



**ANALISA PENGARUH PENDINGINAN PERMUKAAN PANEL  
SURYA TERHADAP DAYA KELUARAN PADA PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MATAHARI**

**Disusun dan diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian Akhir  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Pembangunan Panca Budi**

**SKRIPSI**

**OLEH :**

**NAMA : CHARLES PASARIBU**  
**NPM : 1514210029**  
**PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO**  
**KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI  
MEDAN  
2021**

**ANALISA PENGARUH PENDINGINAN PERMUKAAN PANEL  
SURYA TERHADAP DAYA KELUARAN PADA PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MATAHARI**

**Disusun dan diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian Akhir  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Pembangunan Panca Budi**

**SKRIPSI**

**OLEH :**

**NAMA : CHARLES PASARIBU**  
**NPM : 1514210029**  
**PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO**  
**KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**Diketahui dan Disetujui Oleh :**

Dosen Pembimbing I

**Zuraidah Tharo, S.T., M.T**

Dosen Pembimbing II

**Amani Darma Tarigan, S.T.,M.T**

**Diketahui Dan Disahkan Oleh :**

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

**Hamdani, S.T., M.T**

Ketua Program Studi

**Siti Anisah, S.T., M.T**



## KATA PENGANTAR

Penulis Mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada Penulis Sehingga dapat menyelesaikan Laporan Kerja Praktek ini dengan judul **“Analisa Pengaruh Pendinginan Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Keluaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Matahari”** Penyusunan Skripsi ini sebagai syarat untuk memberbolehkan kelulusan Sarjana Teknik pada Universitas Pembangunan Panca Budi Medan. Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tidak lepas dari bantuan dan bimbingan dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan Skripsi ini, khususnya kepada :

1. Bapak Dr. H. Muhammad Isa Indrawan, S.E, M.M selaku Rektor di Universitas Pembangunan Panca Budi.
2. Bapak Hamdani, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
3. Ibu Siti Anisah, S.T, M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
4. Ibu Hj.Zuraidah Tharo, S.T, M.T Selaku Pembimbing I yang telah memberikan pengalaman, arahan dan pengetahuan selama penyusunan Skripsi.

5. Bapak Amani Darma Tarigan, S.T, M.T Selaku Pembimbing I yang telah memberikan pengalaman, arahan dan pengetahuan selama penyusunan Skripsi.
6. Kedua Orang Tua dan sekeluarga yang selalu mendukung, mendoakan, dan mendidik sepenuh hati dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Sahabat dan Rekan Mahasiswa jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
8. Semua Pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu yang telah banyak membantu baik moril maupun materi.

Penulis juga menyadari bahwa dalam menyusun Skripsi ini masih terdapat berbagai kekurangan, maka dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun supaya Skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Akhir kata semoga Skripsi ini bermanfaat bagi kita semua, terutama bagi penulis sendiri.

**Medan, Januari 2021**

**CHARLES PASARIBU  
NPM : 1514210029**

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>KATA PENGANTAR</b> _____	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> _____	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> _____	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> _____	<b>vi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> _____	<b>1</b>
Latar Belakang.....	1
Rumusan Masalah .....	3
Batasan Masalah .....	3
Tujuan Penelitian.....	3
Manfaat Penelitian.....	4
Metode Penelitian.....	4
Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI</b>	
Tinjauan Pustaka .....	7
Energi .....	9
Pengertian Energi .....	9
Sumber Energi .....	9
Potensi Sumber Energi Alternatif .....	11
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) .....	11
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) .....	13
Sistem PLTS Terpusat ( <i>Off-Grid</i> ) .....	13
Sistem PLTS Terinterkoneksi ( <i>On-Grid</i> ) .....	15
Sistem PLTS <i>Hybrid</i> .....	16
Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) .....	18
Sel Surya ( <i>Photovoltaic</i> ) .....	18
Tinjauan Pustaka Pendinginan Solar Cell .....	41
Arus hubung singkat ( <i>Short circuit current, I<sub>sc</sub></i> ) .....	42
Rangkaian tegangan terbuka ( <i>open circuit voltage, V<sub>oc</sub></i> ) .....	42
Parameter pada kurva arus (I) dan tegangan (V) .....	42
Faktor pengisi .....	44

<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> _____	<b>47</b>
Pendekatan Penelitian .....	47
Waktu dan Tempat Penelitian .....	47
Metode Penelitian _____	47
Analisa Data .....	48
Prosedur Penelitian _____	50
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISA</b> _____	<b>51</b>
Hasil Perhitungan .....	51
Data Hasil Pengujian Panel Surya .....	51
Pengujian Tanpa Pendingin .....	51
Pengujian Menggunakan Pendingin .....	54
Analisa Data Penelitian .....	57
Pengujian Tanpa Pendingin .....	57
Pengujian Menggunakan Pendingin .....	58
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> _____	<b>61</b>
Kesimpulan .....	61
Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> _____	<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Contoh penerapan sel surya ke dalam panel surya .....	12
<b>Gambar 2.2</b>	Prinsip kerja PLTS <i>Off-Grid</i> .....	14
<b>Gambar 2.3</b>	Prinsip Kerja PLTS <i>On-Grid</i> .....	16
<b>Gambar 2.4</b>	Skema <i>hybrid photovoltaic power system</i> .....	18
<b>Gambar 2.5</b>	Skema hubungan antara solar cell, modul, panel, dan array .....	20
<b>Gambar 2.6</b>	Grafik pengaruh iradiasi terhadap modul surya .....	21
<b>Gambar 2.7</b>	Pengaruh shading terhadap modul surya .....	23
<b>Gambar 2.8</b>	Rangkaian Rangkaian ekuivalen PV .....	23
<b>Gambar 2.9</b>	Hubungan sel surya dan panel surya .....	27
<b>Gambar 2.10</b>	Kurva arus dan tegangan .....	29
<b>Gambar 2.11</b>	Grafik pengaruh temperature terhadap arus sel surya .....	30
<b>Gambar 2.12</b>	Grafik arus dan tegangan terhadap insolation .....	31
<b>Gambar 2.13</b>	Sebelum disambung antara semikonduktor jenis positif dan negatif .....	35
<b>Gambar 2.14</b>	Pergerakan elektron dan hole setelah disambung di dalam semikonduktor .....	35
<b>Gambar 2.15</b>	Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor .....	36
<b>Gambar 2.16</b>	Timbulnya listrik internal E .....	37
<b>Gambar 2.17</b>	Posisi sambungan semikonduktor dalam penangkapan cahaya matahari .....	38
<b>Gambar 2.18</b>	Sambungan semikonduktor setelah ditembus cahaya Matahari .....	39
<b>Gambar 2.19</b>	Kurva karakteristik arus dan tegangan .....	43
<b>Gambar 3.1</b>	Flowchart Penelitian .....	49
<b>Gambar 3.2</b>	Sel surya berpendingin .....	50
<b>Gambar 3.3</b>	Skema yang akan dirancang .....	51
<b>Gambar 4.1</b>	Kurva karakteristik Arus ( $I$ ) tegangan ( $V$ ) dengan perubahan intensitas matahari ( $E$ ) tanpa berpendingin .....	55
<b>Gambar 4.2</b>	Kurva karakteristik arus ( $I$ ) tegangan ( $V$ ) dengan variasi intensitas matahari ( $E$ ) dengan berpendingin 150 ml/s .....	57
<b>Gambar 4.3</b>	Kurva karakteristik arus ( $I$ ) tegangan ( $V$ ) dan daya dengan sel surya berpendingin dan tidak berpendingin pada intensitas matahari ( $E$ ) 441 W/m <sup>2</sup> .....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Hasil perhitungan daya dan efisiesni serta pengukuran arus ( <i>I</i> ) dan tegangan ( <i>V</i> ) dengan berpendingin dengan debit air 150 ml/s .....	52
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil perhitungan daya dan efisiensi serta pengukuran arus ( <i>I</i> ) dan tegangan ( <i>V</i> ) dengan berpendingin dengan debit air 100 ml/s .....	53
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil perhitungan daya dan efisiesni serta pengukuran arus ( <i>I</i> ) dan tegangan ( <i>V</i> ) dengan berpendingin dengan debit air 67 ml/s .....	53
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil perhitungan daya dan efisiensi serta pengukuran arus ( <i>I</i> ) dan tegangan ( <i>V</i> ) dengan berpendingin dengan debit air 50 ml/s .....	54
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil perhitungan daya dan efisiensi serta pengukuran arus ( <i>I</i> ) dan tegangan ( <i>V</i> ) tanpa berpendingin pada intensitas matahari 1190,7 W/m <sup>2</sup> .....	54



