuk *self discharge*. Konsekuensinya untuk *charging* pengisian arus ke dalam *battery Deep Cycle* harus lebih kecil dibandingkan *battery* konvensional sehingga butuh waktu yang lebih lama untuk mengisi muatannya. Antara tipe gel dan AGM hampir mirip hanya saja *battery* AGM mempunyai

semua kelebihan yang dimiliki type gel tanpa memiliki kekurangannya. Kekurangan type Gel adalah pada waktu di *charge* maka tegangannya harus 20% lebih rendah dari *battery* type AGM ataupun basah. Bila *overcharged* maka akan timbul rongga di dalam gel nya yg sulit di perbaiki sehingga berkurang kapasitas muatannya. Karena tidak ada cairan yang dapat membeku maupun mengembang, membuat *battery Deep Cycle* tahan terhadap cuaca ekstrim yang membekukan. Itulah sebabnya mengapa pada cuaca dingin yang ekstrim, kendaraan yang menggunakan *battery* konvensional tidak dapat distart alias mogok.

Ada 2 rating untuk *battery* yaitu CCA dan RC.

1. CCA (*Cold Cranking Ampere*) menunjukkan seberapa besar arus yang dapat dikeluarkan serentak selama 30 detik pada titik beku air yaitu 0° Celcius.
2. RC (*Reserve Capacity*) menunjukkan berapa lama (dalam menit) *battery* tersebut dapat menyalurkan arus sebesar 25A sambil tetap menjaga tegangannya diatas 10,5 Volt. *Battery Deep Cycle* mempunyai 2-3 kali lipat nilai RC dibandingkan *battery* konvensional. Umur *battery* AGM rata-rata antara 5-8 tahun.

2.4. Material LCD (*Liquid Cristal Display*)

LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan *seven-segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan

medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan *sandwich* memiliki *polarizer* cahaya vertikal depan dan polarizer cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.



Gambar 2.9. Bentuk LCD 16x2

Sumber : Penulis, 2020

2.4.1. Pengendali / kontroler LCD (*Liquid Cristal Display*)

Dalam modul LCD (*Liquid Cristal Display*) terdapat microcontroller yang berfungsi sebagai pengendali tampilan karakter LCD (*Liquid Cristal Display*). Microcontroller pada suatu LCD (*Liquid Cristal Display*) dilengkapi dengan memori dan register. Memori yang digunakan microcontroller internal LCD adalah :

- a. DDRAM (*Display Data Random Access Memory*) merupakan tempat karakter yang akan ditampilkan berada.

- b. CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana bentuk dari karakter dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan.
- c. CGROM (*Character Generator Read Only Memory*) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut merupakan karakter dasar yang sudah ditentukan secara permanen oleh pabrikan pembuat LCD (*Liquid Cristal Display*) tersebut sehingga pengguna tinggal mengambilnya sesuai alamat memorinya dan tidak dapat merubah karakter dasar yang ada dalam CGROM.

2.4.2. Register control yang terdapat dalam suatu LCD di antaranya adalah:

- a. Register perintah yaitu register yang berisi perintah-perintah dari mikrokontroler ke panel LCD (*Liquid Cristal Display*) pada saat proses penulisan data atau tempat status dari panel LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dibaca pada saat pembacaan data.
- b. Register data yaitu register untuk menuliskan atau membaca data dari atau ke DDRAM. Penulisan data pada register akan menempatkan data tersebut ke DDRAM sesuai dengan alamat yang telah diatur sebelumnya.

Pin, kaki atau jalur input dan kontrol dalam suatu LCD (*Liquid Cristal Display*) diantaranya adalah :

- a. Pin data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.

- b. Pin RS (*Register Select*) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika *low* menunjukkan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika *high* menunjukkan data.
- c. Pin R/W (*Read Write*) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika *low* tulis data, sedangkan *high* baca data.
- d. Pin E (*Enable*) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
- e. Pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5 K ohm, jika tidak digunakan dihubungkan ke ground, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 Volt.

2.5. Sensor PZEM-004T

PZEM-004T adalah sensor yang dapat digunakan untuk mengukur tegangan rms, arus rms dan daya aktif yang dapat dihubungkan melalui arduino ataupun *platform open source* lainnya. Dimensi fisik dari papan PZEM-004T adalah $3,1 \times 7,4$ cm. Modul pzem-004t dibundel dengan kumparan trafo arus diameter 3mm yang dapat digunakan untuk mengukur arus maksimal sebesar 100A. Sensor PZEM-004T dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini



Gambar 2.10. Sensor P-ZEM 004T
Sumber : Penulis, 2020

Pengkabelan dari modul ini memiliki 2 bagian, yaitu dari pengkabelan terminal masukan tegangan dan arus, serta pengkabelan komunikasi serial. Berdasarkan pada kebutuhan, modul ini memiliki papan pin TTL untuk mendukung komunikasi data serial antar *hardware*. Jika pengguna ingin mengkomunikasikan PZEM-004T ini dengan perangkat yang memiliki port USB atau RS-232 (seperti komputer), diperlukan lagi kabel konverter (TTL ke USB, TTL ke RS232).

2.5.1. Spesifikasi

Brand Name : diymore

Model Number : PZEM-004T Module

Type : Voltage Regulator

Dissipation Power : 1

Operating Temperature : 1

Application : Computer

Supply Voltage : 80-260V

match 1 : pzem-004t module

match 2 : pzem-004t test module

match 3 : AC digital meter

Max Operating Current : 100A – 119A

match 5 : diy

match 6 : dvk512 expansion module

Rated Voltage : 220V

Display Type : Digital Only

Power Supply : AC

2.5.2. AC digital display Multifunction Meter

Jenis Produk: PZEM-004 (V3.0)

a. Fungsi :

1. Fungsi pengukuran parameter listrik (tegangan, arus, daya aktif, energi).
2. Kelebihan fungsi alarm (melebihi batas alarm daya, blitz daya dan bel berbunyi untuk alarm).
3. Fungsi preset ambang alarm daya (dapat mengatur ambang alarm daya).
4. Fungsi reset kunci energi.
5. Simpan data saat mematikan (simpan energi yang terkumpul sebelum mati).

6. Fungsi tampilan digital merah cerah (tegangan layar, arus, daya aktif, energi).
7. Fungsi komunikasi serial (dengan antarmuka serial TTL itu sendiri, dapat berkomunikasi dengan berbagai terminal melalui papan pin, baca dan atur parameter).

b. Tampilan depan dan tombol

1. Tampilan Antar muka

Tampilan antar muka dibentuk oleh empat tabung digital merah terang, digunakan untuk menampilkan tegangan, arus, daya, parameter energi .

2. Format tampilan

1. Daya: Rentang Tes: 0 ~ 22kW

Dalam 0 ~ 10kW, format tampilan adalah 0,000 ~ 9,999;

Dalam 10 ~ 22kW, format tampilan adalah 10.00 ~ 22.00.

2. Energi: Rentang Tes: 0 ~ 9999kWh

Dalam 0 ~ 10kWh, format tampilan adalah 0,000 ~ 9,999;

Dalam 10 ~ 100kWh, format tampilan adalah 10.00 ~ 99.99;

Dalam 100 ~ 1000kWh, format tampilan adalah 100.0 ~

999.9; 1000 ~ 9999kWh dan di atasnya, format tampilan

adalah 1000 ~ 9999.

3. Tegangan: Rentang Tes: 80 ~ 260VAC

Format Tampilan adalah 110.0 ~ 220.0.

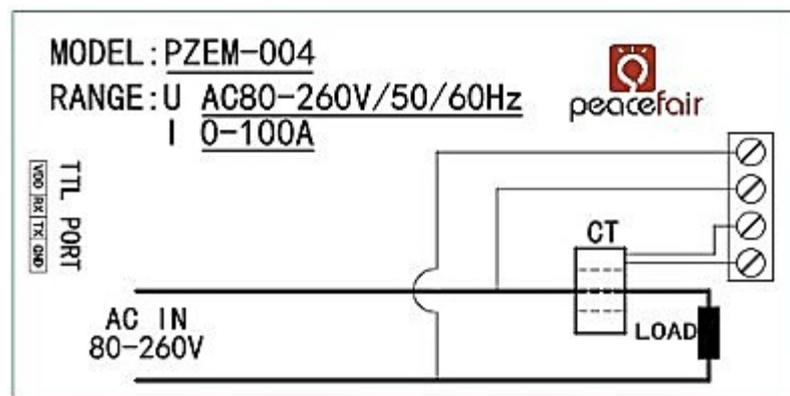
4. Saat Ini: Rentang Tes: 0 ~ 100A

Format Tampilan adalah 00.00 ~ 99.99.

