

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS PENGARUH INTENSITAS CAHAYA TERHADAP KERJA PANEL SURYA 50 WP**

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST) Pada Fakultas Teknik Program Studi  
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh :

**FAHMI AZHAR HASIBUAN**

**NPM : 1507220033**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2020**

**HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fahmi Azhar Hasibuan

NPM : 1507220033

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : " Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Kerja Panel Surya 50 Wp "

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 Maret 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Peguji

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Cholish, S.T.,M.T

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Peguji

Elyy Sahmur, S.T., M.Pd

Muhammad Adam, S.T.M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

*Saya yang bertanda tangan di bawah ini*

Nama Lengkap : Fahmi Azhari Hasibuan  
Npm : 1507220033  
Fakultas : Teknik  
Program studi : Teknik Elektro



Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

**“Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Kerja Panel Surya 50 Wp”**

*Dengan sebenar – benar nya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang di teliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di salah satu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis di kutip dalam naskah dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka*

Medan, 20 Maret 2020

Saya menyatakan

  
Fahmi Azhari Hasibuan

## **Abstrak**

Bahan bakar minyak dan batu bara terbentuk dari fosil yang digunakan sebagai energi utama sumber pembangkit listrik milik perusahaan listrik negara tempat keberadaannya semakin menipis. Sebagai energi yang tidak dapat diperbarui akan membuat nilai jual kembali yang lebih tinggi, sehingga diperlukan studi dan penelitian yang terbarukan energi sebagai sumber energi listrik dari energi matahari satu. Penggunaan energi terbarukan adalah alternatif untuk mengurangi permintaan energi dan mengoptimalkannya Potensi alami PLN. Sel surya adalah teknologi yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan intensitas output intensitas cahaya pada panel sel surya. Metode penelitian ini adalah pengukuran intensitas matahari secara nyata dan mengukur output kekuatan panel sel surya itu, adapun bahan yang digunakan adalah lumen meter tersebut digunakan untuk mengukur intensitas sinar matahari, multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus, dengan regulator pengisian baterai, Panel sel dengan kapasitas 50 Wp solar. Tes dilakukan untuk 6 hari, setiap hari pengujian mulai pukul 6:00 hingga 18:00. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Intensitas cahaya paling tinggi pada jam 12.00 dengan nilai Intensitas cahaya 112.900 lux, sedangkan daya keluaran sel surya dengan tegangan sebesar 19,8 volt dan arus sebesar 0,38 ampere.

**Kata kunci: sel surya, Intensitas cahaya, daya output, energi terbarukan**

### ***Abstract***

*Oil and coal fuels are formed from fossils which are used as the main energy source of power plants owned by the state electricity company where their existence is increasingly depleting. As non-renewable energy will create a higher resale value, so it is necessary to study and research that renewable energy as a source of electrical energy from solar energy one. The use of renewable energy is an alternative to reducing energy demand and optimizing PLN's natural potential. Solar cells are technology that converts sunlight into electrical energy. The purpose of this study was to determine the relationship of light intensity output intensity on solar cell panels. The method of this research is the measurement of the intensity of the sun in a real way and measuring the strength output of the solar cell panels, while the material used is the lumens meter used to measure the intensity of sunlight, a multimeter is used to measure voltage and current, with a battery charging regulator, cell panels with capacity 50 Wp of diesel fuel. The test is carried out for 6 days, every day of testing starting at 6:00 until 18:00. The results showed that the highest light intensity at 12.00 hours with a light intensity value of 112,900 lux, while the output power of solar cells with a voltage of 19.8 volts and a current of 0.38 amperes.*

***Keywords: solar cells, Light intensity, output power, renewable energy***

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum wr.wb*

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “**Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Kerja Panel Surya 50 Wp**”.

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Yang tersayang Ayahanda Harison Hasibuan dan Ibunda Yuhaipa Pasaribu yang dengan tulus memberikan semangat, dorongan dan bimbingan dengan ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti ini menyelesaikan tugas akhir ini.

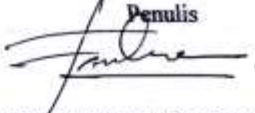
2. Bapak Munawar Alfansuri Siregar, ST, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu , ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara sekaligus dosen pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Partaonan Harahap ST, MT. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Choliz, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Ibu Elvy sahnur Nst, S.T., M.Pd selaku dosen penguji I dalam penyusunan tugas akhir ini
7. Bapak Muhammad Adam ST. MT., selaku dosen penguji II dalam penyusunan tugas akhir ini
8. Bapak dan ibu dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
9. Karyawan biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Orang yang spesial buat saya Yota Putri Arianti yang memberikan semangat serta motivasi kepada penulis agar dapat menyelesaikan tulisan ini.
11. Adjie widthyo tomo, Muhammad Wahyudi, Heri Pradana, Ilham Andrea, Ardan Mahendra, Teman-teman seangkatan dan seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya Program Studi Teknik Elektro angkatan 2015 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu 'alaikum wr. wb.*

Medan, 20 Maret 2020

Penulis  
  
FAHMI AZHARI HASIBUAN  
1507220023



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaaf Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Listrik (PLTS).....	10
2.2.1 Perkembangan PLTS di Indonesia .....	12
2.3 Sel Surya (solar cell) .....	13
2.4 Charge Control.....	19
2.5 Inverter .....	21
2.6 Battery .....	21
2.6.1 Jenis – jenis battery .....	23
2.6.2 Baterai Pada Sistem PLTS .....	25
2.6.3 Parameter Untuk Baterai.....	29
2.6.4 Metoda Charging (pengisian) Baterai.....	31

2.7 Suhu.....	32
2.8 Cahaya .....	33
2.8.1 Sifat – Sifat Cahaya .....	33
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	37
3.2 Metoda Menentukan Pemakaian Energi Listrik.....	37
3.2.1 Pengukur Arus dan Tegangan.....	37
3.2.2 Observasi .....	37
3.3 Peralatan Penelitian.....	38
3.3.1 Solar Cell.....	38
3.3.2 Solar Charger Controller .....	39
3.3.3 Baterai .....	40
3.3.4 Amperemeter .....	40
3.3.5 Multimeter .....	41
3.3.6 Thermometer.....	41
3.3.7 Lux Meter .....	41
3.4 Prosedur Penelitian.....	42
3.5 Diagram Alir .....	43
<b>BAB 4 HASIL DAN PENELITIAN .....</b>	<b>44</b>
4.1 Data hasil pengujian arus dan tegangan yang ada di hasilkan oleh PLTS .....	55
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran .....	49

## DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Panel Surya.....	14
Gambar 2.2	Konsep Kerja Sel Surya .....	18
Gambar 2.3	Inverter .....	21
Gambar 3.1	Solar Cell 50 WP .....	38
Gambar 3.2	Solar Charger Controller .....	39
Gambar 3.3	Baterai .....	40
Gambar 3.4	Amperemeter .....	41
Gambar 4.1	Grafik intensitas matahari .....	46
Gambar 4.2	Grafik Daya Hasil Perhitungan Daya .....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil pengukuran intensitas matahari .....	44
Table 4.2	Rata – Rata lumen.....	45
Table 4.3	Pengkelompokan hasil pengukuran tegangan dan arus.....	46
Table 4.4	Hasil perhitungan daya.....	47



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Panel surya terdiri dari susunan sel-sel surya. Pada umumnya sel surya terbuat dari bahan silikon yang memiliki sifat sebagai penyerap energi radiasi matahari yang sangat baik. Selama panel surya beroperasi di bawah sinar matahari, energi radiasi matahari dikonversi menjadi energi listrik dan terjadi peningkatan temperature sel-sel surya. Perubahan temperature sel-sel surya ini diakibatkan oleh temperature, kondisi awan dan kecepatan angin di lingkungan sekitar daerah penempatan panel surya. Dengan menurunnya temperature, arus listrik dalam panel surya sedikit menurun. Bahkan perubahan temperature yang sangat cepat dan ekstrim dapat menyebabkan terganggunya produksi listrik pada suatu pembangkit listrik tenaga surya. Daya listrik yang dihasilkan oleh suatu panel surya tidak hanya tergantung kepada besarnya intensitas radiasi yang diterimanya, namun kenaikan temperature pada permukaan panel surya juga dapat menurunkan besar daya listrik tersebut. Perubahan temperature pada panel surya selain disebabkan oleh temperature lingkungan sekitar, juga disebabkan oleh bahan silikon.

Problem utama pemanfaatan energi surya adalah pada waktu siang dan malam terjadi secara bergantian, sehingga perolehan energi surya tidak maksimal. Meskipun demikian memanfaatkan energi surya secara langsung maupun tak langsung dengan bantuan alat yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik, diperkirakan 50 % yang dapat diserap oleh bumi[1]. Dengan

demikian, pengembangan pembangkit listrik tenaga surya terus dikembangkan sebagai sumber tenaga listrik yang murah, bebas polusi.

Energi matahari memasok energi ke bumi dalam bentuk radiasi. Tanpa radiasi dari matahari, maka kehidupan di bumi tidak akan berjalan. Setiap tahunnya ada sekitar  $3,9 \times 10^{24}$  Joule =  $1,08 \times 10^{18}$  kWh energi matahari yang mencapai permukaan bumi, ini berarti energi yang diterima bumi dari matahari adalah 10.000 kali lebih banyak dari permintaan energi primer secara global tiap tahunnya dan lebih banyak dari cadangan ketersediaan keseluruhan energi yang ada di bumi.[2]

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan maka peneliti menarik untuk meneliti mengenai “ANALISIS PENGARUH INTENSITAS CAHAYA DAN KAPASITAS DAYA TERHADAP KERJA PANEL SURYA 50 WP”

### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini.

1. Bagaimana pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan output pada panel surya.
2. Bagaimana daya listrik rata-rata panel surya.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penulisan ini adalah

1. Untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan output pada panel surya.
2. Untuk mengetahui daya listrik rata-rata panel surya.

3. Untuk mengetahui perubahan kapasitas produksi listrik panel surya akibat perubahan intensitas cahaya untuk radiasi matahari.

#### **1.4 Ruang Lingkup**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Penelitian ini hanya menganalisa pengaruh intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan pada panel surya.
2. Penelitian ini hanya mengetahui daya listrik rata-rata panel surya.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

adapun manfaat dari penelitian ini adalah

1. Menambah wawasan dan pengetahuan tentang pembangkit listrik tenaga surya.
2. Memanfaatkan energi sinar matahari
3. Mengetahui bagaimana cara kerja panel surya

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab diantaranya.

##### **1. BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini membahas tentang latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penelitian.

##### **2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab 2 ini membahas landasan teori sebagai hasil dari studi literature yang berhubungan dengan studi analisis dan yang akan dilakukan dalam penelitian.

### **3. BAB 3 METODEODOLOGI PENELITIAN**

Bab 3 ini membahas tentang langkah-langkah dari penelitian serta prosedur dari penelitian.

### **4. BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas penjelasan mengenai data dari hasil penelitian dan analisa terhadap seluruh proses yang berlangsung selama penelitian.