# **ANALISA PENGARUH PENDINGINAN PERMUKAAN PANEL SURYA TERHADAP DAYA KELUARAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MATAHARI**

**Charles Pasaribu\***  
**Hj. Zuraidah Tharo\*\***  
**Amani Darma Tarigan\*\***

**Universitas Pembangunan Panca Budi**

## **ABSTRAK**

Energi matahari merupakan sumber energi alternatif yang potensial dan ramah lingkungan, sehingga apabila energi ini dapat dikelola dengan baik, diharapkan kebutuhan masyarakat akan energi dapat terpenuhi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur terhadap efisiensi panel surya serta menganalisis kondisi system dan lingkungan yang mempengaruhi efisiensi panel surya, dengan cara memasang pendingin pada panel agar diketahui perubahan nilai efisiensi pada saat suhu didinginkan. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa nilai efisiensi panel surya akan lebih besar atau meningkat setelah menggunakan pipa pendingin pada permukaan belakang panel surya tergantung pada intensitas matahari yang diterima, namun temperatur pada panel surya juga dapat mempengaruhi nilai efisiensinya.

**Kata Kunci :** Panel Surya, Efisiensi, Temperatur

\* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : [charlespasaribu4@gmail.com](mailto:charlespasaribu4@gmail.com)

\*\* Dosen Program Studi Teknik Elektro

# ***ANALYSIS OF THE EFFECT OF SURFACE COOLING OF SOLAR PANELS ON OUTPUT POWER IN SUN POWER PLANT***

**Charles Pasaribu\***  
**Hj. Zuraidah Tharo\*\***  
**Amani Darma Tarigan\*\***

***University Of Pembangunan Panca Budi***

## ***ABSTRACT***

*Solar energy is a potential and environmentally friendly alternative energy source, so that this energy can be fulfilled properly, people's needs for energy can be fulfilled. This study discusses to analyze the temperature of solar panels that analyze systems and environments that increase the efficiency of solar panels, by installing coolers on the panels to increase the value of efficiency when cooled. From the results of research obtained from the value of solar panels will be greater or higher than using a cooling pipe on the back surface of solar panels depending on the intensity of the sun received, but the temperature on solar panels can also increase the value of efficiency.*

**Kata Kunci** : Panel Surya, Efisiensi, Temperatur

\* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : [charlespasaribu4@gmail.com](mailto:charlespasaribu4@gmail.com)

\*\* Dosen Program Studi Teknik Elektro

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **Latar Belakang Masalah**

Energi merupakan kebutuhan yang paling vital sepanjang peradaban manusia. Peningkatan penggunaan energi dapat dijadikan sebagai indikator meningkatnya kemakmuran suatu masyarakat. Namun pada waktu yang sama timbul masalah dalam upaya penyediaannya.

Masalah energi tampaknya akan menjadi terus topik yang menarik untuk penelitian. Mencari sumber energy alternative sebagai bahan bakar fosil masih ramai dibicarakan. Terdapat beberapa sumber energi alam yang tersedia sebagai energi alternatif yang bersih, tidak berpolusi, aman dan dengan persediaan yang tidak terbatas (Wilson, 1996) diantaranya adalah energi matahari. Namun, energi matahari tidak dapat langsung digunakan karena harus dikonversikan terlebih dahulu kedalam bentuk energy listrik. Iradiasi surya adalah sekitar  $1000 \text{ W/m}^2$  (Katsuaki et al. 2012, Nwabueze et al. 2011, Ugwuoke et al. 2012). Bagaimanapun juga, nilai tersebut bisa berubah tergantung kepada letak, waktu dan cuaca. Komponen yang dibutuhkan untuk mengubah energi surya menjadi energy listrik disebut sel surya. Sel surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energy surya menjadi energy listrik dengan prinsip fotovoltaiik. Modul surya adalah kumpulan beberapa sel surya, dan panel surya adalah kumpulan beberapa modul surya. Intensitas radiasi

cahaya matahari yang diterima sel surya sebanding dengan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya, sedangkan apabila suhu lingkungan semakin tinggi dengan intensitas radiasi cahaya matahari yang tetap, maka tegangan panel surya akan berkurang dan arus listrik yang dihasilkan akan bertambah. Perubahan sel-sel surya ini diakibatkan oleh perubahan temperature, kondisi awan, kecepatan angin dilingkungan tempat panel surya diletakkan. (Rifaldo Pido,dkk 2018).

Panel surya bisa ditingkatkan efisiensinya dengan cara menambahkan reflektor atau konsentrator. Reflektor atau konsentrator pada panel sel surya berbentuk seperti cermin yang difungsikan sebagai pemantul dan pemfokus cahaya matahari ke panel sel surya. Saat ini mikrokontroler dipakai untuk mencari energi maksimum. Pemantulan cahaya matahari ini akan membuat intensitas cahaya matahari lebih terkonsentrasi pada panel sel surya sehingga energi listrik yang di keluarkan panel sel surya menjadi semakin besar. Meskipun penambahan reflektor atau konsentrator pada panel sel surya dapat menambah performa panel sel surya, tetapi teknik ini ternyata juga memiliki kelemahan. Akibat dari pengonsentrasian intensitas cahaya ini adalah berimbas pada temperatur panel sel surya yang akan meningkat cepat. Peningkatan temperatur ini dapat berpengaruh pada daya keluaran yang dihasilkan panel sel surya.

Hal ini yang melandasi penulis untuk merancang dan meneliti penelitian ini yang berjudul **“Analisa Pengaruh Pendinginan Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Keluaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Matahari”**.

### **Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah mengenai peningkatan temperatur panel surya yang mempengaruhi besaran daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya, maka penulis menyusun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pendinginan permukaan panel surya terhadap daya keluaran panel surya?
2. Bagaimana pendinginan permukaan panels surya dapat meningkatkan daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya?

### **Batasan Masalah**

Untuk memperjelas lingkup pembahasan dalam penelitian ini, maka penulis membuat batasan masalah yang akan dibahas yaitu:

1. Mengenai pengaruh pendinginan terhadap daya keluaran panel surya.
2. Pendinginan yang digunakan yaitu hanya menggunakan bahan cair berupa air mineral dan air laut.

### **Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian dalam penulisan skripsi ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik arus dan tegangan pada keluaran sel surya

2. Untuk Mencari perbandingan Karakteristik arus dan tegangan (I-V) terhadap perubahan intensitas matahari tanpa berpendingin dan menggunakan pendinginan

### **Manfaat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Pada pengembangan penggunaan panel surya menjadi salah satu sumber energi listrik terbarukan menjadi lebih efisien dalam penggunaannya
2. Penulis berharap penelitian ini dapat membantu mengatasi permasalahan penggunaan panel surya dimana peningkatan temperatur yang dapat menyebabkan turunnya maksimalitas kinerja panel surya

### **Metode Penelitian**

Metode penelitian yang akan dilakukan ada beberapa tahap antara lain:

1. Studi Literatur

Studi ini digunakan untuk memperoleh informasi tentang teori-teori dasar sebagai sumber penulisan skripsi ini. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang

2. Uji Sistem

Uji sistem ini berkaitan dengan pengujian system

3. Metode Analisis

Metode ini merupakan pengamatan terhadap data yang diperoleh dari alat ini. Setelah itu dilakukan analisis sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran saran untuk pengembangan lebih lanjut

### **Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan pemahaman pembahasan skripsi ini maka penulis menyajikan dalam beberapa bab sebagai berikut:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi mengenai latar belakang masalah, identifikasi masalah yang dibahas, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penulisan penelitian, hipotesa dan sistematika penulisan laporan penelitian.