1. Kunci

Ada tombol di panel, itu bisa digunakan untuk mereset energi. Metode reset energi: Tekan lama tombol selama 5 detik hingga jendela tampilan energi digital berkedip, lalu lepaskan kuncinya. Tekan sebentar tombol lagi, lalu data energi dihapus dan keluarkeadaan berkedip, sekarang operasi reset selesai; jika lama tekan selama 5 detik lagi sampai tidak lagi berkedip, itu berarti keluar dari kondisi reset.

a. Wiring diagram



Gambar 2.11. Diagram pengkabelan

Sumber :

Perkabelan modul ini dibagi menjadi dua bagian: kabel dan terminal input tenaga dan arus kabel komunikasi serial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1;

sesuai dengan kebutuhan aktual klien, dengan papan pin TTL berbeda untuk mencapai berkomunikasi dengan terminal yang berbeda.

d. Tampilan Antar muka

Jendela tampilan panel seluruh meter dibentuk oleh empat jendela, yaitu tegangan, arus, daya dan energi; berikut ini adalah deskripsi singkat dari setiap tampilan parameter:

1. Tampilan Tegangan

Ukur dan tampilkan tegangan jaringan frekuensi daya saat ini.

2. Tampilan saat ini

Ukur dan tampilkan beban saat ini (peralatan) saat ini. Ada instruksi tambahan bahwa nilai tes saat ini adalah dari awal 10mA, tetapi modul ini milik peralatan uji daya tinggi, jika anda peduli tentang akurasi pengujian tingkat mA saat ini, itu tidak dianjurkan.

3. Tampilan energi

Ukur dan tampilkan konsumsi daya akumulatif saat ini. Ada instruksi tambahan bahwa satuan minimum pengukuran energi adalah 0,001 kWh, yang berarti mulai menumpuk dari 1Wh, Secara relatif, resolusinya agak tinggi, untuk uji beban daya rendah (dalam 100W), anda bias amati proses akumulatif agak secara intuitif.

4. Tampilan daya

Ukur dan tampilkan daya beban saat ini. Ada instruksi tambahan bahwa nilai tes daya adalah dari awal 0.001kW, yang berarti mulai menguji dari 1W, tetapi modul ini termasuk tinggi peralatan uji daya, jika Anda memiliki persyaratan pengujian dalam 1W, itu tidak direkomendasikan.

e. Komunikasi serial

Modul ini dilengkapi dengan antarmuka komunikasi data serial TTL, Anda dapat membaca dan mengatur yang relevan parameter melalui port serial; tetapi jika Anda ingin berkomunikasi dengan perangkat yang memiliki USB atau RS232 (semacam itu sebagai komputer), Anda harus dilengkapi dengan papan pin TTL yang berbeda (komunikasi USB perlu dilengkapi dengan TTL ke papan pin USB; Komunikasi RS232 perlu dilengkapi dengan pin TTL ke RS232 papan).

f. Ilustrasi komunikasi

1. Hubungkan kabel keras sesuai dengan diagram kabel pada Gambar 1 dan 2.
2. Setelah menghubungkan kabel, silakan pilih port komunikasi, port komunikasi dukungan perangkat lunak komputer modul ini: COM2 \ COM3 \ COM4, Anda dapat memeriksa melalui manajer perangkat, jika bukan port komunikasi di atas, Anda harus mengubahnya melalui port .

g. Tindakan pencegahan

1. Modul ini cocok untuk indoor, jangan gunakan outdoor.
2. Beban yang diterapkan tidak boleh melebihi daya pengenal.
3. Pesanan kabel tidak bisa salah.

h. Spesifikasi parameter

1. Tegangan kerja: 80 ~ 260VAC
2. Tegangan uji: 80 ~ 260VAC
3. Nilai daya: 100A / 22000W
4. Frekuensi operasi: 45-65Hz
5. Akurasi pengukuran: 1.0 kelas

2.6. Sensor Tegangan (*volt meter*)

Volt adalah satuan tekanan listrik. Istilah *Volt* adalah menyatakan besarnya energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan listrik sebesar 1Joule/Coulomb. Alat untuk mengukur besarnya tekanan listrik ialah *Voltmeter*. Alat ini digunakan untuk mengukur e.m.f (kekuatan elektromotif) yang dihasilkan oleh sumber listrik atau perbedaan potensial antara dua titik dalam sebuah sirkuit. Tegangan selalu berada antara dua titik yang diukur antara perbedaan tegangan antara sebuah titik dengan titik lainnya. Oleh karena itu, voltmeter dihubungkan memotong aliran tegangan yang hendak diukur. Voltmeter merupakan alat ukur yang umum digunakan untuk mengukur tegangan. Voltmeter dibagi menjadi 2, yaitu voltmeter AC dan voltmeter DC.

Pada dasarnya, voltmeter AC dan voltmeter DC sama prinsipnya yaitu mengukur beda tegangan. Saat ini, alat ukur dibedakan menjadi 2 juga, yaitu alat ukur digital dan alat ukur analog. Masing-masing memiliki keunggulan yang tidak dimiliki lainnya. Sehingga, walaupun alat ukur analog sudah lebih dahulu dikenal, tapi saat ini masih dipakai sebagai alat ukur. Untuk mengukur tegangan DC, kita bisa langsung membaca dengan ADC internal dari AVR. Namun perlu diketahui, bahwa tegangan maksimal input ke ADC adalah sebesar V_{cc} AVR. Sehingga jika ingin mengukur tegangan yang nilainya melebihi +5V, maka diperlukan sebuah pembagi tegangan. Pembagi tegangan ini berfungsi untuk menurunkan tegangan sampai batas kemampuan pembacaan ADC AVR.

2.6.1. Pembagi Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan yang sederhana dari dua buah resistor yang diseri. Sesuai dengan hukum Ohm, maka pada rangkaian seri, besar arus yang mengalir adalah sama, tegangan tergantung dari nilai hambatan yang dilaluinya. Secara matematik, dapat dituliskan:

$$V = I.R \quad (2.1)$$

Kemudian, jika ada dua buah resistor yang terpasang seperti gambar skema dibawah ini.



Gambar 2.12. Rangkaian Pembagi Tegangan

Sumber : Penulis,2020

2.7. Arduino

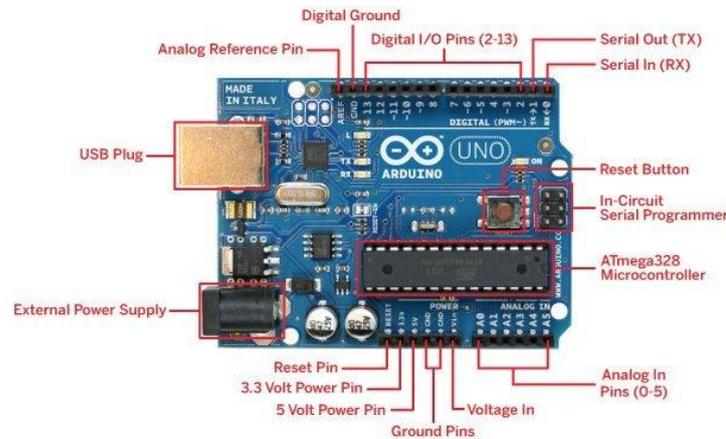
Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai ‘otak’ yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik. Mikrokontroler ada pada perangkat elektronik di sekeliling kita. Misalnya handphone, MP3 player, DVD, televisi, AC, dll. Mikrokontroler juga dipakai untuk keperluan mengendalikan robot. Baik robot mainan, maupun robot industri. Karena komponen utama Arduino adalah mikrokontroler, maka Arduino pun dapat diprogram

menggunakan komputer sesuai kebutuhan kita. Bahasa pemrograman Arduino adalah bahasa C. Tetapi bahasa ini sudah dipermudah menggunakan fungsi-fungsi yang sederhana sehingga pemula pun bisa mempelajarinya dengan cukup mudah.

Arduino dikatakan sebagai sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata “*platform*” di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam memory mikrocontroller. Ada banyak projek dan alat-alat dikembangkan oleh akademisi dan profesional dengan menggunakan Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) yang dibuat oleh pihak lain untuk bisa disambungkan dengan Arduino. Arduino berevolusi menjadi sebuah *platform* karena ia menjadi pilihan dan acuan bagi banyak praktisi. Salah satu yang membuat Arduino memikat hati banyak orang adalah karena sifatnya yang *open source*, baik untuk *hardware* maupun software-nya.