### **5. BAB 5 PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan terhadap proses yang berlangsung selama penelitian dan saran yang mendukung penelitian selanjutnya agar dapat memberikan hasil yang lebih baik lagi.

### **DAFTAR PUSTAKA**



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek surya yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik.

Berbagai penelitian yang pernah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi terkait dengan analisis sistem sel surya baik itu berdasarkan tinjauan dalam meningkatkan kinerja yang dinyatakan dengan keluaran energi sistem sel surya dan energi panas. Proses perubahan energi cahaya matahari menjadi listrik ini dapat berlangsung pada material semikonduktor yang mempunyai dua area yang berbeda, dimana satu area mempunyai kelebihan elektron dan area yang lain kekurangan elektron. Pada umumnya material semikonduktor ini terbuat dari silikon yang pada penggunaannya dikategorikan berdasarkan bentuk menjadi 2 yakni kristal dan non-kristal. Sel surya mempunyai banyak aplikasi, diantaranya sangat berguna pada situasi dimana energi listrik masih jarang atau sulit didapatkan seperti di daerah terpencil dan juga satelit buatan manusia yang mengorbit bumi diluar angkasa. *Photovoltaic* (PV) adalah suatu sistem atau cara langsung untuk mentransfer radiasi matahari atau energi cahaya menjadi energi listrik. Sistem *photovoltaic* bekerja dengan prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh *Henri Becquerel* pada tahun 1839. Efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap

energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* didefinisikan sebagai suatu fenomena munculnya voltase listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat diexpose dibawah energi cahaya. Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasanya foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel PV, maka foton tersebut dapat dibiarkan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel PV. Foton yang diserap oleh sel PV inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik. Sel PV adalah suatu perangkat yang mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas didalam suatu atom. Konduktivitas elektron atau kemampuan transfer elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material. Sel surya pada umumnya menggunakan material semikonduktor sebagai penghasil elektron bebas. Material semikonduktor adalah suatu padatan dan seperti logam, konduktivitas listriknya juga ditentukan oleh elektron valensinya. Namun, berbeda dengan logam yang konduktivitasnya menurun dengan kenaikan temperatur, material semikonduktor konduktivitasnya akan meningkat secara *significant*.

Beberapa penelitian tentang pembangkit listrik tenaga surya atau PLTS yang dilakukan adalah yaitu :

Menurut Subekti Yulianda (2015) dalam jurnal yang berjudul “PENGARUH PERUBAHAN INTENSITAS MATAHARI TERHADAP DAYA KELUARAN PANEL SURYA” 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. Dari beberapa penelitian menyatakan bahwa dengan mengubah cahaya matahari terutama intensitas matahari dengan solar sel dapat dibuat sumber energi listrik untuk konsumsi manusia. Pemilihan sumber energi terbarukan ini sangat beralasan mengingat suplai energi surya dari sinar matahari yang di terima oleh permukaan bumi mencapai mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule pertahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Di Indonesia melimpahnya cahaya matahari yang merata dan dapat ditangkap di seluruh kepulauan Indonesia hamper sepanjang tahun merupakan sumber energi listrik yang sangat potensial. Energi yang bersifat terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi mengingat sumber tersebut sangat melimpah. Hal ini disebabkan penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional. dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang makin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Salah satunya upaya yang telah dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)[3].

Menurut Muhammad firman (2017) dalam jurnal yang berjudul “ANALISA RADIASI PANEL SURYA TERHADAP DAYA YANG DIHASILKAN UNTUK PENERANGAN BAGIAN LUAR MESJID MIFTAHUL JANNAH DIDESA BENUA TENGAH KECAMATAN TAKISUNG” Untuk membentuk sitem pembangkit listrik matahari atau mengkonversikan aliran penyinaran panas cahaya matahari berdaya serap besar

dan efisien yang lebih besar serta lebih bersahabat dengan lingkungan. Sehingga perlu dilakukan usaha - usaha untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi dalam bumi dan pemerintah, dengan melalui inovasi dan pemikiran yang tepat untuk sumber energi pemanfaatan sinar matahari termasuk pengembangan energi alternatif yang memenuhi persyaratan untuk energi alternatif dimasa depan yang mudah, murah, tersedia dalam jumlah yang melimpah, *fleksibel* dan dalam penggunaannya ramah terhadap lingkungan. Semua persyaratan tersebut dapat dipenuhi dengan mengembangkan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Hal ini sangat didukung dengan letak karakteristik negara kita indonesia, yang mana negara ini adalah termasuk daerah khatulistiwa yang mendapat sinar matahari dalam jumlah besar sepanjang tahun, sehingga sistem ini sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan, dikembangkan serta diterapkan dikehidupan sekarang dan yang akan datang. Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas didalam suatu atom. Panel surya yang dapat berupa alat semi konduktor yang dapat menghantarkan aliran listrik yang dapat secara langsung mengubah energi surya menjadi bentuk energi listrik secara efisien. Yang berarti didalamnya terdapat konduktivitas elektron atau kemampuan perpindahan elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material, hampir semua panel surya dibuat dari bahan silikon yang berkrystal tunggal[4].

## **2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Listrik (PLTS)**

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah peralatan pembangkit listrik yang mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Plts sering juga disebut *solar cell*, atau *solar photovoltaic*, atau solar energi. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat di rancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri maupun dengan hybrid, baik dengan

metoda desentralisasi maupun dengan metoda sentralisasi. PLTS merupakan system pembangkit yang tergolong mudah, murah, ramah lingkungan dan terbarukan[5]. Pada sistem pembangkit ini, terjadi suatu proses penyimpanan energi listrik yang harus dihasilkan oleh modul *solar cells* atau *photovoltaic*.

Biasanya energi listrik ini disimpan pada baterai dalam bentuk energi elektrokimia. Pada proses penyimpanan energi tersebut, diperlukan suatu alat yang berfungsi mengatur proses tadi agar tidak terjadi pengisian berlebih pada baterai (*over charge*) yang dapat menyebabkan kerusakan pada baterai. *Fotovoltaic* (biasanya disebut juga sel surya) adalah piranti semikonduktor yang dapat merubah cahaya secara langsung menjadi menjadi arus listrik searah (DC) dengan menggunakan kristal *silicon* (Si) yang tipis. Sebuah kristal silindris Si diperoleh dengan cara memanaskan Si itu dengan tekanan yang diatur sehingga Si itu berubah menjadi penghantar. Bila kristal silindris itu dipotong setebal 0,3 mm, akan terbentuklah sel-sel silikon yang tipis atau yang disebut juga dengan sel surya (fotovoltaik). Sel-sel silikon itu dipasang dengan posisi sejajar/seri dalam sebuah panel yang terbuat dari alumunium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian pada tiap-tiap sambungan sel itu diberi sambungan listrik. Bila sel-sel itu terkena sinar matahari maka pada sambungan itu akan mengalir arus listrik. Besarnya arus/tenaga listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai silikon itu dan luas permukaan sel itu. Pada dasarnya sel surya fotovoltaik merupakan suatu dioda semikonduktor yang berkerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek fotovoltaik. Dalam proses itu sel surya menghasilkan tegangan 0,5-1 volt tergantung intensitas cahaya dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Sementara itu intensitas energi yang terkandung

dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt. Tapi karena daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik berdasarkan efek fotovol-taik baru mencapai 25%, maka produksi listrik Pada dasarnya sel surya fotovoltaik merupakan suatu dioda semikonduktor yang berkerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek fotovoltaik. Dalam proses itu sel surya menghasilkan tegangan 0,5-1 volt tergantung intensitas cahaya dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Sementara itu intensitas energi yang terkandung dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt. Tapi karena daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik berdasarkan efek *fotovoltaic* baru mencapai 25%, maka produksi listrik[6].

### **2.2.1 Perkembangan PLTS di Indonesia**

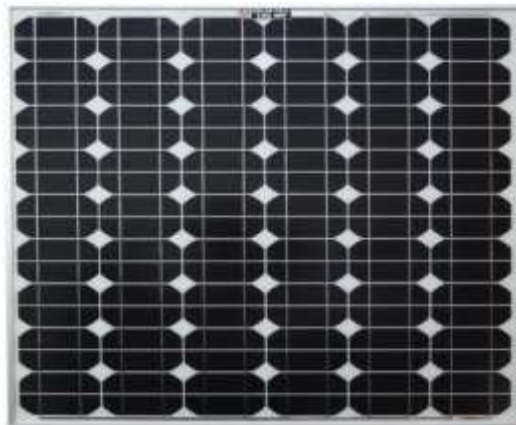
Sebuah sistem PLTS terdiri dari panel surya, rangkaian pengatur pengisian, penyimpan energi listrik, inverter, pengkabelan serta konektor, dan perlengkapan mekanis lainnya. Perkembangan teknologi dari tiap-tiap komponen ini telah mampu menghasilkan system PLTS yang ekonomis dan handal. Industri nasional sudah mampu memproduksi hampir semua subsistem dari PLTS kecuali panel surya. Industri hulu yang fokus pada pengembangan sel dan panel surya belum ada sedangkan industry hilir yang terdiri dari *balance of system* yang meliputi lampu, rangkaian pengatur, dan baterai, integrasi sistem, distribusi serta instalasi sudah berkembang cukup baik. Dari sisi kualitas, sebagian komponen utama PLTS yang beredar di pasaran nasional sudah memenuhi standar uji BPPT walaupun masih terdapat sebagian yang kualitasnya substandar. Panel surya atau *photovoltaic panel* adalah komponen utama suatu PLTS yang berfungsi untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Satu-satunya perusahaan dalam

negeri yang memiliki kapasitas untuk memproduksi panel surya adalah PT LEN Industri. Hal ini menyebabkan hampir semua panel surya yang sudah terpasang di seluruh Indonesia adalah produk impor. Sejak beberapa terakhir, aktifitas yang mengarah pada pengembangan industri panel surya dalam negeri mulai mendapat perhatian. Misalnya, peta jalan pengembangan industri PLTS sudah ditetapkan. Baterai adalah komponen PLTS yang diperlukan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari untuk kemudian digunakan pada malam hari. Ketersediaan produk ini secara nasional sudah mencukupi baik dari sisi kapasitas dan distribusi. Hal ini mungkin didukung oleh aplikasi baterai yang sangat luas di bidang transportasi walaupun harus diperhatikan bahwa karakteristik baterai untuk PLTS berbeda dengan aplikasi baterai untuk kendaraan bermotor. Beberapa produk baterai yang tersedia di dalam negeri dan sering digunakan dalam PLTS antara lain Delkor, Fiamm, GS, Haze, Hitachi, Incoe, Leoch, Massiv, Mastervolt, Panasonic, PowerKingdom, Rita, Trojan, dan Yuasa. Dalam penelitian tentang uji standar baterai yang dilakukan sejak 2006 hingga 2008 oleh B2TE, ditemukan bahwa hampir 75% baterai yang diuji telah memenuhi persyaratan uji dan berhak memperoleh sertifikat uji standar[7].