#### **BAB 2 LANDASAN TEORI**

Bab ini membahas mengenai landasan-landasan teori dan tinjauan-tinjauan pustaka mengenai pokok bahasan yang akan dibahas dalam penulisan skripsi ini.

#### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang metodologi penelitian yang digunakan oleh penulis dalam melakukan penelitian. Metodologi ini meliputi waktu dan lokasi penelitian, metode penelitian, pengujian/analisa yang dilakukan.

#### **BAB 4 HASIL DAN ANALISA**

Bab ini membahas mengenai hasil pengujian eksperimen yang dilakukan. Hasil tersebut berupa hasil pengukuran daya keluaran yang dihasilkan sebelum dilakukannya treatment pendinginan dan sesudah dilakukannya treatment pendinginan pada panel surya.

#### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan kesimpulan dan saran dari hasil analisa dan pembahasan yang telah dibahas pada bab sebelumnya.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Membahas tentang referensi-referensi pendukung dalam melakukan penulisan skripsi ini agar terhindar dari plagiat checker



## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **Tinjauan Pustaka**

Penelitian yang berhubungan dengan pembangkit listrik dari sumber energi alternatif sudah banyak dilakukan. Hasyim Asy'ari, Abdul Rozaq, Feri Setia Putra melakukan penelitian tentang “ pemanfaatan solar cell dengan PLN sebagai sumber energi listrik rumah tinggal ”. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu energi listrik yang dihasilkan oleh solar cell digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga. Metode penelitian yang dilakukan dalam pemanfaatan solar cell dengan PLN sebagai sumber energi listrik rumah tinggal yaitu dilakukannya pengukuran energi yang mampu disuplai oleh energi yang dihasilkan dari solar cell. Sedangkan, komponen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan dua panel surya yang masing-masing berkapasitas 100 watt peak, controller 12/24 Volt DC yang berkapasitas 60 A, inverter yang berkapasitas 500 Watt, accumulator yang berkapasitas 100 Ah, dan lampu DC Philips (5 Watt,10 Watt,13 Watt) serta lampu 5 buah SL 18 Watt. Setelah dilakukannya pengujian, maka didapatkan produksi arus yang paling tinggi yaitu terjadi pada jam 12.30, dengan nilai arus sebesar 13 A dan tegangan 14 Volt DC. Kemudian, energi listrik yang dihasilkan pada siang hari akan digunakan untuk memasok beban penerangan yaitu lampu pada jam 17.00 hingga jam 06.00 dengan rata-rata energi yang dapat digunakan sebesar 1,027 kWh per malam harinya

Selain itu Puloeng Raharjo, juga melakukan penelitian yang berkaitan dengan pembangkit listrik sumber energi alternatif, yaitu tentang “ perancangan sistem *hybrid* solar cell-baterai-pln menggunakan programmable logic controllers ”. Dengan menggunakan sistem hibrid yang terdiri dari dua buah sumber pembangkitan dari solar cell dan dari PLN, pemakaian ini bertujuan untuk saling bantu antar pembangkit. Adapun komponen yang digunakan dalam sistem ini yaitu dengan menggunakan solar cell yang berkapasitas sebesar 100 wattpeak dengan menghasilkan tegangan 20,03 V; arus 4,52 A; dan daya sebesar 90,52 W serta mengalami beban puncak pada jam 13.00. Kemudian, pengisian baterai dinyatakan sudah penuh atau 100% ketika tegangan mencapai 12,7 V. Sedangkan, ketika baterai dalam keadaan 30% hingga 40% dengan tegangan sebesar 11,8 V, maka akan dilakukan pengisian baterai kembali. Semua sistem dikontrol dengan PLC menggunakan bahasa *ladder* diagram.

Penelitian lain yang berkaitan dengan pembangkit listrik sumber energi alternatif adalah Rudi Salman, dengan melakukan penelitian tentang “ analisis perancangan penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk perumahan (*solar home system*) ”. Penelitian ini menggunakan modul fotovoltaik dengan kapasitas 50 wattpeak. Radiasi matahari rata-rata harian yang didapat sebesar 4,5 kWh/m<sup>2</sup> yang akan menghasilkan energi listrik kurang lebih 125 hingga 130 watt-jam.

## **Energi**

### **Pengertian Energi**

Energi disebut juga dengan tenaga yang artinya adalah suatu kemampuan yang digunakan untuk melakukan suatu usaha atau pekerjaan. Sedangkan, menurut Hukum Kekekalan Energi, energi adalah tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan tetapi dapat diubah bentuknya. Adapun beberapa pengertian energi menurut para ahli yaitu pertama, Arif Alfatah dan Muji Lestari menyatakan bahwa energi yaitu sesuatu yang diperlukan oleh sebuah benda agar benda tersebut dapat melakukan suatu usaha. Kedua, menurut Campbell, Reece dan Mitchell menyatakan bahwa energi adalah suatu kemampuan yang digunakan untuk mengatur ulang suatu materi. Dan ketiga, Kamus Besar Bahasa Indonesia menyatakan bahwa energi yaitu suatu kekuatan yang dibutuhkan untuk melakukan berbagai suatu proses kegiatan. Energi terbagi menjadi dua kategori yaitu energi potensial dan energi kinetik. Namun, selain energi potensial dan energi kinetik, terdapat pula energi yang lainnya yaitu energi mekanik, listrik, elektromagnetik, kimia, panas, nuklir, angin, dan lain-lain. Kemudian, dari sebagian energi tersebut harus diubah bentuknya agar dapat digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari. (Hartono BS,dkk 2017).

### **Sumber Energi**

Sumber energi adalah suatu sumber yang berasal dari alam, tanaman, bendabenda renik, sampah organik ataupun dari bahan bakar fosil yang sudah

berumur jutaan tahun lamanya yang akan digunakan sebagai penghasil energi.

Berikut energi yang dikelompokan berdasarkan sumbernya yaitu sebagai berikut:

1. Energi Konvensional

Energi konvensional atau disebut juga dengan energi tidak terbarukan adalah suatu energi yang tidak dapat diperbaharui atau diregenerasi yang sumbernya hanya tersedia di bumi dengan jumlah yang terbatas. Selain sumber-sumber energi tersebut cepat habis di bumi, kemudian juga berbahaya bagi makhluk hidup karena akan berdampak polusi yang mencemari udara, air, dan tanah yang mempengaruhi penurunan kesehatan. Energi tak terbarukan juga dapat berupa batubara, gas alam, uranium, dan minyak bumi, serta sumber energi lain yang merupakan bahan bakar fosil.

2. Energi Terbarukan

Energi terbarukan yaitu suatu energi yang dapat diperbaharui yang sumbernya didapatkan dari alam yang ada di bumi dengan jumlahnya yang tidak terbatas atau akan habis secara alami. Energi terbarukan juga tidak menimbulkan polusi, ramah terhadap lingkungan maupun makhluk hidup lainnya, dan dianggap sebagai energi yang paling bersih di bumi seperti matahari, angin, sungai, ombak, tumbuhan, dan sebagainya. (Abdul Majid,dkk 2018).

## **Potensi Sumber Energi Alternatif**

Rata-rata sumber energi yang digunakan sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik di Indonesia yaitu sumber energi yang didapatkan dari fosil yang tidak dapat diperbaharui dan tidak akan bertahan lama. Dan sekarang ini, penggunaan sumber energi dari bahan bakar fosil lambat laun akan menipis jika terus digunakan. Untuk itu, mengingat krisis energi yang terjadi di Indonesia tersebut, pengembangan dan penerapan sumber energi terbarukan merupakan suatu solusi guna untuk mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian bahan bakar fosil sebagai sumber utama dalam pembangkitan tenaga listrik. Dalam penulisan skripsi ini penulis membahas salah satu energy alternative yaitu sebagai berikut:

### **1. Energi Solar Cell**

Energi solar adalah suatu energi yang berasal dari matahari yang dipancarkan ke bumi setiap menitnya yang dapat memenuhi keperluan energi seluruh manusia dalam satu tahun, apabila dalam penangkapan radiasinya dengan benar. Walaupun letak matahari berjarak sangat jauh dari bumi yaitu sekitar 149 juta kilometer. Kemudian, juga terdapat suatu alat yang digunakan untuk mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung yaitu sel fotovoltaik. (Muhammad Rizal Fachri,dkk 2017).