Komponen utama di dalam papan Arduino adalah sebuah mikrocontroller 8 bit dengan merk ATmega yang dibuat oleh perusahaan *Atmel Corporation*. Berbagai papan Arduino menggunakan tipe ATmega yang berbeda-beda tergantung dari spesifikasinya, sebagai contoh Arduino Uno menggunakan ATmega328 sedangkan Arduino Mega 2560 yang lebih canggih menggunakan ATmega2560. Untuk memberikan gambaran mengenai apa saja yang terdapat di dalam sebuah

microcontroller, pada gambar berikut ini diperlihatkan contoh diagram blok sederhana dari mikrocontroller ATmega328 (dipakai pada Arduino Uno).



Gambar 2.13. Arduino
Sumber :

2.7.1. Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berdasarkan Atmega328 (datasheet). Ini memiliki 14 digital pin input/output (dimana 6 dapat digunakan sebagai output PWM) input analog, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, jack listrik *header* ICSP dan tombol reset. Ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya menghubungkannya ke komputer dengan kabel USB atau power itu dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk memulai menggunakannya. Uno berbeda dari semua papan sebelumnya, bahwa itu tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Sebaliknya, fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai versi R2) diprogram sebagai konverter *US-to-serial*.

Revisi ke 2 Uno memiliki resistor menarik garis 8U2 line to *ground*, sehingga lebih mudah untuk dimasukkan ke dalam mode DFU. Revisi ke 3 memiliki fitur-fitur baru berikut:

- a. Pin out: menambahkan SDA dan pin SCL yang dekat dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat dengan pin RESET, yang IOREF yang memungkinkan perisai untuk beradaptasi dengan tegangan yang tersedia dari papan. Di masa depan, perisai akan kompatibel dengan kedua papan yang menggunakan AVR yang beroperasi dengan 5V dan dengan Arduino Due yang beroperasi dengan 3.3V. Yang kedua adalah pin tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan masa depan.
- b. *Stronger RESET* sirkuit.
- c. Atmega 16U2 menggantikan 8U2.

"Uno" berarti satu di Italia dan diberi nama untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. The Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi Arduino, bergerak maju. The Uno adalah yang terbaru dalam serangkaian USB Arduino papan, dan model referensi untuk platform Arduino; untuk perbandingan dengan versi sebelumnya, indeks Arduino papan.

2.7.2. Spesifikasi Arduino Uno

Tabel 2.1. Spesifikasi Arduino Uno

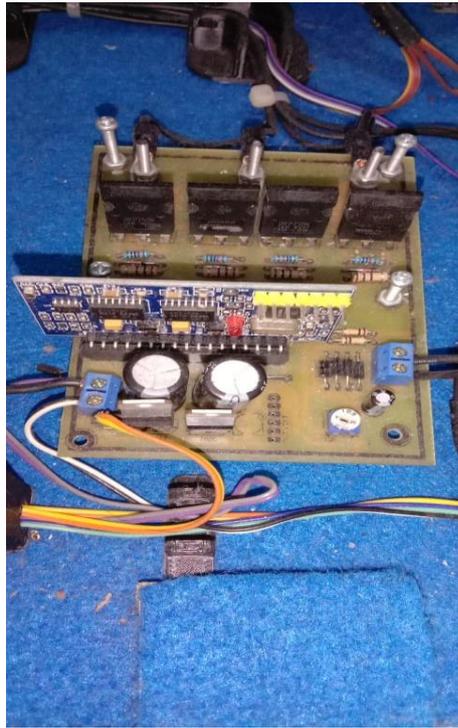
Chip mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM
Analog Input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB, 0.5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68.6 mm x 53.4 mm
Berat	25 g

2.8. *Inverter*

Inverter adalah perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah tegangan arus searah (*Direct Current*) menjadi tegangan bolak-balik (*Alternating Current*). Output suatu *inverter* dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus (*sine wave*), gelombang kotak (*square wave*) dan sinus modifikasi (*sine wave modified*). Sumber tegangan input *inverter* dapat menggunakan baterai, tenaga surya, atau sumber DC yang lain. Jenis-jenis *inverter* dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan jumlah fasa dapat dibedakan dalam :
 1. *Inverter* 1 fasa, yaitu *inverter* dengan output 1 fasa.

2. *Inverter* 3 fasa, yaitu *inverter* dengan output 3 fasa.
- b. Berdasarkan cara pengaturan tegangannya, yaitu :
1. *Voltage Fed Inverter* (VFI) yaitu *inverter* dengan tegangan input yang diatur konstan.
 2. *Current Fed Inverter* (CFI) yaitu *inverter* dengan arus input yang diatur konstan.
 3. *Variable DC Linked Inverter* yaitu *inverter* dengan tegangan input yang dapat diatur.
- c. Berdasarkan bentuk gelombang outputnya, dapat dibedakan menjadi :
1. *Sine Wave Inverter*, yaitu *inverter* yang memiliki tegangan output dengan bentuk gelombang sinus murni. *Inverter* jenis ini dapat memberikan suplai tegangan ke beban induktif dengan efisiensi daya yang baik.
 2. *Sine Wave Modified Inverter*, yaitu *inverter* dengan tegangan output berbentuk gelombang kotak yang dimodifikasi sehingga menyerupai gelombang sinus. *Inverter* jenis ini memiliki efisiensi daya yang rendah apabila digunakan untuk mensuplai beban induktif.
 3. *Square Wave Inverter*, yaitu *inverter* dengan output berbentuk gelombang kotak, *inverter* jenis ini tidak dapat digunakan untuk mensuplai tegangan ke beban induktif.



Gambar 2.14. Rangkaian Inverter

Sumber : Penulis,2020

2.9. MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silicon digunakan sebagai landasan (*substrat*) dari penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). Selanjutnya transistor dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silikon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri dari kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transis-

tor BJT (*Bipolar Junction Transistor*), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah.

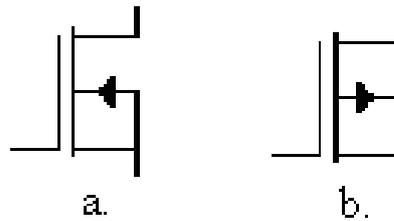
2.9.1. Jenis- Jenis MOS

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silicon ini yang akan digunakan sebagai landasan (*substrat*) penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*).

Selanjutnya transistor ini dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silicon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah. Bila dilihat dari cara kerjanya, transistor MOS dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Transistor Mode Pengosongan (*Transistor Mode Depletion*)

Pada transistor mode depletion, antara drain dan source terdapat saluran yang menghubungkan dua terminal tersebut, dimana saluran tersebut mempunyai fungsi sebagai saluran tempat mengalirnya elektron bebas. Lebar dari saluran itu sendiri dapat dikendalikan oleh tegangan gerbang. Transistor MOSFET mode pengosongan terdiri dari tipe-N dan tipe-P, simbol transistor ditunjukkan dalam Gambar 2.15.



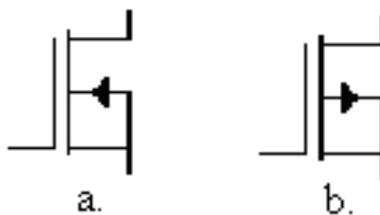
Gambar 2.15. Simbol Transistor MOSFET Mode *Depletion*

(a). N-Channel *Depletion* (b). P-Channel *Depletion*

Sumber: Hodges-Jackson 1987

2. Transistor Mode peningkatan (Transistor Mode Enhancement)

Transistor mode enhancement ini pada fisiknya tidak memiliki saluran antara drain dan sourcena karena lapisan bulk meluas dengan lapisan SiO₂ pada terminal gate. Transistor MOSFET mode peningkatan terdiri dari tipe-N dan tipe -P, simbol transistor ditunjuk kan dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Simbol Transistor MOSFET Mode *Enhancement*

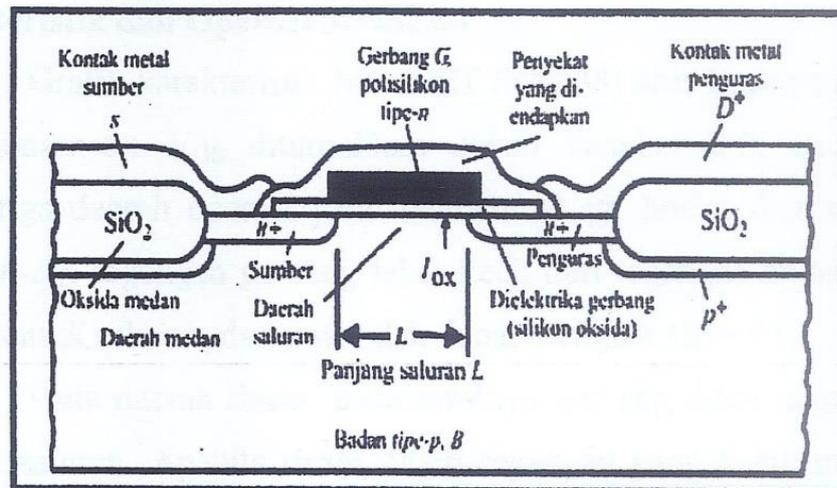
(a). N-Channel *Enhancement* (b). P-Channel *Enhancement*