### **2.3 Sel Surya (*solar cell*)**

Seiring dengan peningkatan pengetahuan dan teknologi, manusia pada dewasa ini telah menemukan sebuah terobosan baru dalam memanfaatkan energi cahaya matahari dengan menciptakan alat konversi energi matahari menjadi energi listrik yang kemudian disebut *photovoltaic*. Selanjutnya dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Sebelum membahas sistem pembangkit listrik tenaga surya, pertama-tama akan dijelaskan secara singkat

komponen penting dalam sistim ini yang berfungsi sebagai perubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Listrik tenaga matahari dibangkitkan oleh komponen yang disebut sel surya yang besarnya sekitar 10 ~ 15 cm persegi. Komponen ini mengkonversikan energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan komponen vital yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor. *Multicrystalline silicon* adalah bahan yang paling banyak dipakai dalam industri sel surya *Multicrystalline* dan *monocrystalline silicon* menghasilkan efisiensi yang relatif lebih tinggi daripada *amorphous silicon*. Sedangkan *amorphus silicon* dipakai karena biaya yang relatif lebih rendah. Selain dari bahan nonorganik diatas dipakai pula molekul-molekul organik walaupun masih dalam tahap penelitian. Sebagai salah satu ukuran performansi sel surya adalah efisiensi. Yaitu prosentasi perubahan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Efisiensi dari solar cell yang sekarang diproduksi sangat bervariasi.



**Gambar 2. 1 Panel Surya**

Sel surya yang termasuk dalam energi terbarukan telah banyak dikenal di Indonesia tetapi masih jarang digunakan walaupun sebenarnya dengan menggunakan solar cell panel akan mendapatkan listrik yang lebih ekonomis dari



pada pembangkit lainnya. Listrik tenaga surya ini dihasilkan dengan proses yang disebut photovoltaic. Dalam proses ini sinar matahari yang menyentuh permukaan panel solar cell akan memecah electron sehingga electron ini bergerak. Gerakan electron inilah yang menghasilkan energi listrik. Dengan menggunakan kabel listrik yang dihasilkan bisa disalurkan untuk digunakan berbagai peralatan listrik. *Electron* adalah partikel sub atom yang bermuatan *negative*, sehingga *silicon* paduan dalam hal ini disebutkan sebagai semikonduktor jenis-N. semikonduktor jenis-p juga terbuat dari Kristal *silicon* yang didalamnya terdapat sejumlah kecil materi lain yang mana menyebabkan material tersebut kekurangan satu *electron* bebas. Kekurangan atau kehilangan ini disebut lubang (*hole*). Karena tidak ada satu kurangnya *electron* yang bermuatan listrik *negative* maka *silicon* paduan dalam hal ini sebagai semikonduktor jenis-p. susunan sebuah *cell*, sama dengan sebuah diode, terdiri dari dua lapisan yang dinamakan PN junction. PN junction itu diperoleh dengan jalan menodai sebatang bahan semikonduktor *silicon* murni dengan impuriti yang bervalensi 3 pada bagian sebelah kiri, dan yang sebelah kanan dinodai dengan impuriti bervalensi 5. Sehingga pada bagian kiri terbentuk *silicon* yang tidak murni lagi dan dinamakan silikon jenis-p, sedangkan yang sebelah kanan dinamakan silicon jenis N. Didalam *silicon* murni terdapat dua macam pembawa muatan listrik yang seimbang. Pembawa muatan listrik yang positif dinamakan *hole*, sedangkan yang *negative* dinamakan *electron*. Setelah dilakukan proses pernodaan itu, didalam *silicon* jenis-p terbentuk *hole* dalam jumlah yang sangat besar dibandingkan dengan *elektronnya*. Oleh karna itu di dalam silicon jenis p hole merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan electron merupakan pembawa muatan minoritas. Sebaliknya, didalam *silicon* jenis

N terbentuk electron dalam jumlah yang sangat besar sehingga disebut pembawa muatan mayoritas, dan hole disebut pembawa muatan minoritas.

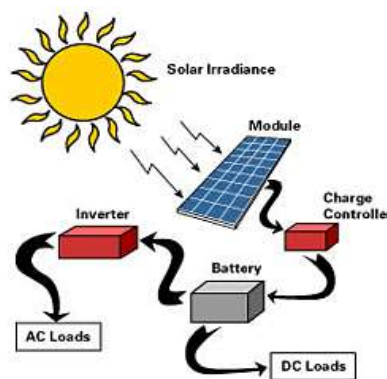
Di dalam batang silicon itu terjadi pertemuan antara bagian P dan bagian N. Oleh karena itu dinamakan PN junction. Bila sekarang, bagian P dihubungkan dengan kutub positif dari sebuah batere, sedangkan kutub negative nya dihubungkan dengan bagian N, maka terjadi hubungan yang dinamakan “ forward bias”. Dalam keadaan forward bias, di dalam rangkaian itu timbul arus listrik yang disebabkan oleh kedua macam pembawa muatan. Jadi arus listrik yang mengalir di dalam PN junction disebabkan oleh gerakan hole dan gerakan electron. Arus listrik itu mengalir searah dengan gerakan hole, tapi berlawanan arah dengan gerakan *electron*. Sekedar untuk lebih menjelaskan, electron electron yang bergerak didalam bahan konduktor dalam menimbulkan energy listrik. Dan energi listrik inilah yang disebut sebagai arus listrik yang mengalir berlawanan arah dengan gerakan *electron*. Tapi, bila bagian P dihubungkan dengan kutub negative dari batere dan bagian N dihubungkan dengan kutub positifnya, maka sekarang berbentuk hubungan yang dinamakan “ *reverse bias*”. Dengan keadaan seperti ini, maka hole (pembawa muatan positif) dapat tersambung langsung ke kutub positif, sedangkan electron juga langsung ke kutub positif. Jadi, jelas didalam PN junction tidak ada gerakan pembawa muatan mayoritas baik yang hole maupun *electron*. Sedangkan pembawa muatan minoritas (electron) di dalam bagian P bergerak berusaha untuk mencapai kutub positif batere. Demikian pula pembawa muatan minoritas (hole) da dalam bagian N juga bergerak berusaha mencapai kutub negative. Karna itu, dalam keadaan *reverse bias*, di dalam PN junction ada juga arus yang timbul meskipun dalam jumlah yang sangat kecil (mikro ampere).

Arus ini sering disebut dengan *reverse saturation current and leakage current* (arus bocor).

1. *Monocrystalline silicon* mempunyai efisiensi 12~15 %.
2. *Multicrystalline silicon* mempunyai efisiensi 10~13 %.
3. *Amorphous silicon* mempunyai efisiensi 6~9 %.

Tetapi dengan penemuan metode-metode baru sekarang efisiensi dari *multicrystalline silicon* dapat mencapai 16.0 % sedangkan *monocrystalline* dapat mencapai lebih dari 17 %. Bahkan dalam satu konferensi pada September 2000, perusahaan Sanyo mengumumkan bahwa mereka akan memproduksi sel surya yang mempunyai efisiensi sebesar 20.7 %. Ini merupakan efisiensi yang terbesar yang pernah dicapai. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu sel surya sangat kecil maka beberapa sel surya harus digabungkan sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut modul. *Monocrystalline silicon* mempunyai efisiensi 12~15 %. *Multicrystalline silicon* mempunyai efisiensi 10~13 %. *Amorphous silicon* mempunyai efisiensi 6~9 %. Tetapi dengan penemuan metode-metode baru sekarang efisiensi dari *multicrystalline silicon* dapat mencapai 16.0 % sedangkan *monocrystalline* dapat mencapai lebih dari 17 %. Bahkan dalam satu konferensi pada September 2000, perusahaan Sanyo mengumumkan bahwa mereka akan memproduksi sel surya yang mempunyai efisiensi sebesar 20.7 %. Ini merupakan efisiensi yang terbesar yang pernah dicapai[8]. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu sel surya sangat kecil maka beberapa sel surya harus digabungkan sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut modul. Produk yang dikeluarkan oleh industri-industri sel surya adalah dalam bentuk modul ini. Pada aplikasinya, karena tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu modul masih

cukup kecil (rata-rata maksimum tenaga listrik yang dihasilkan 130 W) maka dalam pemanfaatannya beberapa modul digabungkan dan terbentuklah apa yang disebut *array*. Sebagai contoh untuk menghasilkan listrik sebesar 3 kW dibutuhkan array seluas kira-kira 20 ~ 30 meter persegi. Secara lebih jelas lagi, dengan memakai modul produk *Sharp* yang bernomor seri NE-J130A yang mempunyai efisiensi 15.3% diperlukan luas 23.1m<sup>2</sup> untuk menghasilkan listrik sebesar 3.00 kW.



**Gambar 2. 2 Konsep Kerja Sel Surya**

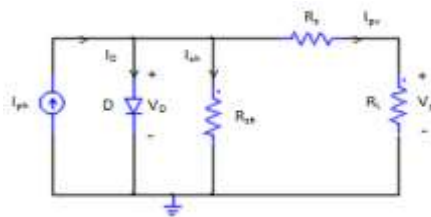
Pembangkit listrik tenaga surya merupakan sistem yang bersih dan ramah lingkungan. Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising, Selain itu gas buang yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (*green house gas*) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita. Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (batere) 12 volt yang *maintenance free*. Biasanya panel surya itu diletakkan dengan posisi statis menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari. Orbit yang ditempuh bumi berbentuk elips dengan matahari berada di salah satu titik fokusnya. Karena matahari bergerak membentuk sudut selalu berubah, maka

dengan posisi panel surya itu yang statis itu tidak akan diperoleh energi listrik yang optimal. Agar dapat terserap secara maksimum, maka sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya. Jadi, untuk mendapatkan energi listrik yang optimal, sistem sel surya itu masih harus dilengkapi pula dengan rangkaian kontroler optional untuk mengatur arah permukaan panel surya agar selalu menghadap matahari sedemikian rupa sehingga sinar matahari jatuh hampir tegak lurus pada panel suryanya. Solar panel mengkonversikan tenaga matahari menjadi tenaga listrik. Sel silicon yang di sinari matahari/surya, membuat photon yang menghasilkan arus listrik. Sebuah solar cells menghasilkan kurang lebih tegangan 0.5 volt[9]. Jadi sebuah panel surya 12 volt terdiri dari kurang lebih 36 sel untuk menghasilkan 17 volt tegangan maksimum. Solar sel 50 wp arti nya *solar cell* tersebut mempunyai 50 watt peak (pada saat matahari terik) sehingga 1 hari di asumsikan 4,5 jam ( hitungan aman 4 jam) sehingga  $50 \times 4,5 = 225$  watt hour / day, itu kapasitas maksimal untuk pemakaian 1 hari.

### 2.3.1 Karakteristik Sel Surya

#### 2.3.1.1 Rangkaian Ekivalen Sel Surya

Rangkaian ekivalen sel surya terdiri dari sebuah photocurrent ( $I_{ph}$ ), sebuah dioda, hambatan seri ( $R_s$ ) dan hambatan paralel ( $R_{sh}$ ), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut.