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

PLTS adalah sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari berupa radiasi sinar foton matahari yang kemudian akan dikonversikan menjadi

energi listrik melalui sel surya (photovoltaic). Sel surya (photovoltaic) sendiri merupakan suatu lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. Sinar matahari yang dimanfaatkan oleh PLTS ini akan memproduksi listrik DC yang dapat dikonversi menjadi listrik AC apabila dibutuhkan. Dan PLTS ini akan tetap menghasilkan listrik meskipun cuaca mendung selama masih terdapat cahaya. (Anwar Ilmar Ramadhan,dkk 2016).



**Gambar 2.1 Contoh penerapan sel surya ke dalam panel surya**

Sumber: Sandro Putra,dkk 2016

Pada dasarnya, PLTS yaitu penghasil listrik yang dapat dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam jumlah kecil hingga besar, baik menggunakan sistem berdiri sendiri maupun sistem hybrid dan baik menggunakan metode desentralisasi (satu rumah dengan satu pembangkit) maupun metode sentralisasi

(listrik yang didistribusikan dengan jaringan kabel). PLTS merupakan dari sumber energi terbarukan, dimana sinar matahari sebagai sumber energi yang tidak ada habisnya. Selain itu, PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan komponen yang berputar, tidak berdampak polusi (udara, air, dan laut), dan tidak mengeluarkan emisi berupa gas buang atau limbah.

### **Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

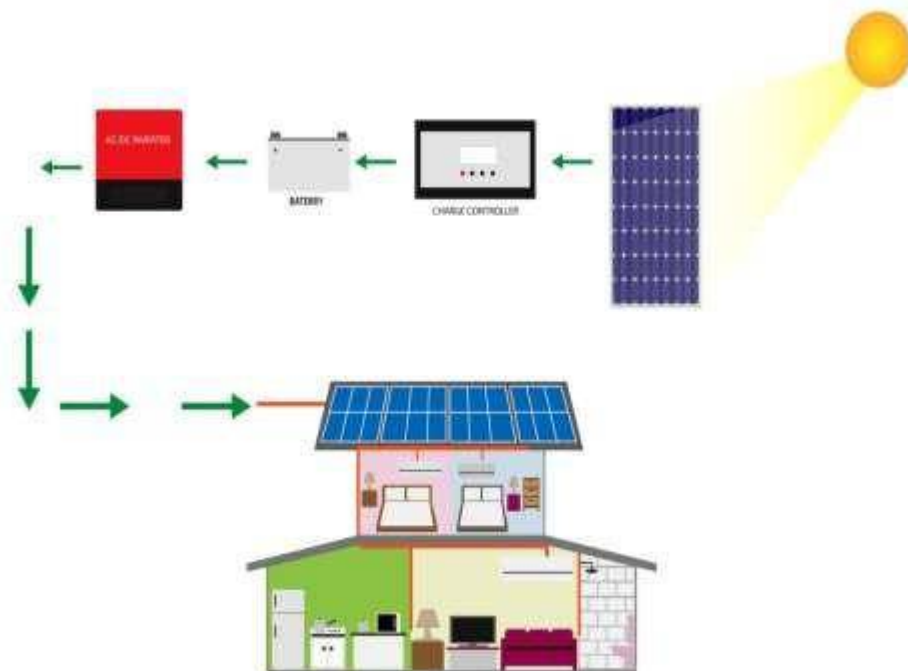
Berdasarkan aplikasi dan konfigurasinya, secara garis besar PLTS diklarifikasi menjadi tiga yaitu sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan (off-grid PV plant), sistem PLTS On-grid, dan sistem PLTS Hybrid yaitu apabila PLTS dalam penggunaannya digabung dengan jenis pembangkit listrik lain:

Menurut IEEE standard 929-2000 sistem PLTS dibagi menjadi tiga kategori, yaitu PLTS skala kecil dengan batas 10 kW atau kurang, skala menengah dengan batas antara 10 kW hingga 500 kW, skala besar dengan batas di atas 500 kW (Omran, IEEE, 2000).

### **Sistem PLTS Terpusat (*Off-Grid*)**

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (*Off-Grid*) merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu-satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau photovoltaic untuk dapat menghasilkan energi listrik. Sistem PLTS Off-Grid sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti

daerah pedesaan. Berikut konfigurasi dari sistem PLTS *Off-Grid*.( Abdul Kodir Al Bahar,dkk 2018)



**Gambar 2.2 Prinsip kerja PLTS Off-Grid**

Sumber: Abdul Kodir Al Bahar,dkk 2018

Prinsip kerja sistem PLTS terpusat dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sel surya (*photovoltaic*) akan menghasilkan energi listrik pada siang hari dan baterai akan menyimpan energi listrik tersebut. Dan penyimpanan energi listrik dari photovoltaic ke dalam baterai dibantu dengan menggunakan` solar charge controller dengan tujuan agar tidak terjadinya kelebihan dalam pengisian (*overcharge*). Besar daya yang diproduksi dari photovoltaic sebesar  $140 \text{ W/m}^2$  yang didapatkan dari intensitas matahari maksimum yang diterima oleh photovoltaic mencapai  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan



efisiensi cell sebesar 14%. Jadi besar daya yang dihasilkan dari PV sangat tergantung dari nilai intensitas penyinaran matahari dan efisiensi cellnya.

2. Kemudian energi listrik yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban AC. Namun, sebelum disuplai ke beban AC dari baterai, terlebih dahulu tegangan DC pada sisi baterai dikonversikan ke tegangan AC melalui inverter saat dibutuhkan.

### **Sistem PLTS Terinterkoneksi (*On-Grid*)**

Sistem PLTS terinterkoneksi (*On-Grid*) atau yang disebut dengan Grid Connected PV System adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau photovoltaic modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin. Sistem ini juga dianggap ramah lingkungan dan bebas emisi. Sistem PLTS terinterkoneksi juga merupakan sebuah solusi Green Energi bagi masyarakat perkotaan baik perkantoran maupun perumahan yang bertujuan untuk dapat memperkecil tagihan rekening listrik dari PLN dan dapat memberikan nilai tambah kepada pemiliknya. (A. A. Ngurah Bagus Budi Nathawibawa, dkk 2017).



**Gambar 2.3 Prinsip Kerja PLTS On-Grid**

Sumber: A. A. Ngurah Bagus Budi Nathawibawa, dkk 2017

### **Sistem PLTS Hybrid**

Sistem hybrid adalah sistem yang menghubungkan sistem pembangkit listrik satu dengan yang lain atau yang disebut berkolaborasi antara 2 atau lebih sistem pembangkit dan biasanya sumber pembangkit yang digunakan untuk sistem ini yaitu energi solar, mikrohidro, energi angin, dan genset. Untuk itu, sistem hybrid dapat terdiri dari PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, PLTS-Energi Angin, dan lainnya. Dan sistem hybrid sudah banyak digunakan di Indonesia, baik PLTS Genset, PLTS Mikrohidro, maupun PLTS energi angin-mikrohidro, akan tetapi sistem hybrid yang paling banyak digunakan yaitu PLTS-Genset. Sistem hybrid PLTS-Genset ini

umumnya menggunakan genset yang tidak terhubung dengan jaringan PLN atau yang disebut dengan genset yang berdiri sendiri. (Roihan Abdullah,dkk 2018).