Sumber: Hodges-Jackson 1987

Dilihat dari jenis saluran yang digunakan, transistor MOSFET dapat dikelompokkan menjadi tiga, antara lain:

1. NMOS

Transistor NMOS terbuat dari substrat dasar tipe p dengan daerah source dan drain didifusikan tipe n+ dan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe n. NMOS yang umumnya banyak digunakan adalah NMOS jenis enhancement, dimana pada jenis ini source NMOS sebagian besar akan dihubungkan dengan $-V_{ss}$ mengingat struktur dari MOS itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan $+V_{dd}$. Dalam aplikasi gerbang NMOS dapat dikombinasikan dengan resistor, PMOS, atau dengan NMOS lainnya sesuai dengan karakteristik gerbang yang akan dibuat. Sebagai contoh sebuah NMOS dan resistor digabungkan menjadi sebuah gerbang NOT. *Negatif* MOS adalah MOSFET yang mengalirkan arus penguras sumber menggunakan saluran dari bahan electron, sehingga arus yang mengalir jika tegangan gerbang lebih positif dari substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari V_T (*Voltage Threshold*). Skematik MOSFET tipe-n ditunjukkan dalam Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Skematik MOSFET tipe-n

Sumber: Hodges-Jackson 1987

2. PMOS

Transistor PMOS terbuat dari substrat dasar tipe-n dengan daerah source dan drain didifusikan tipe p+ dan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe p. *Positif* MOS adalah MOSFET yang mengalir arus penguras sumber melalui saluran positif berupa *hole*, dimana arus akan mengalir jika tegangan gerbang lebih negative terhadap substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari V_T . PMOS yang umumnya banyak digunakan adalah PMOS jenis enhancement, dimana pada jenis ini source PMOS sebagian besar akan di hubungkan dengan +Vdd mengingat struktur dari MOS itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan -Vss. Dalam aplikasi gerbang PMOS dapat dikombinasikan dengan resistor, NMOS, atau dengan PMOS lainnya sesuai dengan karakteristik gerbang yang akan dibuat. Sebagai contoh

sebuah PMOS dan resistor digabungkan menjadi sebuah gerbang NOT.

3. CMOS (*Complementary* MOS)

MOSFET tipe *complementary* ini mengalirkan arus penguras sumber melalui saluran tipe-n dan tipe-p secara bergantian sesuai dengan tegangan yang dimasukkan pada gerbangnya (*gate*).

BAB III

METODE

3.1. Metode Penelitian

Suatu penelitian membutuhkan cara atau metode untuk membahas objek penelitian hingga memperoleh hasil atau suatu kesimpulan. Dalam bidang studi yang ditekuni, penelitian ditujukan pada suatu rancangan atau objek yang telah dirancang dan berkaitan dengan program studi. Adapun objek yang akan dirancang yang menjadi objek penelitian adalah sebuah alat yang dapat memonitoring hasil keluaran dari *solar charge controller* sehingga memudahkan untuk melihat data keluaran pada *solar cell* tersebut. Alat dirancang dan dirakit dengan komponen-komponen elektronika digital. Hasil rancangan akan diuji secara sistematis untuk memperoleh data-data. Untuk pembahasan lebih jauh akan dibahas pada bagian berikut ini.

3.2. Lokasi Penelitian.

Penulis melakukan penelitian di kost.

Jl. Karya Tani Gang Saragih, Medan Johor Sumatera Utara.

3.3. Peralatan dan Bahan

Tabel 3.1. Peralatan yang digunakan

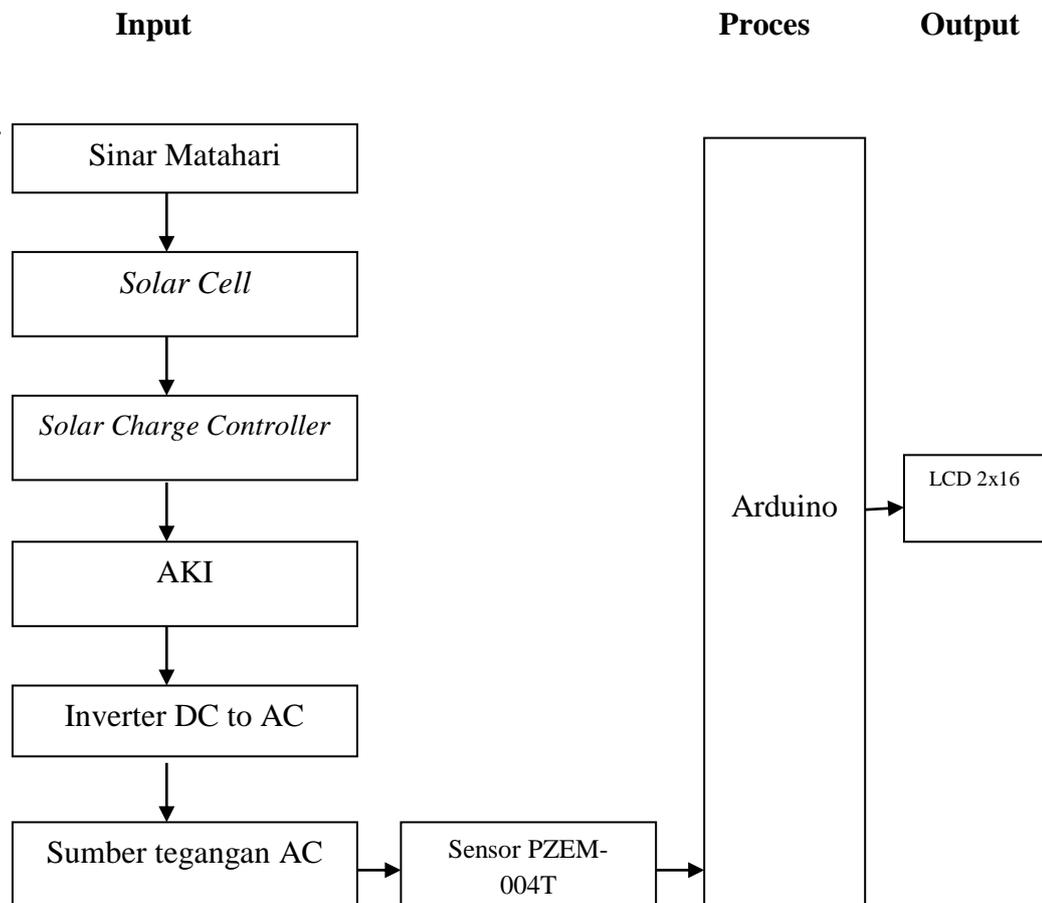
No.	Nama Alat
1.	<i>Solar cell</i>
2.	Baterai
3.	LCD
4.	Arduino
5.	Sensor PZEM-004T
6.	Trafo
7.	Resistor

8.	Dioda
9.	Transistor
10.	IC 7812 dan IC 7805
11.	Elco 2200 uf
12.	MOSFET
13.	Modul EGS002
14.	Trimpot
15.	Lampu pijar
16.	Stop kontak
17.	Saklar
18.	Tembaga
19.	Papan PCB
20.	Kabel

3.4. Blok diagram Sistem dan *Flow Chart*

Penelitian ini menggunakan diagram blok yaitu sebagai berikut:

3.4.1. Perancangan Sistem *Monitoring* Besaran Listrik Pada Perangkat *Solar Charge Controller* Berbasis Elektronika Daya



3.1. Diagram Blok

Sumber : Penulis,2020

Blok diagram sistem pada gambar 3.1 diatas merupakan diagram blok *solar charge controller*. Pada aliran input sinar matahari akan memantulkan cahaya nya pada *solar cell* / panel surya dan *solar charge controller* sebagai pengatur kelebihan pengisian daya akan mengatur pengisian daya yang akan masuk ke baterai aki. Dari baterai aki akan masuk ke inverter untuk mengubah arus DC (*direct current*) menjadi AC (*alternating current*) yang akan di ukur oleh sensor PZEM-004T dan akan diproses oleh mikrocontroller arduino untuk membaca inputnya. Pada output akan ditampilkan hasil inputnya pada LCD (*Liquid Cristal Display*).