**Gambar 2.3 Rangkaian Ekivalen Dan Sel Surya**

Dari rangkaian di atas, light generated current atau photocurrent ( $I_{ph}$ ) adalah arus yang dihasilkan langsung akibat penyinaran sinar matahari pada sel surya. Arus ini bervariasi secara linear dengan radiasi matahari dan tergantung pada suhu yang diberikan. Hambatan  $R_{sh}$  dan  $R_s$  menunjukkan hambatan intrinsik paralel dan seri dari sel. Biasanya nilai  $R_{sh}$  lebih besar dibandingkan  $R_s$ . Persamaan 2.1 menjelaskan prinsip sederhana dari rangkaian ekuivalen sel surya di atas. Besarnya arus sel surya ( $I_{pv}$ ) adalah pengurangan dari arus  $I_{ph}$ , arus dioda ( $I_D$ ) dan arus hambatan paralel ( $I_{rsh}$ ), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_D - I_{rsh}$$

Persamaan di atas dapat dijabarkan dengan persamaan berikut

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_s \left( \exp^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{N_s n k T_c}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{R_{sh}}$$

Dimana :

$I_s$  = Arus saturasi sel surya

$q$  = Elektron =  $1.6 \times 10^{-19}$  C

$V_{pv}$  = Tegangan pada sel

$T_c$  = Suhu kerja sel

$R_s$  = Hambatan seri

$R_{sh}$  = Hambatan shunt

$n$  = Faktor ideal

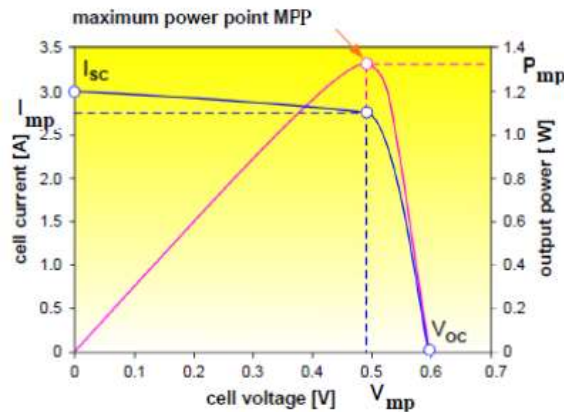
$k$  = Konstanta Boltzmann =  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K

$N_s$  = Jumlah sel surya yang disusun seri

$N_p$  = Jumlah sel surya yang disusun paralel

### 2.3.1.2 Kurva Karakteristik Sel Surya

Sel surya memiliki kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan keluaran (kurva I-V) dan daya dengan tegangan keluaran sel surya (kurva P-V). Kurva ini ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut:



**Gambar 2.4 Kurva Karakteristik Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan pada Sel Surya**

Pada saat keluaran sel surya tidak terhubung dengan beban (open cicuit) maka tidak ada arus yang mengalir dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, disebut tegangan open circuit ( $V_{oc}$ ). Pada keadaan lain, saat keluaran sel surya dihubung singkatkan (short cicuit) maka arus bernilai maksimum, yang disebut arus short circuit ( $I_{sc}$ ). Selain itu terdapat nilai daya maksimum ( $P_{mp}$ ) yang dapat dihasilkan pada saat tegangan maksimum ( $V_{mp}$ ) dan arus maksimum ( $I_{mp}$ ). Titik dimana nilai arus dan tegangan pada titik yang menghasilkan daya terbesar disebut dengan Maximum Power Point (MPP)

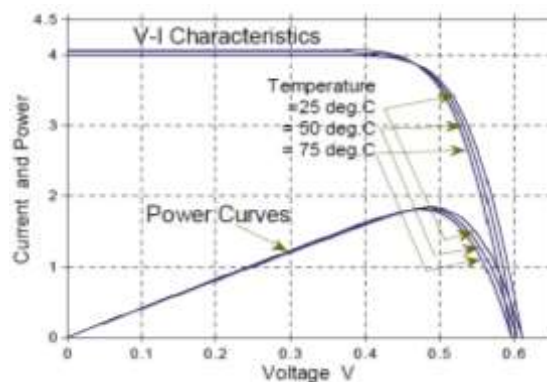
Perubahan irradiance, suhu dan susunan sel surya (disusun secara seri atau paralel) dalam modul berpengaruh terhadap parameter utama sel surya yaitu arus,

tegangan dan daya keluaran dari sel surya. Karakteristik kurva hubungan antara arus dan tegangan (kurva I-V)

### 2.3.1.3 Efek Variasi Suhu terhadap Arus, Tegangan dan Daya

Selain jumlah *irradiance* yang mempengaruhi keluaran dari sel surya, suhu juga sangat berpengaruh, yaitu semakin besar suhu maka nilai tegangan *open circuit* akan semakin kecil. Hal ini disebabkan penurunan energi *gap* ketika suhu meningkat

Dari hubungan persamaan 2.9 terlihat bahwa tegangan *open circuit* berbanding lurus dengan energi *gap* dari semikonduktor penyusun sel surya. Sehingga semakin menurun energi *gap* maka semakin menurun tegangan *Voc*. Gambar 2.5 berikut adalah kurva yang menunjukkan kurva karakteristik akibat variasi suhu.



**Gambar 2.5 Kurva Karakteristik Sel Surya Akibat Variasi Suhu**

Gambar 2.5 di atas menunjukkan bahwa perubahan arus akibat perubahan suhu tidak terlalu signifikan, namun tetap akan bertambah besar saat suhu semakin besar. Perubahan daya maksimum akan semakin menurun saat suhu semakin bertambah besar, hal ini karena tegangan maksimum berkurang terhadap kenaikan suhu.



## 2.4 Charge Control

Pada waktu solar panel mendapatkan energy dari cahaya matahari di siang hari, rangkaian *charger controller* ini otomatis bekerja dan mengisi (*charge*) battery agar tetap stabil. Bila kita menggunakan battery 12v, maka rangkain menjaga agar tegangan 12 10% , tegangan charger yang dibutuhkan antara 13,2 atau 13,4 v dan bila sudah mencapai tegangan tersebut, rangkaian otomatis akan menghentikan proses pengisian battery tersebut. Sebaliknya apabila tegangan battery turun / drop hingga 11 volt, maka kontroler akan memutus tegangan sehingga battery tidak sampai habis. Secara keseluruhan fungsi dari kontroler ini yaitu dapat menjaga agar battery tidak kelebihan (*over charger*) dan kehabisan tegangan (*under charger*) dengan begitu maka umur dari battery bertahan lama. Perangkat atau komponen pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terminal diantaranya: terminal untuk panel surya, terminal untuk baterai, terminal untuk beban.

Ketiga terminal tersebut dilengkapi dengan polaritas yaitu tanda negatif (-) dan tanda positif (+) yang jelas agar tidak terjadi kesalahan. *Solar Charger Controller* berfungsi mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai, apabila baterai sudah penuh maka listrik dari panel surya tidak akan dialirkan ke baterai dan sebaliknya. Dan dari baterai ke beban, apabila listrik dalam baterai tinggal 20- 30%, maka listrik ke beban otomatis dimatikan. Jika solar charge ini tidak digunakan maka kerusakan pada batrai akan sangat rentan karena tegangan keluaran yang di hasilkan oleh panel surya biasanya berkisaran di antara 16-20 Volt DC sedangkan batrai hanya membutuhkan tegangan pada saat pengisian berkisaran di antara 13-14,8 v DC. Maka dari itu keberadaan solar charge control

ini sangat di butuhkan agar kerukan yang terjadi nantinya dapat diminimalisirkan. Jika solar charge ini tidak digunakan maka kerusakan pada batrai akan sangat rentan karena tegangan keluaran yang di hasilkan oleh panel surya biasanya berkisaran di antara 16-20 Volt DC sedangkan batrai hanya membutuhkan tegangan pada saat pengisian berkisaran di antara 13-14,8 Volt DC. Maka dari itu keberadaan solar charge control ini sangat di butuhkan agar kerukan yang terjadi nantinya dapat diminimalisirkan.

### **2.5 Inverter**

*Inverter* adalah perangkat yang mengkonversi tegangan searah (DC – *direct current*) menjadi tegangan bolak balik (AC- *alternating current*). Biasanya dibangun dari komponen utama yakni penguat transistor dan Thyristor, diode dan transformator. Alat ini diperlukan untuk PLTS karena menyangkut instalasi kabel yang banyak dan panjang. Apabila jumlah beban banyak dan kabel panjang tetap menggunakan tegangan 12 v DC tanpa menggunakan inverter maka terdapat rugi-rugi daya dan listrik yang hilang (*Losses*). Selain itu, penggunaan inverter sangat penting karena akan mengubah arus menjadi arus yang sama pada PLN sehingga tidak perlu memodifikasi kembali instalasi yang ada di rumah. Inverter terbaik dalam mengaplikasikan solar sel sistem adalah inverter pure sine wave yang mempunyai bentuk gelombang sinus murni seperti listrik dari PLN, bentuk gelombang ini merupakan bentuk paling ideal untuk peralatan elektronik pada umumnya sehingga tidak akan menyebabkan kerusakan.



**Gambar 2. 6 inverter**

## 2.6 Battery

Fungsi *battery* adalah sebagai tempat untuk menyimpan daya (power storage). Baterai atau aki, atau bisa juga accu adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel, adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel.

Setiap Baterai terdiri dari Terminal Positif( Katoda) dan Terminal Negatif (Anoda) serta Elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar. Output Arus Listrik dari Baterai adalah Arus Searah atau disebut juga dengan Arus DC (*Direct Current*). Pada umumnya, Baterai terdiri dari 2 Jenis utama yakni Baterai Primer yang hanya dapat sekali pakai (*single use battery*) dan Baterai Sekunder yang dapat diisi ulang (*rechargeable battery*). Pada sistem PLTS, hanya baterai sekunderlah yang bisa kita gunakan dalam pengoperasiannya, contohnya aki merek GS ASTRA yang terpasang pada kendaraan bermotor. Komponen baterai kadang-kadang dinamakan akumulator (accumulator). Akumulator adalah baterai yang merupakan suatu sumber aliaran yang paling populer yang dapat digunakan dimana-mana untuk keperluan yang bermacam-macam beranekaragam. Disini terjadi proses perubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dengan arah yang berlawanan di

dalam sel-sel yang ada dalam akumulator. Saat pengisian tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga listrik di dalam akumulator diubah lagi menjadi tenaga listrik yang digunakan untuk mencatu energi dari suatu peralatan listrik. Dengan adanya proses tersebut akumulator sering dikenal dengan elemen primer dan elemen sekunder.