Sistem Hybrid PV-Genset ini memiliki tujuan yaitu untuk mengkombinasikan keunggulan dan menutupi kelemahan antara PV dengan genset dalam keadaan tertentu, sehingga secara total sistem ini dapat bekerja lebih ekonomis dan efisien. Kolaborasi sistem Hybrid antara PV dengan genset dapat memberikan keuntungan bagi genset yaitu akan memperkecil jam kerja genset (semisal awalnya setiap hari beroperasi selama 24 jam kemudian berkurang menjadi hanya 4 jam per harinya ketika beban puncak saja), sehingga tarif operasi dan manajemen dapat lebih ekonomis. Sedangkan, bagi PV juga mendapatkan keuntungan dari sistem ini yaitu hanya digunakan sebagai pencatu beban base saja, maka tidak membutuhkan biaya modal awal yang besar. Dengan demikian, penggunaan sitem Hyibrid PV-Genset ini dapat menghemat biaya operasi dan managemen, mengurangi jam operasi genset, serta dapat menghindari kebutuhan biaya modal awal yang besar.



**Gambar 2.4 Skema *hybrid photovoltaic power system***  
Roihan Abdullah,dkk 2018

### **Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

Dalam perencanaan pembangunan sistem PLTS juga membutuhkan beberapa komponen yang dapat menunjang sistem ini, baik komponen utama maupun komponen pendukung, diantaranya yaitu:

#### **Sel Surya (*Photovoltaic*)**

##### 1. Pengertian Sel Surya

Sel surya atau yang disebut juga dengan photovoltaic adalah sebuah komponen elektronik yang dapat mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik, perubahan energi ini disebabkan sebuah proses yang disebut efek photovoltaic. Efek photovoltaic sendiri adalah pelepasan muatan positif dan negatif dalam material padat melalui cahaya. Jadi

secara tidak langsung output berupa arus dan tegangan dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya.

## 2. Sistem Instalasi Sel Surya

Terdapat dua sistem dalam instalasi solar cell, yaitu sistem dengan rangkaian seri dan sistem dengan rangkaian paralel.

### a. Rangkaian Seri Solar Cell

Rangkaian seri solar cell adalah suatu rangkaian yang dihubungkan secara seri yaitu dengan menghubungkan antara bagian depan (+) dari solar cell utama dengan bagian belakang (-) dari solar cell kedua.

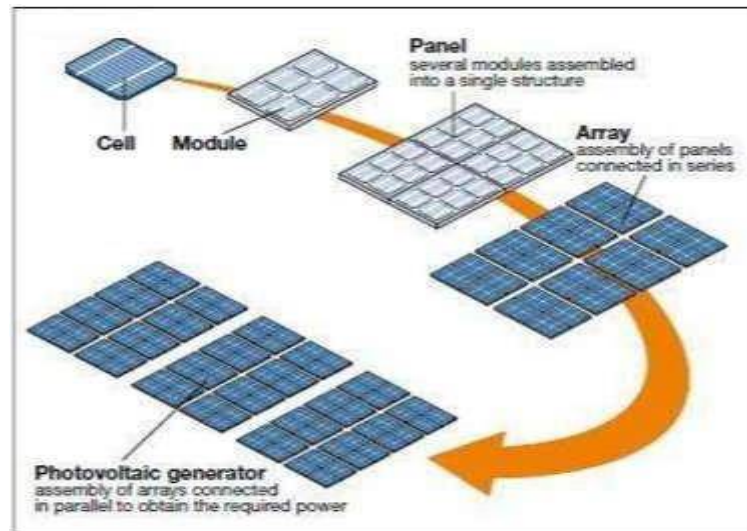
### b. Rangkaian Paralel Solar Cell

Rangkaian parallel solar cell adalah suatu rangkaian yang dihubungkan secara parallel yaitu dengan menghubungkan antara terminal kutub positif dan negatif dari solar cell tersebut.

## 3. Modul Surya

Modul surya atau Photovoltaic Module adalah suatu komponen elektronik yang digunakan untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik yang disusun dari beberapa panel surya yang dirangkai seri maupun paralel, kemudian disusun dalam satu bingkai (frame) yang diberi laminasi atau lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut array. PV modul yang terangkai seri dari sel-sel surya ditujukan untuk meningkatkan, atau dalam hal ini dapat dikatakan menggabungkan tegangan (VDC) yang

dihasilkan setiap selnya. Sedangkan untuk arusnya dapat didesain sesuai kebutuhan dengan memperhatikan luas permukaan sel.



**Gambar 2.5 Skema hubungan antara solar cell, modul, panel, dan array**

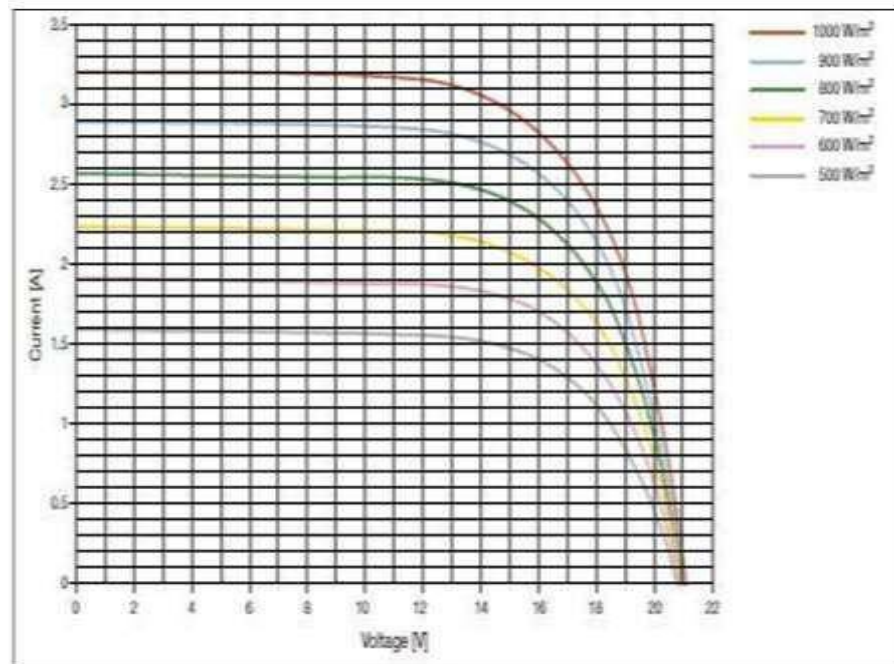
Sumber: Dafi Dzulfikar, dkk 2016

4. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi energi listrik dari PLTS.

Dalam memproduksi energi listrik, modul surya pun dapat dipengaruhi dari beberapa faktor utama, yaitu sebagai berikut:

a. Iradiasi (besarnya intensitas sinar matahari) pada modul surya.

Pengaruh iradiasi terhadap produksi energi listrik pada panel surya dapat dilihat pada gambar di bawah, yang memperlihatkan fungsi peristiwa iradiasi terhadap kurva karakteristik tegangan (V) dan arus (I).