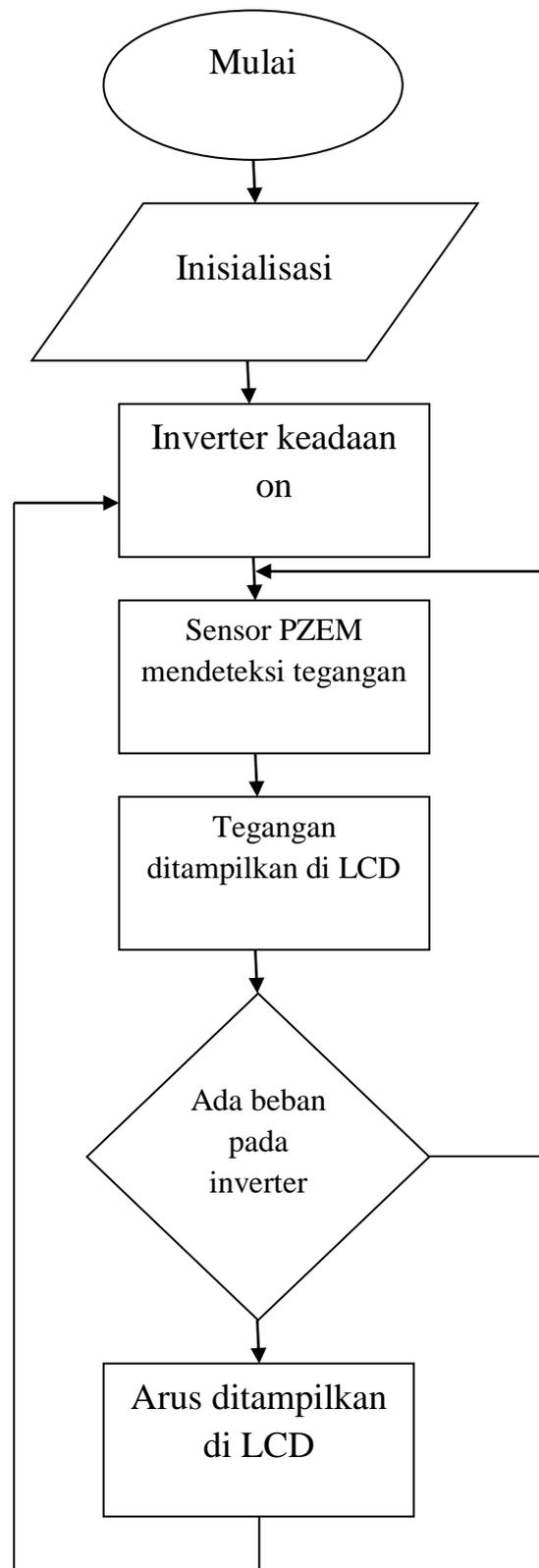
Fungsi utamanya :

1. *Solar Cell* atau solar panel adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik.
2. *Solar Charge Controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena batere sudah penuh) dan kelebihan *voltase* dari panel surya.
3. Baterai aki adalah alat untuk menyimpan tenaga listrik arus searah (DC).
4. Inverter adalah perangkat elektrik yang mengkonversikan tegangan searah (DC - *direct current*) menjadi tegangan bolak balik (AC - *alternating current*).
5. Sensor PZEM-004T berfungsi untuk mengukur tegangan rms, arus rms dan daya aktif yang dapat dihubungkan melalui arduino ataupun *platform open source* lainnya.
6. Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip

mikrokontroler yang berfungsi untuk memonitoring arus dan tegangan.

7. LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi untuk menampilkan hasil perintah dari mikrocontroller.

3.4.2. Diagram Alir (*Flow Chart*)



Gambar 3.2. Diagram Alir

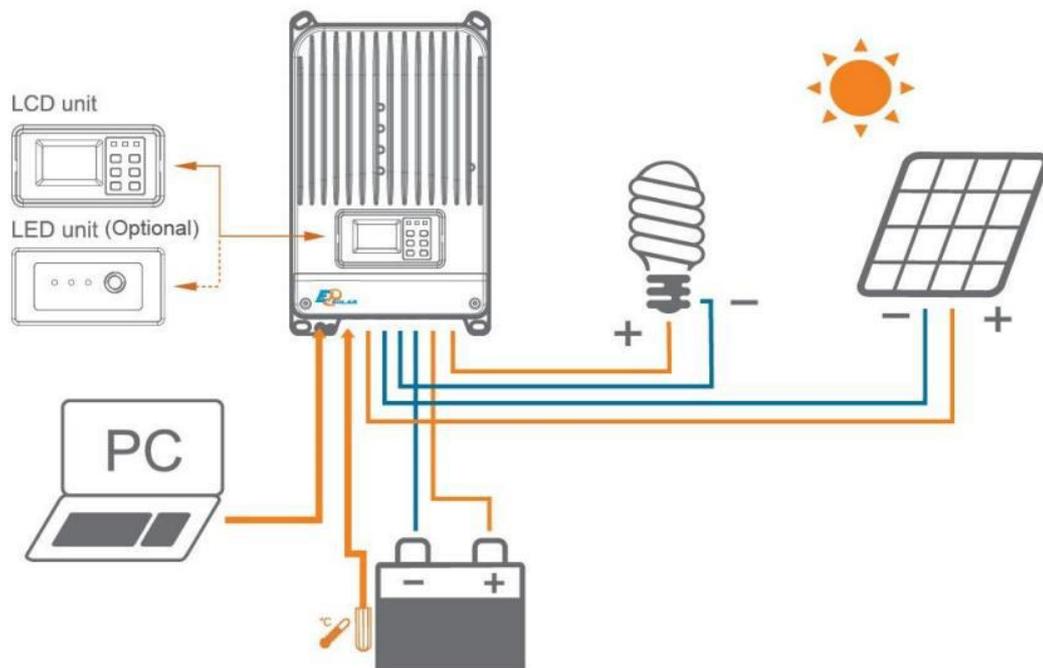
Sumber : Penulis 2020

Sesuai dengan diagram alir yang diatas alat akan diinialisasikan terlebih dahulu lalu masuk keinverter yang sedang dalam keadaan on dan masuk ke sensor PZEM yang akan mendeteksi tegangan lalu masuk ke LCD yang akan menampilkan tegangan kemudian jika ada beban diinverter maka arus akan ditampilkan di LCD.

3.5. Konstruksi Penelitian

Pada penelitian ini, hal pertama yang dilakukan adalah membuat alat ukurnya beserta dengan programnya.

3.5.1. Perancangan Solar Cell.



Gambar 3.3. Perancangan Solar Cell

Sumber : Mohammad Imron Rosidi, 2016

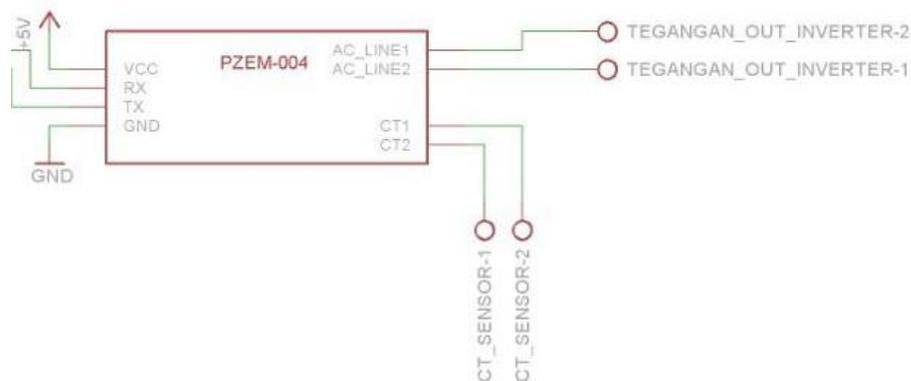
Komponen yang diperlukan dalam perancangan *solar cell* diantaranya adalah panel surya, baterai (aki), arduino, *solar charge controller*, inverter, LCD, sensor PZEM-004T, *trafo step up*.

3.5.2. Perancangan Sistem Sensor

Rangkaian sistem sensor untuk mengukur tegangan dan arus pada sistem *Solar Charge Controller* dengan menggunakan sensor arus dan sensor tegangan.

1. Sensor PZEM

Perancangan rangkaian sensor ini sensor yang digunakan adalah sensor PZEM-004T. Sensor PZEM-004T berfungsi untuk membaca nilai besaran tegangan, arus, daya dan energi yang terpakai. Daya pada rangkaian sensor ini disuplai dengan daya 5 Volt DC yang bersumber dari Arduino Uno. Pada ujung sensor terdapat 3 pin yang biasanya bertanda vcc, out dan gnd. Pin Vcc dihubungkan dengan Vin pada Arduino yang bernilai 5V, pin Vout dihubungkan dengan analog input, dan pin gnd dihubungkan dengan *ground* pada arduino.