### **2.6.1 Jenis-Jenis Baterai**

Terdapat beberapa jenis baterai yang bisa digunakan dan ditemukan sehari-hari, berdasarkan jenis bahan elektrolit yang digunakan maka ada beberapa jenis baterai seperti berikut ini :

#### **1. Baterai timbul**

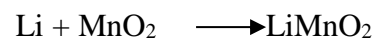
Baterai ini tersusun dari beberapa sel elektrokimia dan masing masing sel bekerja dengan mempergunakan elektroda positif (anoda) yang terbuat dari  $PbO_2$  (*lead oxide*) dan Pada waktu pengisian baterai (*charge*),  $PbO_2$  akan berkumpul pada anoda,  $Pb$  berkumpul pada katoda dan mengakibatkan jumlah dari asam sulfat relatif bertambah sehingga bila berat jenisnya (*specific gravity*) akan lebih besar dari satu. Ketika terjadi pengisian berlebih, pada baterai akan terbentuk gas hidrogen dan gas oksigen yang cukup berbahaya. Pada saat proses pengosongan (*discharge*) akan terbentuk  $PbSO_4$  yang berkumpul di anoda dan di katoda, sehingga jumlah asam sulfat berkurang sedangkan jumlah air dalam elektrolit bertambah dan bila diukur harga SG (*specific gravity*) akan mendekati satu. Besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai disebut sebagai kapasitas baterai. Kapasitas energi suatu baterai di ukur dalam amper jam (Ah). Misalkan, kapasitas baterai 7 Ah 12v artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 7 Amper selama 1 jam pemakaian. Pada pemakaian sehari-

hari kondisi tersebut tidak dapat dicapai akibat pengaruh temperatur, SG elektrolit, serta usia pakai baterai

## 2. Baterai Lithium-Ion/Li-Ion

Baterai lithium ion adalah baterai yang menggunakan logam lithium sebagai media penyimpan muatan listrik.

persamaan kimia untuk baterai ini :



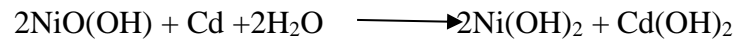
Baterai lithium ion memiliki kelebihan dibandingkan baterai lain, yaitu memiliki rapat muatan yang tinggi. Baterai lithium ion mempunyai tegangan nominal sebesar 3,6 Volt dan untuk *charging* tegangan yang diberikan adalah 4,2 Volt. Metoda *charging* yang digunakan untuk baterai ini adalah metoda tegangan konstan dengan pembatas arus. Metoda ini dilakukan dengan cara *charging* pertama menggunakan arus konstan sehingga tercapai tegangan sel sebesar 4,2 Volt dan dilanjutkan *charging* dengan tegangan konstan sampai arus menjadi nol.

## 3. Baterai Lithium-Polymer/Li-Po

Ini generasi paling baru baterai isi ulang. Selain ramah lingkungan, keunggulannya di atas baterai Li-Ion. Untuk perawatan baterai Lithium Polymer, tak jauh beda dengan *Lithium Ion*. Namun, Penanganannya harus ekstra hati – hati. Mengingat sifatnya yang ” liquid ” dengan tekanan yang cukup keras bisa menyebabkan bentuk baterai berubah. Kelemahan Li-Po justru mengharuskan kita mengisi ulang baterai jangan sampai menunggu ponsel mati dengan sendirinya. Atau sebisa mungkin ketika ponsel memberikan peringatan baterai lemah. Jika tidak, ponsel akan susah untuk diaktifkan karena baterai belum pulih sepenuhnya.

#### 4. Baterai Nickel *Cadium/NiCad*

Baterai NiCad atau baterai NiMH adalah baterai yang sering digunakan dalam skala kecil, baterai ini memiliki tegangan sebesar 1,2 Volt/sel. Baterai NiCad berisi plat elektroda positif nikel hidroksida dan elektroda negatif cadmium hidroksida, persamaan reaksi kimia baterai ini adalah :



Reaksi ini bekerja dari sisi kiri menuju sisi kanan, sedangkan saat *charging* reaksi berlangsung dari kanan ke kiri. Metoda *charging* yang digunakan adalah metode arus *charging* arus konstan.

#### 5. Baterai Nickel Metal Hydride/NiMH

Baterai isi ulang ini masih memiliki memory effect namun hanya bersifat sementara. Jadi lebih fleksibel ketimbang jenis NiCD (Nickel Kadmium). Untuk pengisian ulang tak perlu menunggu benar – benar habis, namun dengan konsekuensi akan terasa cepat habis. Namun hal ini hanya berlangsung sementara, saat habis isi kembali dan kemampuannya akan normal lagi.

### 2.6.2 Baterai Pada Sistem PLTS

Baterai menyimpan listrik dalam bentuk daya kimia. Baterai yang paling biasa digunakan dalam aplikasi surya adalah baterai yang bebas pemeliharaan bertimbal asam (*maintenance-free lead-acid batteries*), yang juga dinamakan baterai recombinant atau VRLA (klep pengatur asam timbal atau valve regulated lead acid). Kapasitas energi per kilogramnya relatif kecil. Baterai asam timbal terbagi dalam dua jenis yaitu Sealed atau biasa disebut dengan aki kering kadang juga disebutkan sebagai aki bebas perawatan dan Non-Sealed atau aki “biasa”. Perbedaan antara jenis Sealed dan Non-Sealed adalah adanya mekanisme

pengembunan pada jenis Sealed untuk menjaga uap dari cairan elektrolit dalam baterai terbuang ke udara.

Baterai terbentuk oleh sekelompok elemen atau sel yang diletakan secara seri. Baterai timbal-asam terdiri dari dua elektroda timbal yang berada dalam larutan elektrolit air dan asam sulfat. Perbedaan potensial sekitar 2 volt terjadi di antara elektroda, tergantung pada nilai seketika kondisi penyimpanan baterai. Baterai yang paling umum dalam aplikasi surya fotovoltaik mempunyai tegangan nominal sebanyak 12 volt atau 14 volt. Maka sebuah baterai 12 V berisi 6 sel secara seri.

Baterai memenuhi dua tujuan penting dalam sistem fotovoltaik, yaitu untuk memberikan daya listrik kepada sistem ketika daya tidak disediakan oleh array panel-panel surya, dan untuk menyimpan kelebihan daya yang ditimbulkan oleh panel-panel setiap kali daya itu melebihi beban. Baterai tersebut mengalami proses siklis menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari. Selama waktu adanya matahari, array panel menghasilkan daya listrik. Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Selama waktu tidak adanya matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai, yang oleh karena itu akan mengeluarkannya.

Siklus menyimpan dan mengeluarkan ini terjadi setiap kali daya yang dihasilkan oleh panel tidak sama dengan daya yang dibutuhkan untuk mendukung beban. Kalau ada cukup matahari dan bebannya ringan, baterai akan menyimpan daya. Tentunya, baterai akan mengeluarkan daya pada malam hari setiap kali sejumlah daya diperlukan. Baterai juga akan mengeluarkan daya ketika

penyinaran tidak cukup untuk menutupi kebutuhan beban (karena variasi alami kondisi keikliman, awan, debu, dan lain-lain).

Jika baterai tidak menyimpan cukup daya untuk memenuhi permintaan selama periode tidak adanya matahari, sistem akan kehabisan daya dan tidak siap memenuhi konsumsi. Di sisi lainnya, memperbesar sistem (dengan menambahkan terlalu banyak panel dan baterai) mahal dan tidak efisien. Ketika mendesain sistem yang mandiri, kita perlu mengkompromikan antara biaya komponen dengan ketersediaan daya dari sistem. Satu cara untuk melakukan ini adalah memperkirakan jumlah hari dimana sistem beroperasi secara mandiri.

Sebaliknya, jika sistem surya bertanggung jawab atas daya yang menyediakan ke peralatan pelanggan kita mungkin dapat mengurangi jumlah hari otonomi sampai dua atau tiga. Di daerah dengan penyinaran yang rendah, nilai ini mungkin perlu ditambah semakin banyak. Dalam kasus apapun, kita harus selalu menemukan keseimbangan yang baik antara biaya dan kehandalan.

Ada dua kondisi istimewa penyimpanan yang dapat terjadi selama siklus penyimpanan dan pengeluaran daya dari baterai. Keduanya sebaiknya dihindari guna memperpanjang umur kegunaan baterai.

1. Penyimpanan yang berlebihan (*Overcharge*)

Penyimpanan yang berlebihan atau overcharge terjadi pada saat baterai berada pada kondisi keterbatasan kapasitasnya. Jika daya yang dimasukkan di luar batas titik penyimpanan maksimum, elektrolit mulai hancur. Ini menghasilkan gelembung oksigen dan hidrogen, dalam proses yang diketahui sebagai pembuatan gas atau gasification. Ini berakibat hilangnya air, oksidasi di elektroda positif, dan dalam kasus ekstrim,



terjadi bahaya ledakan. Di sisi lainnya, keberadaan gas menghindari stratifikasi asam. Setelah beberapa siklus penyimpanan dan pengeluaran yang terus menerus, asam cenderung terpusat di bagian bawah baterai, sehingga mengurangi kapasitas efektifnya. Proses gasifikasi menggerakkan elektrolit dan menghindari stratifikasi. Sekali lagi, adalah perlu untuk menemukan kompromi antara keuntungan (menghindari stratifikasi elektrolit) dan keadaan merugikan (kehilangan air dan produksi hidrogen). Satu pemecahannya adalah lebih sering membiarkan penyimpanan yang sedikit berlebihan. Satu metode yang umum adalah membiarkan tegangan sebanyak 2,35 sampai 2,4 Volt untuk masing-masing elemen baterai sekali dalam beberapa hari, di suhu 25° C. Regulator sebaiknya menjamin penyimpanan berlebihan yang berkala dan terkontrol.

## 2. Pengeluaran daya yang berlebihan

Dengan cara yang sama dimana ada batas atas, ada juga batas bawah dari kondisi penyimpanan baterai. Mengeluarkan melebihi batas itu akan menimbulkan pengrusakan pada baterai. Ketika persediaan baterai yang efektif habis, pengatur mencegah daya yang tersisa agar tidak diambil dari baterai. Kalau tegangan baterai mencapai batas minimum 1,85 Volt setiap selnya di suhu 25° C, pengatur memutuskan beban dari baterai. Jika pengeluaran baterai sangat mendalam dan baterai tetap dalam kondisi pengeluaran untuk jangka waktu yang lama, akan terjadi tiga efek: pembentukan sulfat yang terkristal pada pelat baterai, bahan aktif pada pelat baterai akan lepas / berguguran, dan pelat baterai akan melengkung. Proses membentuk kristal sulfat yang stabil dinamakan sulfasi keras. Ini

benar-benar tidak baik karena akan membentuk kristal besar yang tidak turut serta dalam reaksi kimia dan dapat membuat baterai anda tidak dapat digunakan

### 2.6.3 Parameter Untuk Baterai

Kemampuan dari suatu baterai ditentukan oleh kapasitasnya yang diukur dalam Amper/hour (Ah). Misal baterai dengan kapasitas 5 Ah maksimum dapat mengeluarkan arus sebesar 5 Ah selama satu jam. Berapa daya yang dapat dikeluarkan bisa dicari dari perkalian antara arus dan tegangan yang dikeluarkan, misal baterai di atas bertegangan 12 volt, maka daya yang dikeluarkan adalah 60 Watt/hour (Wh). Parameter berikutnya yang harus diketahui dalam operasional sebuah baterai adalah batasan daya yang boleh dikeluarkan dari baterai. Istilah teknis untuk parameter ini adalah *Depth Of Discharge* (DoD)[10]. Untuk baterai asam timbal, angka maksimumnya adalah 80%. Walaupun kurva tegangan baterai asam timbal relatif datar dan tidak curam pada bagian akhir, sebaiknya batasan tersebut tidak dilanggar untuk menjaga umur baterai.