**Gambar 2.6 Grafik pengaruh iradiasi terhadap modul surya**

Sumber: Dafi Dzulfikar, dkk 2016

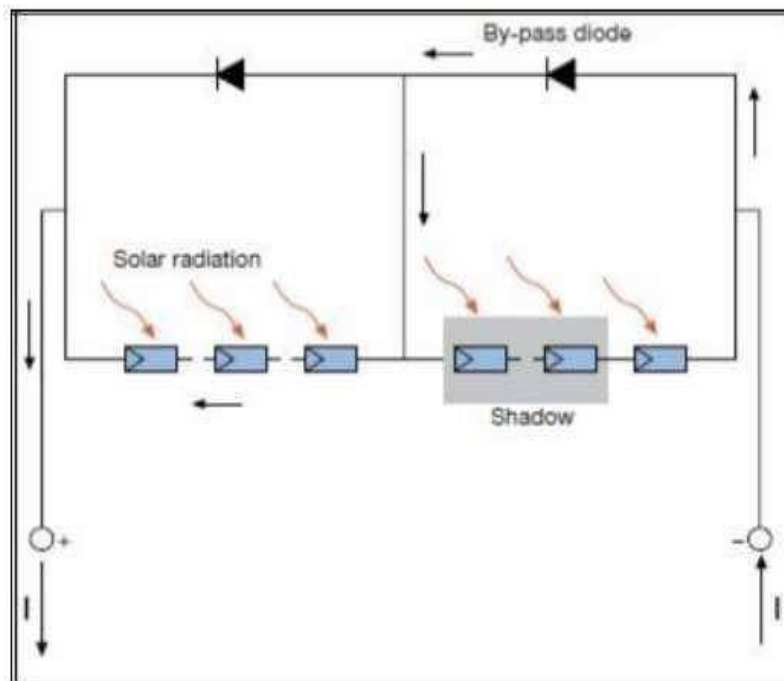
Ketika nilai iradiasi atau intensitas sinar matahari menurun, maka arus yang dihasilkan oleh modul surya akan ikut menurun dengan proporsional, sedangkan variasi dari tegangan tanpa beban sangatlah kecil. Sebagai suatu kenyataan, efisiensi dari konversi pada modul surya tidak terpengaruh oleh iradiasi yang bervariasi asalkan masih dalam batas standar operasi dari modul surya, yang berarti bahwa efisiensi konversi adalah sama untuk keduanya, baik dalam kondisi cerah begitu juga kondisi mendung. Dengan demikian, kecilnya nilai energi listrik yang diproduksi dari panel surya ketika cuaca mendung dapat dijadikan acuan yang disebabkan oleh produksi arus listrik yang

turun bukan karena penurunan efisiensi akibat rendahnya intensitas matahari.

b. Bayangan (*Shading*)

Berbicara mengenai area yang digunakan oleh modul surya pada suatu PLTS, sebagian darinya (satu atau lebih sel) mungkin dibayangi atau terhalangi oleh pepohonan, daun yang jatuh, asap, kabut, awan, atau panel surya yang terpasang di dekatnya. Pada khusus shading ini, sel surya yang tertutupi akan berhenti memproduksi energi listrik dan berubah menjadi beban pasif. Sel ini akan berlaku seperti diode dalam kondisi memblok arus yang diproduksi oleh sel lain dalam hubungan seri dan akan membahayakan keseluruhan produksi dari modul surya tersebut, terlebih dapat merusak modul akibat adanya panas yang berlebih. Dalam hal ini menghindari permasalahan yang lebih besar akibat shading pada suatu string, maka diantisipasi dengan penggunaan diode by-pass yang terpasang paralel pada masing-masing modul.



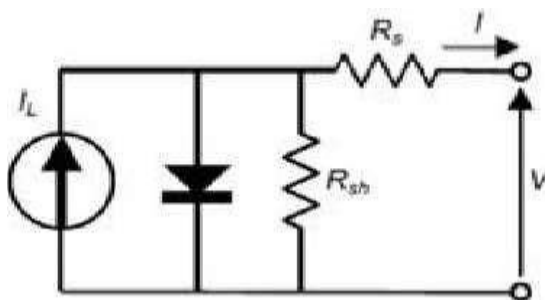


**Gambar 2.7 Pengaruh shading terhadap modul surya**

Sumber: Dafi Dzulfikar, dkk 2016

#### 5. Rangkaian Ekivalen PV

Pada umumnya panel surya atau photovoltaic (PV) memiliki rangkaian ekivalen dan pemodelan matematis yang sangat diperlukan untuk mengetahui parameter panel surya yang digunakan. Berikut rangkaian ekivalen PV.



**Gambar 2.8 Rangkaian Rangkaian ekivalen PV**

Sumber: Dafi Dzulfikar, dkk 2016

Sebuah sel panel surya dapat dimodelkan oleh sebuah sumber arus secara paralel dengan dioda. Sebuah resistor shunt dan sebuah resistor paralel ditambahkan untuk model mekanisme kerugian dalam sel panel surya. Dari gambar rangkaian ekuivalen diatas yang dihasilkan oleh sel panel surya adalah sumber arus dikurangi arus yang mengalir melalui dioda dan yang mengalir melalui resistor paralel, sehingga dapat dituliskan persamaan seperti berikut:

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V + R_s I}{V_t a}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

Dimana:

$I_L$  = arus yang dibangkitkan cahaya (A)

$I_0$  = arus saturasi dioda p-n (A)

$R_s$  = merupakan resistor seri pada photovoltaic (ohm)

$R_{sh}$  = resistor paralel sel panel surya (ohm)

$a$  = parameter diaoda  $1 < a < 2$

$V_t$  = tegangan terminal (V)

$$V_t = N_s \frac{kT}{q} \quad (2.2)$$

Dimana:

$T$  = merupakan temperatur (K)

$k$  = konstanta Boltzmann ( $1.3806 \times 10^{-23} \text{J/K}$ )

$q$  = muatan elektron ( $1.6021 \times 10^{-19}$  C)

$R_p$  resistor shunt adalah suatu resistor parallel yang menunjukkan pada sambungan p-n diode terdapat nilai arus yang bocor (leakage) yang nilai arusnya sekitar 0.1 – 10 m2 untuk panel surya modul yang terbuat dari bahan semikonduktor berupa silicon. Estimasi arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul sel surya yang menentukan besar produksi energi dari sistem sel surya, dimana daya keluaran sel surya ditentukan berdasarkan pada karakteristik teknis dan parameter lingkungan. Dengan demikian, model sel surya terdiri dari parameter listrik yang dalam keadaan standart yaitu  $\mu I_{sc}$  koefisien temperature arus hubung singkat,  $I_{sc}$  dan  $\mu V_{oc}$  koefisien temperature open circuit voltage,  $V_{oc}$ . Nilai  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$  ditentukan berdasarkan persamaan dengan meninjau parameter lingkungannya.

$$I_{sc} = I_{sc,ref} \frac{G}{G_{ref}} + \mu I_{sc}(T_c - T_{c,ref}) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$V_{oc} = V_{oc,ref} + mV_1 \ln \left( \frac{G}{G_{ref}} \right) + \mu_{voc}(T_c - T_{c,ref}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Open Circuit Voltage  $V_{oc}$ , adalah tegangan yang ketika tidak adanya arus (current), maka dapat mencapai tegangan yang memiliki kapasitas maksimum, sehingga daya yang dihasilkan adalah nol. Sedangkan, Short Circuit Current  $I_{sc}$ , adalah arus yang memiliki kapasitas maksimum yang dihasilkan oleh photovoltaic yang berada di bawah kondisi ketika tidak

adanya resistansi (short circuit). Daya pada  $I_{sc}$  adalah 0 watt. Efisiensi energi panel surya adalah perbandingan antara energi total (termal dan elektrik) dengan energi matahari yang ditangkap oleh bidang permukaan panel surya yang dirumuskan pada persamaan berikut:

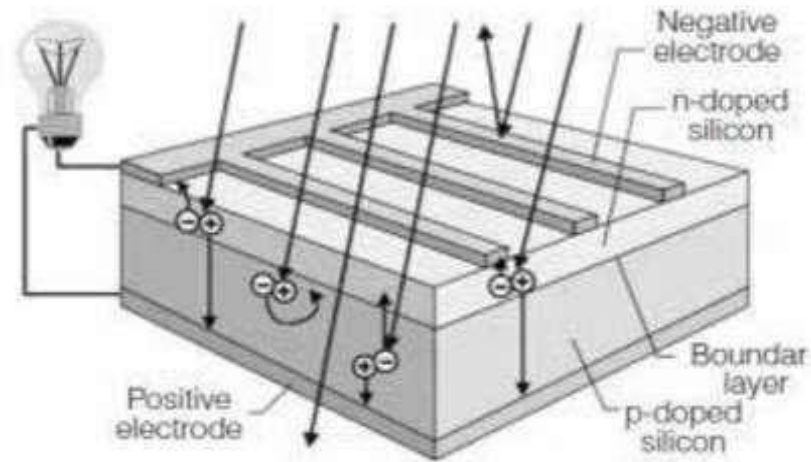
$$\eta_{en} = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{A \times S_T} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana  $V_{oc}$  (V) menyatakan tegangan open circuit,  $I_{sc}$  arus short circuit (A),  $S_T$  radiasi global Matahari ( $W/m^2$ ), dan  $A$  luas permukaan modul PV ( $m^2$ ).