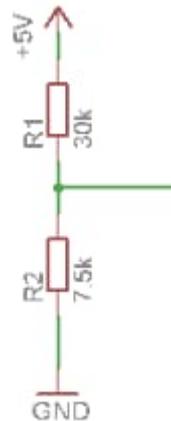
Gambar 3.4. Rangkaian sensor PZEM-004T

Sumber : Penulis, 2020

2. Rangkaian pembagi tegangan

Pembacaan tegangan yang dihasilkan dari panel surya , maka diperlukan sensor tegangan untuk mengubah data analog tegangan ke

data tegangan digital untuk di proses oleh Arduino Uno. Sensor tegangan umumnya berupa sebuah rangkaian pembagi tegangan atau yang biasa disebut *voltage divider*.



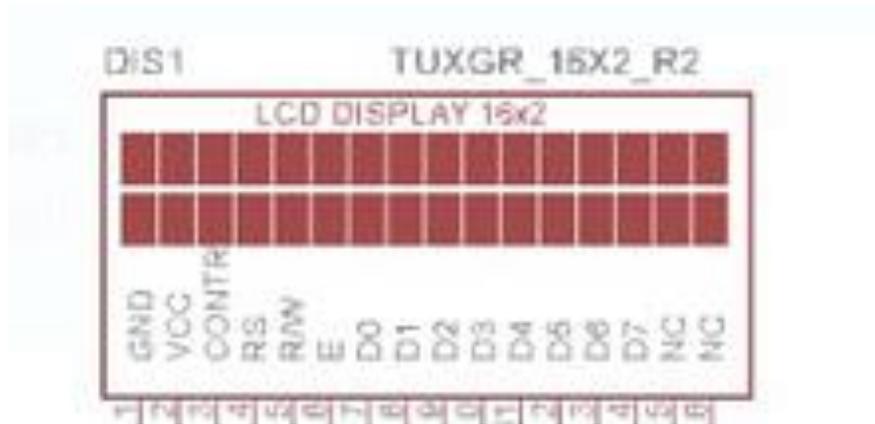
Gambar 3.5. Rangkaian Pembagi Tegangan

Sumber : Penulis, 2020

3.5.3. Perancangan Sistem Penampil LCD

LCD monitor yang digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan dari sensor. LCD yang digunakan adalah LCD ukuran 16 x 2 yang dapat menampilkan karakter dengan jumlah karakter sebanyak 16 pada tiap kolomnya dan terdiri dari 2 kolom. Dalam interkoneksi LCD digunakan modul I2C Display Control. Oleh karena itu *port* yang digunakan pada board adalah Vcc, ground, SDA dan SCL. Untuk pengaturan kontras karakter yang ditampilkan, dapat diatur pada modul *I2C Display Control*.

LCD ini berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran yang telah diolah oleh *mikrocontroller*. Hasil yang ditampilkan pada LCD adalah tegangan dan arus.

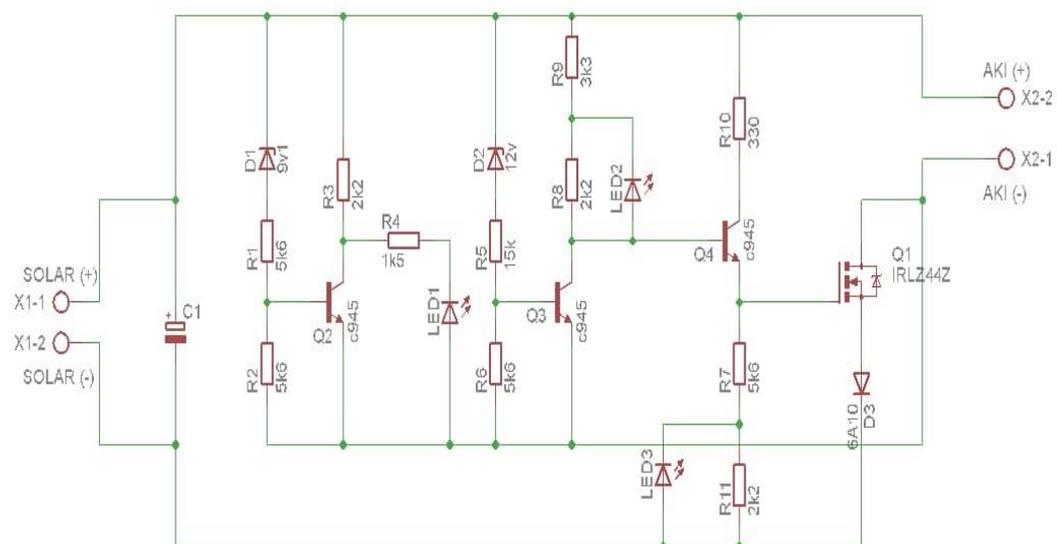


Gambar 3.6. Rangkaian LCD

Sumber : Penulis, 2020

3.5.4. Rangkaian Solar Charge Controller

Rangkaian *Solar Charge Controller* ini menggunakan resistor dan LED sebagai sensor untuk mengetahui bahwa aki yang dicas penuh atau sedang *lowbat*, dan berfungsi sebagai *over charging* pada pengisian aki sehingga aki tidak mudah rusak.



Gambar 3.7. Rangkaian Solar Charge Controller
 Sumber : Penulis, 2020

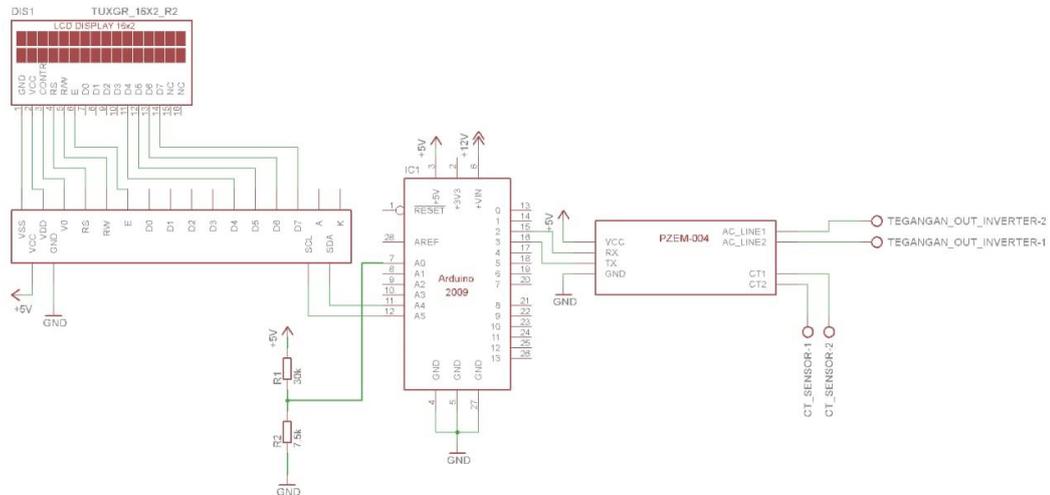
3.5.5. Arduino

Sebagaimana kita ketahui dengan *microkontroler* kita dapat membuat program untuk mengendalikan berbagai komponen elektronika, program yang kita buat dengan bahasa pemrograman di upload ke *microkontroler* yang kemudian *microkontroler* bekerja sesuai dengan program yang telah dibuat dan didalam arduino uno sudah tersedia yang dibutuhkan oleh *microkontroler* sehingga dengan arduino uno lebih memudahkan penggunaanya yang membuat berbagai hal yang berkaitan dengan *microkontroler*. Pada sistem *monitoring* solar charge ini fungsi arduino uno sebagai *controler* kesemua komponen yang ada pada rangkaian tersebut.