*State Of Charge* (SOC) menyatakan perbandingan antara sisa muatan yang masih dapat digunakan dengan muatan pada kapasitas penuh. SOC biasanya dinyatakan dalam persen. 100% menunjukkan muatan baterai penuh, 50% untuk setengah penuh, 0% muatan habis (*complete discharge*). Urutan dari *discharging* kemudian *charging* kembali sampai SOC semula disebut satu *cycle*.

*Depth Of Discharge* (DOD) dalam satu *cycle* tergantung keperluan penggunaan baterai. DOD merupakan suatu batas maksimal pelepasan muatan dari baterai dan jika dalam keadaan ini baterai masih beroperasi maka akan terjadi kerusakan pada baterai. Untuk menjaga keseimbangan energi baterai, *state of*

*charge* dibatasi sebesar 10% sampai dengan 30% dari kapasitas maksimal baterai. Pengaturan ini diperlukan karena adanya variasi besar dan waktu pengisian dari energi matahari di siang hari.

Pengisian dari suatu baterai juga harus diperhitungkan dalam operasional. Parameter ini diukur dalam satuan C dan merupakan angka relatif terhadap kapasitas. Misal baterai asam timbal mempunyai kecepatan pengisian 0.1 C, dengan asumsi tegangan pengisian sama dengan tegangan yang dikeluarkan oleh baterai, maka arus maksimum pengisian adalah 0,1 dari nilai Ah. Perlu diperhatikan untuk baterai asam timbal berjenis kering parameter pengisiannya hanya separuh dari yang berjenis basah.

#### **2.6.4 Metoda *Charging* (Pengisian) Baterai**

Banyaknya tipe dan jenis baterai membuat metoda pengisianpun bervariasi, diantaranya :

a. Metoda tegangan konstan

*Charger* tegangan konstan pada dasarnya adalah suatu power supply DC yang memiliki format sederhana terdiri dari sebuah trafo stepdown dan penyearah untuk menyediakan tegangan DC. Desain sederhana ini sering ditemukan pada charger baterai mobil untuk pengisian baterai *Lead acid*. Metoda tegangan konstan juga sering dipakai untuk baterai Lithium ion, walaupun lebih kompleks beberapa rangkaian perlu ditambahkan untuk melindungi baterai dan keselamatan pemakai.

b. Metoda arus konstan

*Charging* arus konstan bekerja dengan memvariasikan nilai tegangan pada baterai untuk menjaga arus agar bernilai tetap dan berhenti ketika tegangan mencapai beban penuh.

c. Metoda tegangan dan arus konstan

Metoda ini digunakan untuk mengisi baterai dengan mengatur arus sebesar 0,4 A dan tegangan sebesar 2,45 Volt/sel pada suhu kamar (20-25°C). Lama untuk pengisian berkisar antara 6-12 jam, tergantung lama waktu saat pengosongan. Metoda ini digunakan untuk baterai *Lead acid*.

d. Metoda Tegangan Konstan Dua Tingkat

Metode ini menggunakan dua sumber tegangan konstan, pada tahap baterai diisi dengan sumber tegangan konstan pertama dengan diatur hingga pengaturan tegangan tinggi (sesuai kondisi persyaratan baterai). Jika nilai arus sudah mencapai kondisi normal maka akan terjadi perpindahan (*switch*) dari sumber tegangan konstan pertama menuju sumber tegangan konstan kedua yang sudah diatur pada tegangan rendah.

e. Metoda *Trickle Charge*

Pada metoda ini baterai tidak dihubungkan dengan beban dan tetap mengalami pengisian dengan arus yang kecil sebagai kompensasi *discharge* sementara supply AC masih bekerja. Ketika ada kegagalan *supply* tenaga baterai akan terhubung secara otomatis dengan beban dan mensupply beban. Metoda ini tidak dapat digunakan untuk baterai jenis NiMH dan Li-Ion.

f. Metoda *Float Charge*

Baterai dan beban secara permanen dihubungkan secara paralel dengan sumber DC dan mensupply tegangan konstan dibawah batas tegangan maksimal baterai. Metoda ini biasa digunakan untuk system keadaan tenaga darurat dan baterai yang digunakan adalah *Lead acid*.

## 2.7 Suhu

Suhu menunjukkan derajat panas benda. Mudahnya, semakin tinggi suhu suatu benda, semakin panas benda tersebut. Secara mikroskopis, suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Suhu dari panel surya sangat mempengaruhi hasil dari *output* panel surya tersebut, sehingga semakin tinggi suhu pada permukaan panel maka hasil yang di dapat juga kurang optimal di karenakan batasan normal suhu pada permukaan panel surya.

## 2.8 Cahaya

Cahaya merupakan energi berbentuk gelombang dan sangat membantu kita untuk melihat. Cahaya juga merupakan dasar ukuran meter, dimana satu meter bersamaan dengan jarak dilalui cahaya. Kecepatan cahaya adalah 299.792.458 meter per sekon. Adapun pencahayaan terbagi atas dua jenis, yaitu pencahayaan alami dan pencahayaan buatan. Pencahayaan alami (*day lighting*) adalah penggunaan cahaya yang 3 sumbernya dari cahaya matahari yang selalu tersedia dialam dan cahaya langit hasil pemantulan cahaya matahari. Sedangkan pencahayaan buatan (*artificial lighting*) adalah pencahayaan yang berasal dari sistem cahaya berenergi terbatas di alam, misalnya energi listrik serta energi dari proses minyak bumi dan gas[11].

### **2.8.1 Sifat Sifat Cahaya**

Cahaya mempunyai beberapa sifat yakni menembus benda yang bening, bisa dipantulkan, merambat lurus, bisa dibiaskan dan bisa diuraikan. Untuk mengetahui secara lebih jelas, berikut sifat cahaya.

#### **1. Cahaya Bisa Menembus Benda Bening**

Benda bening merupakan benda yang bisa ditembus dengan mudah oleh adanya cahaya. Contoh benda bening yang ada di sekitar kita antara lain, kaca, mika, plastik bening, botol bening dan air jernih. Sifat cahaya yang bisa menembus pada benda bening, memungkinkan cahaya matahari yang bisa menembus permukaan air yang jernih, sehingga tanaman yang hidup di dasar air bisa tetap tumbuh dengan baik dan tanpa adanya gangguan. Sifat cahaya yang bisa menembus benda bening ini juga bisa dimanfaatkan oleh manusia untuk membuat berbagai macam peralatan penting dalam kehidupan sehari-hari, seperti kacamata, kaca mobil, akuarium, hingga termometer.

#### **2. Cahaya Merambat Lurus**

Cahaya akan merambat dengan lurus jika memang dia akan melewati 1 medium perantara saja. Peristiwa ini juga bisa dibuktikan dengan baik, nyalanya lampu senter yang berjalan atau merambat dengan lurus. Cahaya yang merambat dengan lurus juga bisa kita lihat dari berkas cahaya matahari yang menerobos masuk melalui celah-celah genting ataupun ventilasi yang akan tampak berupa seperti garis yang lurus. Kedua hal inilah yang bisa membuktikan jika cahaya memang merambat lurus. Sifat cahaya yang selalu merambat dengan lurus ini biasa

dimanfaatkan oleh manusia dalam membuat lampu senter hingga lampu pada kendaraan bermotor.

### 3. Cahaya Bisa Diuraikan

Istilah lain dari penguraian cahaya itu dinamakan dengan dispersi cahaya. Contoh terjadinya peristiwa dispersi cahaya yang secara alami benar-benar terjadi merupakan peristiwa dari terbentuknya pelangi. Biasanya, pelangi ini akan muncul setelah hujan turun. Pelangi itu terdiri atas beberapa warna, mulai dari merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. sebenarnya, warna-warna tersebut berasal dari 1 warna saja, yakni warna putih yang dihasilkan dari cahaya matahari. Akan tetapi, karena cahaya matahari yang datang tersebut dibiaskan oleh adanya titik air hujan, maka hal tersebut berakibat jika cahaya putih akan diuraikan menjadi beberapa macam warna yang menarik, sehingga terjadilah warna-warna yang indah di dalam pelangi tersebut. Peristiwa penguraian cahaya putih menjadi berbagai warna biasa disebut dengan nama dispersi cahaya. Cahaya putih bisa diuraikan menjadi berbagai macam warna yang bagus, sehingga warna putih tersebut bisa disebut dengan nama sinar polikromatik[12]. Cahaya putih seperti pada cahaya matahari itu termasuk ke dalam cahaya polikromatik. Cahaya polikromatik merupakan cahaya yang tersusun dari beberapa macam komponen warna yang ada. Cahaya putih juga tersusun atas spektrum cahaya yang memiliki warna merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Sementara itu, peristiwa perpaduan berbagai macam warna cahaya menjadi warna putih, bisa

disebut dengan nama spektrum cahaya. Spektrum warna yang tak bisa diuraikan kembali biasa disebut dengan nama cahaya monokromatik.

## 2.9 Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya yang disebut juga sebagai  $I$ , yang mana  $I$  mempunyai satuan fisik yaitu cd atau yang disebut sebagai kandela yang berasal dari kata Yunani, kandela dalam artian adalah cahaya yang dihasilkan dari sebuah lilin yang nyala, dalam hal ini kandel memiliki satuan lumen, dan pada kandel inilah pengukuran dilakukan berdasar intensitas dari cahaya, dan arus cahaya dinyatakan didalam perbandingan diferensial  $I$  dan ruang.

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \text{ Im/sr(cd)}$$

Gelombang elektromagnetik dapat digambarkan sebagai dua buah gelombang yang merambat secara transversal pada dua buah bidang tegak lurus yaitu medan magnetik dan medan listrik. Merambatnya gelombang magnet akan mendorong gelombang listrik, dan sebaliknya, saat merambat, gelombang listrik akan mendorong gelombang magnet. Cahaya adalah energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang kasat mata dengan panjang gelombang sekitar 380–750 nm. Pada bidang fisika, cahaya adalah radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang kasat mata maupun yang tidak. Cahaya adalah paket partikel yang disebut foton. Kedua definisi di atas adalah sifat yang ditunjukkan cahaya secara bersamaan sehingga disebut "dualisme gelombang-partikel". Paket cahaya yang disebut spektrum kemudian dipersepsikan secara visual oleh indera penglihatan sebagai warna. Bidang studi cahaya dikenal dengan sebutan optika, merupakan area riset. Studi mengenai cahaya dimulai dengan munculnya era optika klasik



yang mempelajari besaran optik seperti: intensitas, frekuensi atau panjang gelombang, polarisasi dan fasa cahaya. Sifat-sifat cahaya dan interaksinya terhadap sekitar dilakukan dengan pendekatan paraksial geometris seperti refleksi dan refraksi, dan pendekatan sifat optik fisisnya yaitu: interferensi, difraksi, dispersi, polarisasi. Masing-masing studi optika klasik ini disebut dengan optika geometris.