#### 6. Semikonduktor PV

Dalam photovoltaic memiliki dua lapisan tipis semikonduktor yang dihubungkan dengan sambungan (junction) yaitu positif dan negatif yang terbuat dari bahan semikonduktor berupa silikon. Bagian positif yaitu suatu bagian lapisan yang permukaannya dibuat sangat tipis dengan tujuan agar radiasi matahari dapat menembus langsung ke sambungan dan bagian ini juga diberi lapisan nikel berbentuk cincin yang digunakan sebagai terminal keluaran positif. Sedangkan, bagian negatif yang berada dibawah bagian positif ini juga diberi lapisan nikel yang digunakan sebagai terminal keluaran negatif. Proses terbentuknya arus listrik yaitu ketika radiasi matahari tertangkap oleh bidang permukaan photovoltaic, kemudian beberapa foton dari radiasi matahari tersebut diserap oleh atom semikonduktor, di dalam atom semikonduktor ini elektron akan

dibebaskan dari ikatan atomnya. Elektron yang bergerak bebas dan berpindahpindah inilah yang menimbulkan adanya arus listrik



**Gambar 2.9 Hubungan sel surya dan panel surya**

Sumber: Safrizal,2017

## 7. Jenis Sel Surya

### a. Monokristal Silikon

Monokristal silikon merupakan jenis sel surya yang materialnya berasal dari silisium kristal tunggal yang berbentuk silinder yang ditarik dari cairan silisium dan jenis sel surya yang memiliki efisiensi yang paling tinggi yaitu mencapai 16-25% (Narayana, 2010). Karena memiliki efisiensi yang tinggi, maka jenis ini sangat sesuai untuk digunakan area yang memiliki ruang yang sempit

### b. Polikristal Silikon

Polikristal silikon merupakan jenis sel surya yang materialnya berasal dari susunan Kristal yang acak dengan efisiensi yang dimiliki sebesar 14-16%. Jenis ini terbuat dari coran silisium yang dipotong seperti bentuk bunga Kristal es, jenis ini juga memiliki efisiensi yang tidak cepat menurun jika sinar matahari redup.

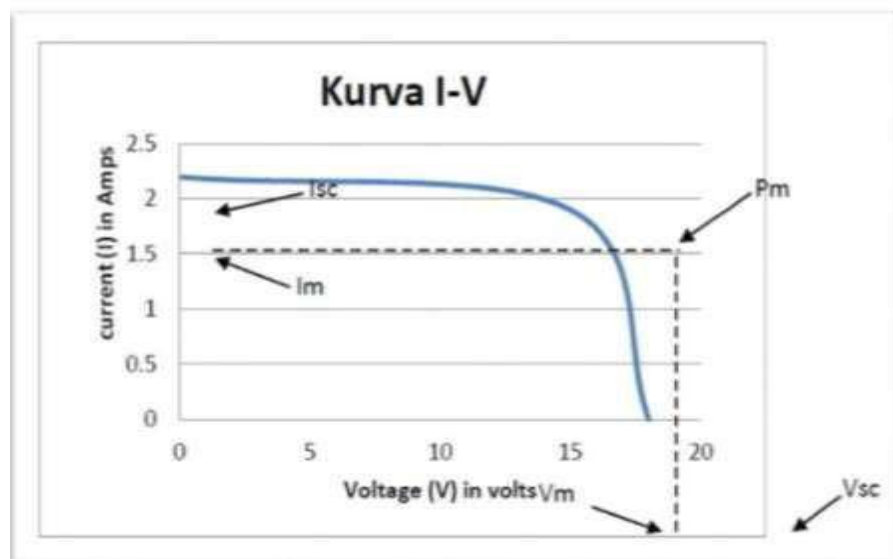
c. Amorphous Silikon

Amorphous silikon merupakan jenis sel surya yang memiliki tingkat efisiensi paling rendah sebesar 9-14% dengan harga yang paling murah (Narayana, 2010). Jenis ini juga biasanya digunakan pada alat-alat elektronik kecil berupa kalkulator dan jam tangan.

8. Karakteristik Sel Surya

Terdapat 3 karakteristik dari sel surya yaitu dilihat dari produksi listriknya, temperature, dan intensitas cahaya matahari. Pertama, dilihat dari produksi listriknya, photovoltaic dibuat dari semikonduktor berupa silikon yang digunakan sebagai insulator ketika suhunya kecil dan sebagai konduktor apabila terdapat energi dan panas. Besaran luas bidang semikonduktor jenis silikon ini tidak menentukan produksi energi listrik (energi matahari menjadi foton) dari photovoltaic dan secara stabil akan dapat memproduksi energi sekitar kurang lebih mulai dari 0.5 volt hingga mencapai 600 mV dengan arusnya sebesar 2 A dan nilai intensitas radiasi matahari sebesar  $1000 \text{ W/m}^2 = "1 \text{ Sun}"$ . Kekuatan radiasi solar matahari tersebut akan dapat memproduksi arus listrik (I) berkisar 30

mA/cm<sup>2</sup> setiap panel suryanya. Photovoltaic akan dapat memproduksi energi maksimal apabila nilai tegangan maksimal ( $V_m$ ) dan arus maksimal ( $I_m$ ). Sedangkan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) akan mengeluarkan arus listrik maksimal ketika tidak adanya nilai tegangan dan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) berbanding langsung dengan intensitas radiasi matahari. Tegangan open circuit sendiri akan maksimal apabila nilai arusnya nol dan  $V_{oc}$  akan naik secara logaritma apabila intensitas radiasi matahari juga naik. Karakteristik inilah yang memungkinkan photovoltaic dapat mengisi aki.



**Gambar 2.10 Kurva arus dan tegangan**

Sumber: Safrizal,2017

Keterangan:

$I_{sc}$  = arus hubung singkat (short circuit)

$V_{oc}$  = tegangan open circuit (volt)

$V_m$  = tegangan maksimum (volt)

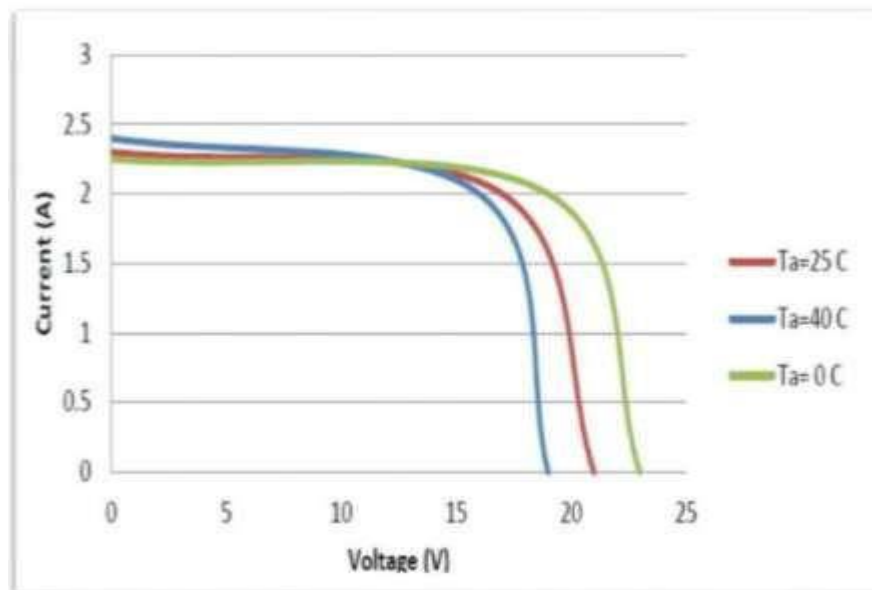
$I_m$  = arus maksimum (ampere)

$P_m$  = daya keluaran maksimum dari photovoltaic array (watt)

Kedua, dilihat dari temperature, photovoltaic dapat berjalan secara maksimal apabila suhunya normal yaitu sebesar 25 derajat celcius.