Gambar 3.8. Rangkaian Arduino Uno
Sumber : Penulis, 2020

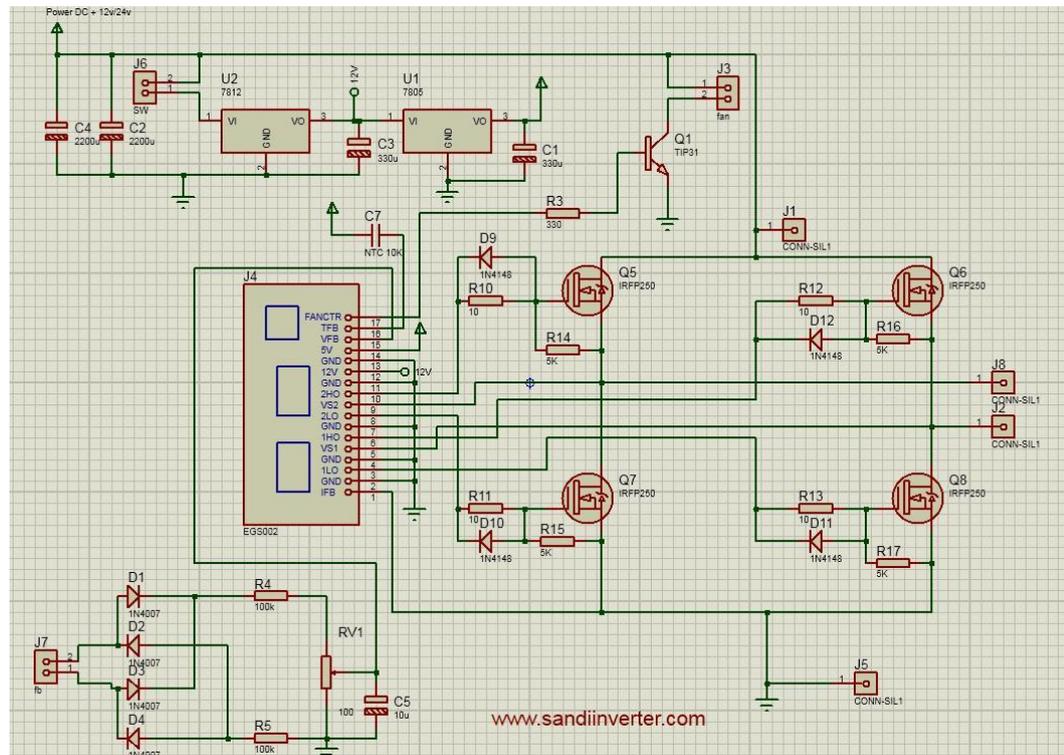
3.5.6. Rangkaian *Monitoring Solar Charge Controller*



Gambar 3.9. Rangkaian *Monitoring Solar Charge Controller*
Sumber : Penulis, 2020

Perancangan solar panel akan dicas dengan menggunakan energi panas matahari yang akan disimpan didalam aki kemudian *solar charge controller* sebagai pengatur *overcharging* pada pengisian aki, kemudian akan masuk ke *inverter* sebagai pengubah arus DC ke AC dan keluarannya akan di tampilkan di LCD dari mulai arus, daya, tegangan.

3.5.7. Rangkaian Inverter



Gambar 3.10. Rangkaian Inverter

Sumber : Penulis, 2020

Rangkaian inverter ini menggunakan EGS 002. Inverter digunakan untuk mengubah arus DC (*direct current*) menjadi AC (*alternating current*). Pada perancangan sistem monitoring ini setelah arus DC (*direct current*) dirubah menjadi AC (*alternating current*) transistor sebagai penguat akan menghasilkan 7.5 V AC

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

Hasil penelitian ini pada *monitoring solar charge controller* yang menggunakan energi panas matahari untuk menghasilkan listrik terintegrasi pada solar panel. Dimana energi listrik akan masuk ke baterai untuk menyimpan tegangan listrik. Pada umumnya pada perancangan solar sel jarang menggunakan *solar charge controller* sehingga baterai cepat rusak akibat *over charging* sehingga dibutuhkan *solar charge controller* untuk membuat sistem pengisian baterai yang lebih baik. Konsep ini mengurangi resiko baterai yang cepat rusak akibat *over charging*. Rancangan ini menggunakan komponen – komponen elektronika seperti sensor arus dan tegangan dan arduino.



Gambar 4.1. Rangkaian perangkat *solar charge controller*

Sumber : Penulis, 2020

4.2. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan setelah semua komponen telah tersedia dan telah terhubung dengan rangkaian. Beberapa pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sensor, pengujian kontroler, pengujian hasil kalibrasi dan output. Pengujian dilakukan dengan mengukur, menghitung dan menganalisa data hasil pengukuran. Berikut adalah data hasil pengukuran yang dilakukan pada masing-masing komponen.

4.3. Pengujian dan Analisa Alat Monitoring Besaran Listrik Pada Perangkat *Solar Charge Controller* Berbasis Elektronika Daya.

4.3.1. Pengujian alat menggunakan beban

Pengujian alat tanpa beban dan menggunakan beban sebesar (40) dan (4) watt, dengan membandingkan hasil dari pengukuran alat *monitoring* dan hasil pembacaan besaran listrik menggunakan multimeter dengan waktu 10 menit dan melakukan 5 kali pengujian.

- a. Pengujian menggunakan tanpa beban.

Hasil pengujian menggunakan tanpa beban dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.1. Pengujian tanpa beban

Pengujian ke	V_{uk} (V)	V_a (V)	I_a (A)	P_a (W)	VAC_{uk}	VAC_a
1	12.45	12.5	0.03	0.40	192.9	194.2
2	12.44	12.4	0.03	0.40	193.3	194.4
3	12.43	12.3	0.03	0.40	193.4	194.5
4	12.39	12.2	0.03	0.40	193.5	194.4
5	12.46	12.6	0.03	0.40	193.9	194.6
Rata-rata	12.43	12.4	0.03	0.40	193.4	194.4

Keterangan:

V_{buk} = nilai tegangan baterai yang terbaca pada alat ukur

V_{ba} = nilai tegangan baterai yang terbaca pada alat yang di buat

I_a = nilai arus yang terbaca pada alat yang dibuat

P_a = daya yang terbaca pada alat yang di buat

V_{acuk} = nilai tegangan AC yang terbaca pada alat ukur

V_{aca} = nilai tegangan AC yang terbaca pada alat yang dibuat

Berdasarkan tabel diatas maka didapatkan nilai rata-rata tegangan baterai dari hasil pengukuran alat monitoring sebesar (12.4V) dan hasil pembacaan besaran listrik menggunakan multimeter sebesar (12.43V) .

Persentase akurasi tegangan :

$$\frac{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat } (V_a)}{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat ukur } (V_{uk})} \times 100 \%$$

$$= \frac{12.4}{12.43} \times 100 \%$$

$$= 99,7\%$$

Perhitungan diatas bisa dilihat persentase kesalahan tegangan dari alat yang dibuat adalah sebesar (0,3) %.

Daya pada alat nilai rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar (0,40 W) , maka hasil perhitungannya sebagai berikut :

Energi rata-rata hasil perhitungan :

$$\begin{aligned} & \frac{\text{daya rata – rata}(W) \times \text{waktu pemakaian}(S)}{3600} \\ &= \frac{0.40 \times (10 \times 60)}{3600} \\ &= \frac{0.40 \times 600}{3600} \\ &= 0.06 \text{ Wh.} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel diatas maka didapatkan nilai rata-rata tegangan AC dari hasil pengukuran alat *monitoring* sebesar (194.4V) dan hasil pembacaan besaran listrik menggunakan multimeter sebesar (193.4V) .

Persentase akurasi tegangan :

$$\begin{aligned} & \frac{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat}(V_a)}{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat ukur}(V_{uk})} \times 100 \% \\ &= \frac{194.4}{193.4} \times 100 \% \\ &= 100,5 \% \end{aligned}$$

Perhitungan diatas bisa dilihat persentase kesalahan tegangan dari alat yang dibuat adalah sebesar (0.5) %.

- b. Pengujian menggunakan lampu dengan beban (40) watt.

Hasil pengujian menggunakan lampu dengan daya (40) Watt dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.2. Pengujian menggunakan beban 40 watt

Pengujian ke	V _{uk} (V)	V _a (V)	I _a (A)	Pa (W)	VAC _{uk}	VAC _a
1	12.9	12.1	0.16	26.3	165.4	169.9
2	12.4	12	0.16	26.2	165.3	169
3	12.3	11.6	0.16	26	165.1	168.6
4	12.2	12.4	0.16	25.9	164.8	167.8
5	12.1	11.8	0.16	25.8	164.7	167.4
Rata-rata	12.38	11.98	0.16	26.04	165.06	168.54

Keterangan:

V_{buk} = nilai tegangan baterai yang terbaca pada alat ukur

V_{ba} = nilai tegangan baterai yang terbaca pada alat yang di buat

I_a = nilai arus yang terbaca pada alat yang dibuat

Pa = daya yang terbaca pada alat yang di buat

V_{acuk} = nilai tegangan AC yang terbaca pada alat ukur

V_{aca} = nilai tegangan AC yang terbaca pada alat yang dibuat

Berdasarkan tabel diatas maka didapatkan nilai rata-rata tegangan baterai dari hasil pengukuran alat *monitoring* sebesar (11.98V) dan hasil pembacaan besaran listrik menggunakan multimeter sebesar (12.38V) .

Persentase akurasi tegangan :

$$\frac{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat (V}_a\text{)}}{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat ukur (V}_{uk}\text{)}} \times 100 \%$$

$$= \frac{11.98}{12.38} \times 100\%$$

$$= 96 \%$$

Perhitungan diatas bisa dilihat persentase kesalahan tegangan dari alat yang dibuat adalah sebesar (4) %.