## **BAB III**

### **METEODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Dan Waktu Penelitian**

Adapun lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muktar Basri no. 3 Medan Sumatera Utara.

#### **3.2 Metoda Menentukan Pemakaian Energi Listrik**

Penggunaan energi listrik ditingkat konsumen semakin meningkat disesuaikan dengan kebutuhan yang terjadi. Untuk mengurangi pemakaian listrik yang bergantung pada PLN maka penulis merancang sebuah alat dengan memanfaatkan sumber energi matahari yang menggunakan beberapa metode mendekati pola penggunaan energi listrik, antara lain.

##### **3.2.1 Pengukur Arus Dan Tegangan**

Penulis melakukan pengukuran Arus dan Tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan baterai.

##### **3.2.2 Observasi**

Melakukan pengamatan secara langsung dilapangan serta melakukan pengujian terhadap tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh PLTS dan baterai

### 3.3 Peralatan Penelitian

#### 3.3.1 Solar Cell

Fungsi *solar cell* ialah dapat menangkap energi cahaya matahari lalu dijadikan sebagai energi listrik. Dengan adanya solar cell ini maka bisa lebih efektif dalam menghemat pengeluaran untuk membayar tarif listrik. Hal ini dikarenakan *Solar Cell* menangkap energi dari matahari langsung yang tidak perlu membayarnya terlebih dahulu untuk bisa memperoleh sumber energi dari cahaya matahari tersebut. Sel surya yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

*Peak Power (Pmax) : 50 WP*

*Power Tolerance : 0-3%*

*Voltage (Vmp) : 17.5 V*

*Current (Imp) : 2.85 A*

*Open Circuit Voltage : 19.5 V*

*Short Circuit Current : 3.05 A*

*Max. System Voltage : 1000 VOC*



**Gambar 3.1 solar cell 50 wp jenis polycristaline**

### 3.3.2 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 over charging (kelebihan pengisian – karena baterai sudah penuh) dan kelebihan *voltase* dari panel surya/solar cell. 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/solar cell 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16 – 21 Volt. Solar *Charge Controller* yang digunakan pada penelitian ini adalah :

*Merk* : ELNICPRO

*Model* : PV2410U

*Rated Voltage* : 12 V/24 V

*Usb Output* : 5 V 1.0 A

*Rated Current* : 10 A



**Gambar 3.2 Solar Charge Controller**

### 3.3.3 Baterai

Baterai atau aki pada mobil berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia, yang akan digunakan untuk mensuplai (menyediakan) listrik ke sistem stater, sistem pengapian, lampu-lampu dan komponen kelistrikan lainnya.



**Gambar 3.3 Baterai lithium**

### 3.3.5 Amperemeter

Amperemeter ialah alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik baik untuk arus DC maupun AC yang terdapat dalam rangkaian tertutup. Amperemeter bisa dipasang berderet dengan elemen listrik. Jika Anda akan mengukur arus yang mengalir pada sebuah penghantar dengan memakai amperemeter maka wajib Anda pasang secara seri dengan cara memotong penghantar agar arus mengalir melalui amperemeter.



**Gambar 3.4 amperemeter**

### 3.3.6 Multimeter (multitester)

Multimeter adalah alat ukur yang dipakai untuk mengukur tegangan listrik, arus listrik, dan tahanan *resistansi*. Itu adalah pengertian multimeter secara umum, sedangkan pada perkembangannya multimeter masih bisa digunakan untuk beberapa fungsi seperti mengukur temperature, induktansi, frekuensi, dan sebagainya[3]. Ada juga orang yang menyebut multimeter dengan sebutan AVO meter, mungkin maksudnya A (ampere), V (volt), dan O (Ohm).



**Gambar 3.5 Multitester**

### 3.3.6 Thermometer

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya suhu permukaan panel surya, thermometer yang digunakan yaitu fluke 62 max IR Thermometer dengan range -30°C to -50°C



**Gambar 3.6 Thermometer**

### 3.3.7 Lux Meter

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya iradian cahaya matahari.



**Gambar 3.7 Lux meter**

### 3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian dimulai pertama kali dengan merumuskan masalah yang akan diuji dalam penelitian, dilanjutkan dengan studi kepustakaan untuk mendukung dan sebagai landasan pelaksanaan penelitian.

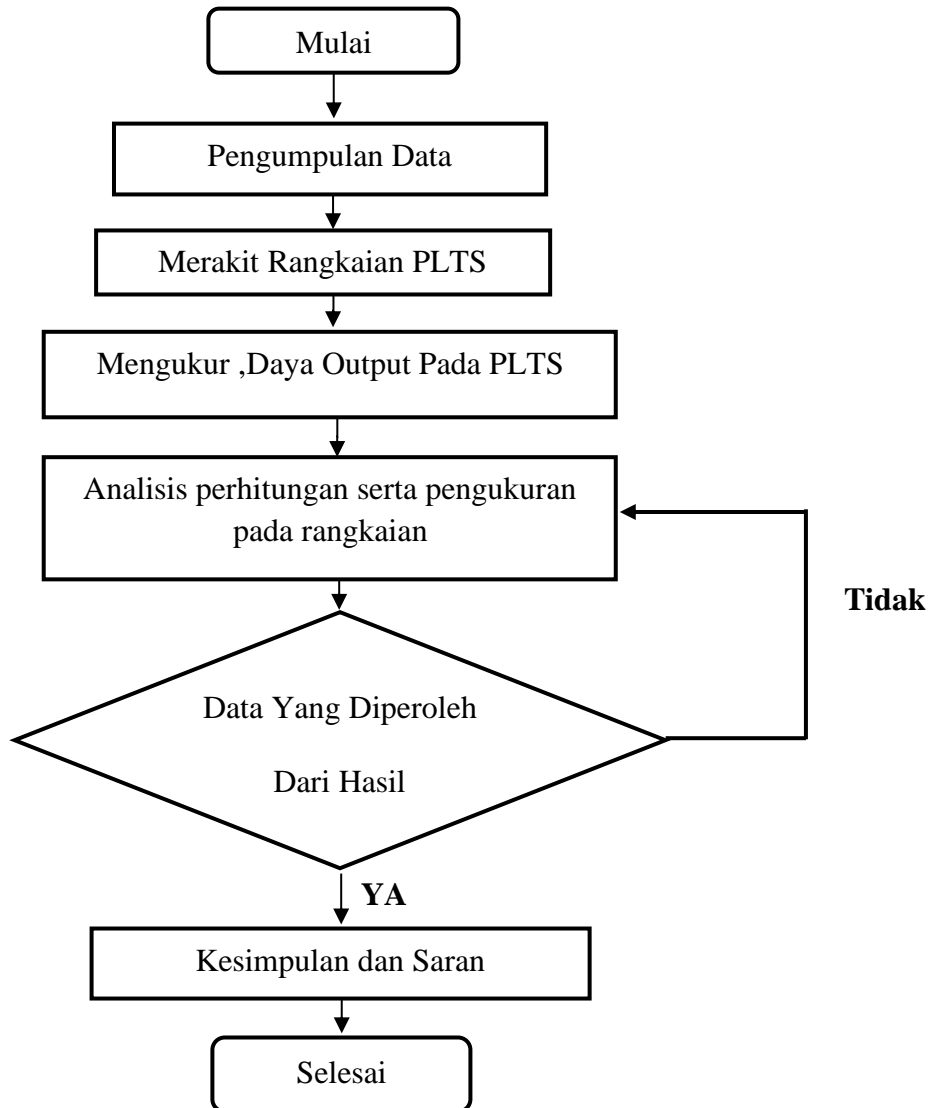
Jalannya penelitian dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

1. Merancang rangkaian percobaan penelitian yaitu pembangkit listrik tenaga surya dan meletakkan diluar ruangan agar terkena cahaya matahari secara langsung.
2. Mengamati secara langsung (*observasi*) proses penelitian saat alat mulai bekerja.
3. Mengumpulkan data hasil penelitian yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya.
4. Melakukan perhitungan arus dan tegangan yang dihasilkan oleh energi matahari melalui panel surya yang dikelompokkan dalam beberapa bagian waktu.

5. Menghitung keluaran daya energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya.

### 3.5 Diagram Alir

Prosedur penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut :



**Gambar 3. 1 Flowchart Penyusunan Tugas Akhir**



## BAB IV

### ANALISA DAN PENELITIAN

#### 4.1 Data hasil pengujian arus dan tegangan yang di hasilkan oleh PLTS

Pengujian titik kordinat 3.614792, 98.675378 untuk pengujian arus dan tegangan pada pembangkit listrik tenaga surya ini adalah untuk mengetahui daya keluaran yang dihasilkan oleh sel surya. Pengujian dilakukan dalam waktu 6 hari dan dilakukan pengambilan data 2 jam sekali. Adapun hasil pengujian arus dan tegangan pada panel surya adalah sebagai berikut:

Table 4.1. Hasil pengukuran intensitas matahari

Jam	Intensitas Matahari (LUX)						RATA LUX
	Waktu Pengujian						
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	
08.00	51900	41500	45300	62400	26300	55400	47133
10.00	75600	68400	69800	93500	21300	87600	69367
12.00	102300	98600	106300	99700	26100	112900	90983
14.00	98600	92600	109800	62300	23700	106800	82300
16.00	57000	66400	86200	223400	20100	83400	56083
18.00	25000	27200	34100	21900	20100	34100	27067

Data table 4.1 menunjukkan pada siang hari sekitar pukul 12.00 sampai 14.00 intensitas matahari yang rata tinggi sekitar 62300 lumen sampai dengan 112900 kecuali pada hari kelima dikarenakan cuaca pada saat itu sinar matahari tertutup awan. Data diatas kemudian diolah menjadi grafik pada gambar 4.1 yang merupakan grafik intensitas matahari selama pengujian.