Daya pada alat nilai rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar (26.04W) , maka hasil perhitungannya sebagai berikut :

Energi rata-rata hasil perhitungan :

$$\frac{\text{daya rata – rata}(W) \times \text{waktu pemakaian } (S)}{3600}$$

$$= \frac{26.04 \times (10 \times 60)}{3600}$$

$$= \frac{26.04 \times 600}{3600}$$

$$= 4.34 \text{ Wh.}$$

Berdasarkan tabel diatas maka didapatkan nilai rata-rata tegangan AC dari hasil pengukuran alat *monitoring* sebesar (168.54V) dan hasil pembacaan besaran listrik menggunakan multimeter sebesar (165.06V) .

Persentase akurasi tegangan :

$$\frac{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat } (Va)}{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat ukur } (Vuk)} \times 100 \%$$

$$= \frac{168.54}{165.06} \times 100 \%$$

$$= 102 \%$$

Perhitungan diatas bisa dilihat persentase kesalahan tegangan dari alat yang dibuat adalah sebesar (2) %.



Gambar 4.2. Pengujian menggunakan beban 40 Watt.

Sumber : Penulis,2020

c. Pengujian menggunakan lampu dengan beban (4) watt.

Hasil pengujian menggunakan lampu dengan daya (4) Watt dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.3. Pengujian menggunakan beban 4 watt

Pengujian ke	V_{uk} (V)	V_a (V)	I_a (A)	P_a (W)	VAC_{uk}	VAC_a
1	12.78	12.9	0.05	4.6	191.3	190.6
2	12.77	13.1	0.05	4.6	191.4	190.5
3	12.76	13	0.05	4.6	191.7	190.3
4	12.74	12.6	0.05	4.6	191.4	190.6
5	12.73	12.7	0.05	4.6	191.6	190.7
Rata-rata	12.75	12.86	0.05	4.6	191.48	190.54

Keterangan:

V_{buk} = nilai tegangan baterai yang terbaca pada alat ukur

V_{ba} = nilai tegangan baterai yang terbaca pada alat yang di buat

I_a = nilai arus yang terbaca pada alat yang dibuat

P_a = daya yang terbaca pada alat yang di buat

V_{acuk} = nilai tegangan AC yang terbaca pada alat ukur

V_{aca} = nilai tegangan AC yang terbaca pada alat yang dibuat

Berdasarkan tabel diatas maka didapatkan nilai rata-rata dari hasil pengukuran alat *monitoring* sebesar (12.86V) dan hasil pembacaan besaran listrik menggunakan multimeter sebesar (12.75) .

Persentase akurasi tegangan :

$$\frac{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat } (V_a)}{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat ukur } (V_{uk})} \times 100 \%$$

$$= \frac{12.86}{12.75} \times 100\%$$

$$= 100,1 \%$$

Perhitungan diatas bisa dilihat persentase kesalahan tegangan dari alat yang dibuat adalah sebesar (0.1) %.

Daya pada alat nilai rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar (4.6 W) , maka hasil perhitungannya sebagai berikut :

Energi rata-rata hasil perhitungan :

$$\frac{\text{daya rata – rata}(W) \times \text{waktu pemakaian } (S)}{3600}$$

$$= \frac{4.6 \times (10 \times 60)}{3600}$$

$$= \frac{4.6 \times 600}{3600}$$

$$= 0.76 \text{ Wh}$$

Berdasarkan tabel diatas maka didapatkan nilai rata-rata tegangan AC dari hasil pengukuran alat *monitoring* sebesar (190.54V) dan hasil pembacaan besaran listrik menggunakan multimeter sebesar (191.48V) .

Persentase akurasi tegangan :

$$\frac{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat (Va)}}{\text{tegangan rata – rata yang terbaca pada alat ukur (Vuk)}} \times 100 \%$$

$$= \frac{190.54}{191.48} \times 100 \%$$

$$= 99 \%$$

Perhitungan diatas bisa dilihat persentase kesalahan tegangan dari alat yang dibuat adalah sebesar (1) %.



Gambar 4.3. Pengujian menggunakan beban 4 Watt
Sumber : Penulis,2020

Tabel 4.4 Pengujian pada *Solar Charge Controller*

No.	Waktu	Input SCC	Output SCC tanpa beban
1.	08:12	13.80 V	12.97 V
2.	08:22	14.73 V	13.03 V
3.	08:32	15.72 V	13.63 V
4.	08:38	15.77 V	14.88 V
5.	08:52	17.77 V	15.45 V

Pada pengujian pada Solar Charge Controller ini input dan output SCC keluaran nya akan melebihi dari batas aki karena pada saat SCC hidup aki sudah mulai tercas dan tegangan di aki akan naik.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisa alat yang dibuat, selanjutnya dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dua kali percobaan menggunakan beban 4 Watt dan 40 Watt maka didapat hasil persentase kesalahan pada tegangan baterai antara 0.1 % - 4 %.
2. Percobaan menggunakan daya 4 Watt energi rata- rata yang dihasilkan 0.76 Wh dan daya 40 Watt menghasilkan 4.34 Wh.
3. Percobaan menggunakan daya 4 Watt kesalahan pembacaan tegangan AC sebesar 1 % dan kesalahan pada pengukuran dengan beban 40 Watt sebesar 2 %.

5.2. Saran

1. Alat sistem *monitoring* panel surya ini bisa dikembangkan lagi dengan menambahkan sensor suhu dan kelembaban sehingga mengurangi kerusakan alat jika terkena hujan.
2. Untuk pengukuran arus sebaiknya menggunakan beban yang lebih besar agar dapat diukur menggunakan alat ukur tang ampere.

DAFTAR PUSTAKA

- Asep Muhamad Alipudin, dkk 2018 Rancang Bangun Alat Monitoring Biaya Listrik Terpakai Berbasis Internet Of Things (Iot).
- Aryza, S., Irwanto, M., Lubis, Z., Siahaan, A. P. U., Rahim, R., & Furqan, M. (2018). A Novelty Design Of Minimization Of Electrical Losses In A Vector Controlled Induction Machine Drive. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 300, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Bambang Hari Purwoto, dkk 2017 *Jurnal Teknik Elektro* vol. 18 No. 01, Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif. ISSN 1411-8890
- Hamdani, H., Tharo, Z., & Anisah, S. (2019, May). Perbandingan Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Antara Daerah Pegunungan Dengan Daerah Pesisir. In Seminar Nasional Teknik (Semnastek) Uisu (Vol. 2, No. 1, pp. 190-195).
- Handi Suryawinata, dkk 2017 *Jurnal Teknik Elektro* Vol. 9 No. 1 Sistem *Monitoring* Pada Panel Surya Menggunakan *Data Logger* Berbasis Atmega 328 Dan *Real Time Clock* Ds1307. E-ISSN 2549 – 1571.
- Kurnifan Adhi Prasetyo, dkk 2018 *Jurnal Edukasi Elektro*, Vol. 2, No. 1 Pengembangan Alat *Control Charging* Panel Surya Menggunakan *Arduino Nano* Untuk Sepeda Listrik Niaga . Issn 2548-8260
- M. Rif'an, dkk 2016 *Jurnal EECCIS* Vol. 6, No. 1, Optimasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Maulana, Teori Dasar Mosfet (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) : <http://maulana.lecture.ub.ac.id>
- Prastia, Muhammad Agung 2018 Sistem *Monitoring* Solar Panel Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Menggunakan Ni-Myrio Dan Labview.
- Putri, M., Wibowo, P., Aryza, S., & Utama Siahaan, A. P. Rusiadi. (2018). An implementation of a filter design passive lc in reduce a current harmonisa. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(7), 867-873.
- Rahmaniar, R. (2019). Model flash-nr Pada Analisis Sistem Tenaga Listrik (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Padang).
- Riki Ruli A. Siregar, dkk 2017 *Jetri*, Volume 14, Nomor 2 Sistem *Monitoring* Kinerja Panel Listrik Tenaga Surya Menggunakan Arduino Uno. ISSN 1412-0372 Hal.81 – 100.

Rosidi, Mohammad Imron 2016 Perancangan *Monitoring* Beban pada Sistem *Solar Cell* Berbasis Mikrokontroler Menggunakan SMS Gateway.

Rahmat Hidayat,dkk 2017 *Jurnal Intekna*, Volume 17, No. 1 Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Aplikasi Beban Rendah (600 W). ISSN 2443-1060.

Tarigan, A. D., & Pulungan, R. (2018). Pengaruh Pemakaian Beban Tidak Seimbang Terhadap Umur Peralatan Listrik. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 10-15.