Table 4.2 rata – rata lux

Rata-rata lux		Hasil lux	Hasil rata – rata lux
47133	69367	47.17	34.29
69367	90983	31.16	
90983	82300	9.54	
82300	56083	31.85	
56083	27067	51.73	

$$\frac{\text{Nilai lama} - \text{Nilai baru}}{\text{Nilai lama}} \times 100$$

$$1. \frac{47133-69367}{47133} \times 100 = 47.17$$

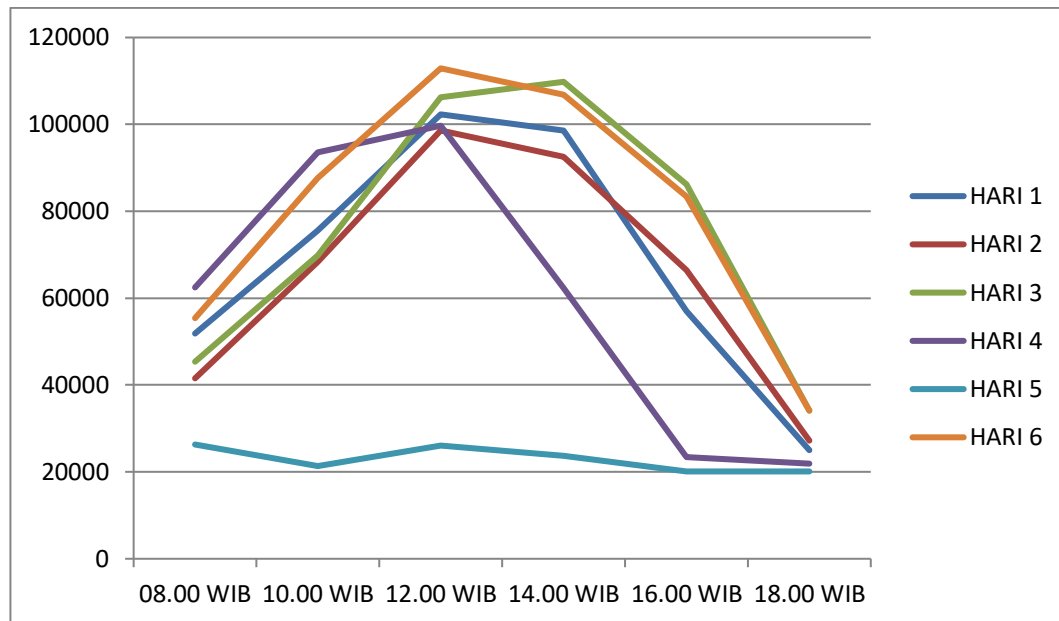
$$2. \frac{69367-90983}{69367} \times 100 = 31.16$$

$$3. \frac{90983-82300}{90983} \times 100 = 9.54$$

$$4. \frac{82300-56083}{82300} \times 100 = 31.85$$

$$5. \frac{56083-27067}{56083} \times 100 = 51.73$$

$$\frac{47.17 + 31.16 + 9.54 + 31.85 + 51.73}{5} = 34.29$$



Gambar 4.1 Grafik intensitas matahari

Selain melakukan pengukuran intensitas juga dilakukan pengukuran tegangan dan arus sebagai dasar untuk perhitungan daya. Hasil pengukuran dikelompokkan seperti terlihat pada table 4.2

Table 4.2 pengelompokkan hasil pengukuran tegangan dan arus

Jam	Tegangan (v) Dan Arus (A)											
	Hari 1		Hari 2		Hari 3		Hari 4		Hari 5		Hari 6	
	Teg (v)	Arus (a)	Teg (v)	Arus (a)	Teg (v)	Arus (a)	Teg (v)	Arus (a)	Teg (v)	Arus (a)	Teg (v)	Arus (a)
08.00	18,2	0,40	17,8	0,56	18,7	0,39	18,7	0,38	16,9	0,39	18,7	0,42
10.00	18,7	0,37	19,5	0,35	18,8	0,38	17,9	0,49	16,4	0,41	19,0	0,30
12.00	19,1	0,32	19,6	0,36	19,2	0,32	19,1	0,36	18,6	0,46	19,8	0,38
14.00	19,0	0,34	18,9	0,39	18,6	0,36	16,4	0,42	19,1	0,31	18,4	0,34
16.00	16,8	0,52	18,6	0,36	16,5	0,35	18,2	0,36	16,4	0,46	16,5	0,45
18.00	16,5	0,50	16,8	0,48	17,8	0,48	16,8	0,48	16,2	0,42	17,8	0,38

Table 4.2 dicatat berdasarkan nilai intensitas matahari kemudian solar akan mengubah intensitas tersebut menjadi tegangan dan arus. Data pengujian menunjukkan bahwa intensitas tertinggi selama pengujian yaitu 112.900 lumen terjadi pada saat hari keenam pada pukul 12.00 dan pada saat itu sel surya mampu menghasilkan tegangan 19,8 volt dan arus 0,38 ampere.

$$P = VI$$

$$= (19,8) (0,38)$$

$$= 7,52$$

Data pengujian menunjukkan bahwa intensitas terendah selama pengujian yaitu 20100 lumen terjadi pada saat hari kelima pada pukul 18.00 dan pada saat itu sel surya hanya mampu menghasilkan tegangan 16.2 volt dan arus 0,42 ampere.

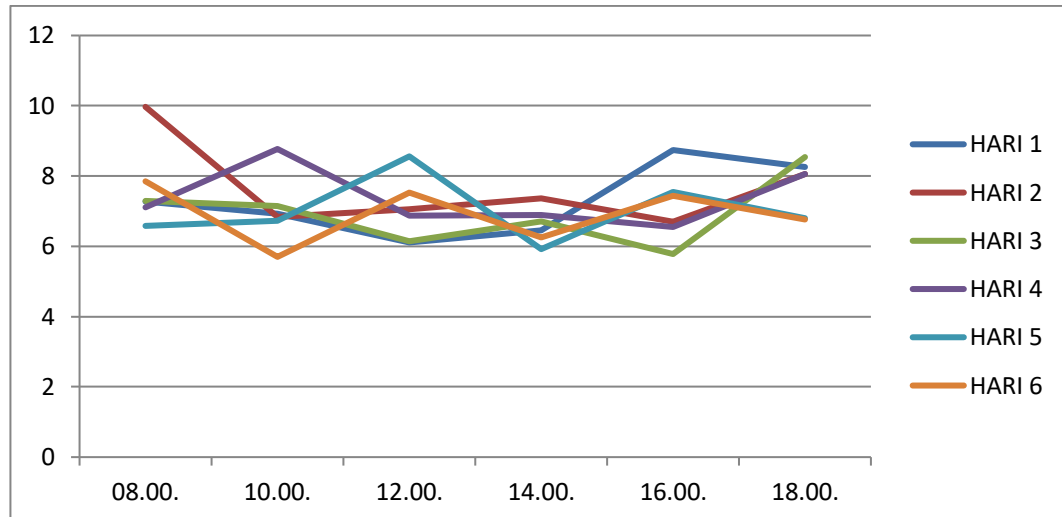
$$P = VI$$

$$= (16,2) (0,42)$$

$$= 6.80$$

Table 4.3 hasil perhitungan daya

Jam	DAYA (WATT)						Rata-rata (watt)
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	
08.00	7,28	9,97	7,29	7,11	6,59	7,85	7,68
10.00	6,92	6,83	7,14	8,77	6,72	5,70	7,01
12.00	6,11	7,06	6,14	6,88	8,56	7,52	7,04
14.00	6,46	7,37	6,70	6,89	5,92	6,26	6,60
16.00	8,74	6,70	5,78	6,55	7,54	7,43	7,12
18.00	8,25	8,06	8,54	8,06	6,80	6,76	7,75



Gambar 4.2 Grafik Daya Hasil Perhitungan Daya

Dari daya perhitungan daya didapatkan daya pada jam pengukuran sebanyak 6 pengukuran, sehingga daya rata rata nya sebesar

$$P_{\text{rata-rata}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_6}{6}$$

$$P_{\text{rerata}} = \frac{7,68 + 7,01 + 7,04 + 6,60 + 7,12 + 7,25}{6}$$

$$P_{\text{rerata}} = \frac{42,7}{6} = 7,11 \text{ watt}$$

## **BAB V**

### **PENUTUPAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil pengujian panel solar 50 Wp didapat beberapa simpulan seperti berikut ini.

1. Selama pengujian berlangsung antara hari pertama sampai dengan hari keenam, intensitas cahaya matahari tertinggi terjadi pada hari keenam pengujian, pengambilan sampel pada jam 12.00 yaitu sebesar 112.900 Lux.
2. Rata – rata daya listrik total yang dihasilkan sebesar 7.11 watt. Semakin besar intensitas lux maka kinerja panel sel surya semakin meningkat.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian dan analisa pengujian pengaruh intensitas dan temperature permukaan panel surya.

1. Perlu diadakan penelitian lanjutan tentang pemanfaatan panel sel surya untuk mendapatkan hasil efisiensi yang lebih maksimal. Diharapkan penelitian seperti ini bisa mendapatkan dukungan dari partisipasi dari berbagai pihak yang lebih berkompeten dibidangnya.
2. Penelitian tentang energi terbarukan lebih dikembangkan lagi sehingga mampu mengurangi penggunaan pembangkit listrik fosil dan bisa menjadi energi alternatif.
3. Memanfaatkan secara maksimal energi melimpah dari panas matahari untuk berbagai kebutuhan manusia yang tidak terjangkau suplay PLN

## Daftar pustaka

- P. Listrik, T. Surya, S. Rumah, T. Urban, and N. S. Kumara, "DAN KETERSEDIAANNYA DI INDONESIA," vol. 9, no. 1, 2010.
- R. Pido and S. Himran, "Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi," pp. 31–38.
- S. Yuliananda, G. Sarya, F. Teknik, and F. Teknik, "Pengaruh perubahan intensitas matahari terhadap daya keluaran panel surya," vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015.
- M. Firman, F. Herlina, and A. Sidiq, "ANALISA RADIASI PANEL SURYA TERHADAP DAYA YANG," vol. 02, no. 02, pp. 98–102, 2017.
- D. Untuk and M. T. Dan, "Tugas akhir," 2018.
- A. H. Andriawan and P. Slamet, "Tegangan Keluaran Solar Cell Type Monocrystalline Sebagai Dasar Pertimbangan Pembangkit Tenaga Surya," vol. 02, no. 01, pp. 39–45, 2017.
- P. Intensitas *et al.*, "Tugas akhir," 2019.
- R. Magrissa, "Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Efisiensi Sel Solar pada Mono- Crystalline Silikon Sel Solar Abstrak," pp. 1–12.
- J. Adhyaksa and K. No, "ANALISA RANCANGAN SEL SURYA DENGAN KAPASITAS 50 WATT UNTUK PENERANGAN PARKIRAN UNISKA," vol. 01, no. 02, pp. 33–39, 2016.
- D. Suryana and M. M. Ali, "Pengaruh Temperatur / Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin ( Studi Kasus : Baristand Industri Surabaya )," vol. 2, no. 1, pp. 5–8, 2016.
- J. Fisika, F. Sains, T. Uin, and A. Makassar, "Peningkatan suhu modul dan daya keluaran panel surya dengan menggunakan reflektor," pp. 275–283.
- K. P. Surya, "Kinerja Panel Surya , E siensi Versus Daya Maksimum," pp. 1–5, 2019.
- Wiranatha, Yudhy, Jaya Kusuma, Noer Soedjarwanto, Agus Trisanto, and Dikpride Despa. n.d. "Rancang Bangun Penggerak Otomatis Panel Surya Menggunakan Sensor Photodiode Berbasis Mikrokontroler Atmega 16."
- Suryawinata, Handi, Dwi Purwanti, and Said Sunardiyo. 2017. "Sistem Monitoring Pada Panel Surya Menggunakan Data Logger Berbasis ATmega 328 Dan Real Time Clock DS1307." 9(1).
- Soedjarwanto, Noer. 2015. "Sistem Pelacak Otomatis Energi Surya Berbasis Mikrokontroler ATmega8535." *Jurnal ELTEK Polinema* 11–20.