Namun, apabila suhunya naik lebih besar dari suhu normal, maka dapat menurunkan nilai tegangan yang diproduksi karena setiap kenaikan suhu sebesar 1 derajat celcius dari 25 derajat, maka dapat mengurangi nilai tegangan berkisar 0.4 % dari keseluruhan tenaga yang dihasilkan 8 atau akan melemah 2 kali lipat untuk menaikkan suhu setiap 10 derajat celcius.

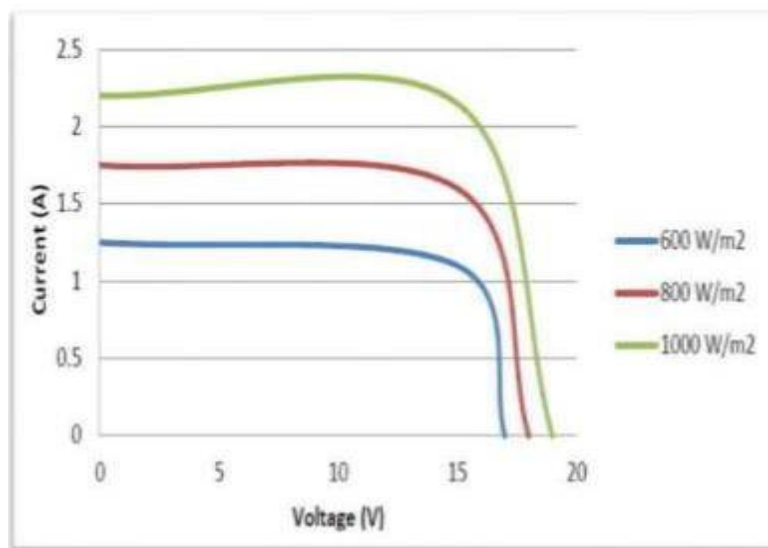
Berikut grafik pengaruh temperatur pada sel surya.



**Gambar 2.11 Grafik pengaruh temperature terhadap arus sel surya**  
Sumber: Safrizal,2017



Ketiga, dilihat dari intensitas radiasi matahari, nilai intensitas radiasi matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus dan sedikit pada tegangan yaitu apabila nilai intensitas radiasi matahari yang diserap oleh photovoltaic semakin rendah, maka arusnya pun akan semakin rendah pula. Dengan hal tersebut dapat menentukan titik Maximum Power Point dalam kondisi yang berada pada titik yang semakin rendah juga. Berikut grafik antara arus dan tegangan berdasarkan intensitas matahari atau insolation dalam satuan W/m<sup>2</sup>.



**Gambar 2.12 Grafik arus dan tegangan terhadap insolation**

Sumber: Safrizal,2017

Efisiensi dari konversi energi surya dari sel surya di deskripsikan melalui persamaan:

$$\eta = \frac{\text{Daya Keluaran}}{\text{Daya Masuk}} \times 100\% \quad (2.6)$$

9. Tentunya dengan semakin tingginya nilai efisiensi maka semakin tinggi pula daya keluaran sel surya yang di dapatkan Parameter Sel Surya. Dalam masa operasi maksimal sel surya juga dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu diantaranya:

a. Ambient air temperature (suhu)

Photovoltaic dapat bekerja maksimal apabila suhunya masih berada pada batas normal yaitu sebesar 25 derajat celcius. Namun, apabila suhunya lebih besar dari suhu normal, maka akan menurunkan nilai tegangan yang diproduksi karena setiap kenaikan suhu sebesar 1 derajat celcius dari 25 derajat, maka akan mengurangi nilai tegangan berkisar 0,4 % dari keseluruhan energi yang diproduksi atau akan menurun 2 kali lipat yang digunakan untuk menaikkan suhunya setiap 10 derajat celcius

b. Radiasi matahari

Radiasi matahari yang tertangkap di bumi dan berbagai lokasi bervariasi akan sangat tergantung terhadap kondisi spektrum cahaya matahari yang tertangkap di bumi. Intensitas radiasi matahari akan sangat berpengaruh terhadap arus dan sedikit pada tegangan yaitu apabila nilai intensitas radiasi matahari yang diserap oleh photovoltaic semakin rendah, maka arusnya pun akan semakin rendah pula. Dengan hal tersebut dapat menentukan titik Maximum Power Point dalam kondisi yang berada pada titik yang semakin rendah juga

c. Kecepatan tiupan angin

Kecepatan angin bertiup adalah parameter photovoltaic yang dapat membantu menurunkan suhu bidang permukaan photovoltaic yang berada disekitarnya

d. Kondisi atmosfer bumi

Kondisi atmosfer bumi ini seperti mendung, berawan, polusi, kabut, uap air udara, dan jenis partikel debu udara lainnya akan sangat mempengaruhi sel surya dalam penentuan hasil maksimal arus listriknya.

e. Orientasi sel surya (*array*)

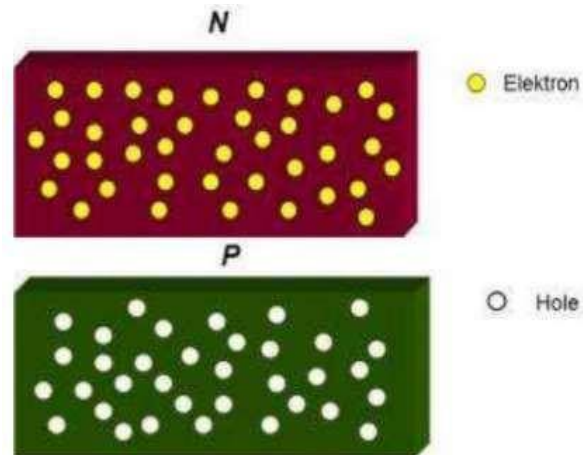
Orientasi sel surya sangatlah penting karena dari photovoltaic (*array*) yang dirangkai menghadap ke arah datangnya cahaya matahari secara optimal dapat membuat sel surya menghasilkan energi yang maksimal. Dan apabila bidang sel surya tidak dapat mempertahankan ketegak lurusannya dengan cahaya matahari, maka diperlukan penambahan luas pada bidang panel surya karena perlu diketahui bahwa bidang panel surya terhadap sinar matahari akan berubah setiap jamnya dalam sehari.

## 10. Proses Terbentuknya Listrik

Proses terbentuknya listrik yang berasal dari cahaya matahari yang menggunakan sel surya ini dimungkinkan yang disebabkan karena bahan penyusun photovoltaic sendiri yaitu bahan semikonduktor. Semikonduktor

yang menyusun sel surya terdiri dari dua jenis semikonduktor, yaitu semikonduktor jenis negatif dan positif. Semikonduktor jenis negatif ini adalah jenis semikonduktor yang mempunyai elektron berlebih yang disebut juga dengan n= negatif karena muatan negatif yang terlalu banyak atau berlebih. Sedangkan, semikonduktor jenis positif adalah jenis semikonduktor yang terdapat kelebihan hole atau yang disebut juga dengan p=positif karena muatan positif yang terlalu banyak atau berlebih. Pada awalnya, dua jenis semikonduktor yang dibuat ini mempunyai jumlah dan keunggulan yang sama dan keunggulannya yaitu dapat menaikkan tingkatan kemampuan daya hantar listrik dan panas dari semikonduktor alami ini. Dan apabila dua jenis semikonduktor dihubungkan menjadi satu, maka akan terbentuk hubungan atau sambungan yang disebut diode p-n atau dapat disebut juga sebagai sambungan metalurgi (metallurgical junction). Berikut proses perubahan cahaya matahari menjadi energi listrik dari sel surya

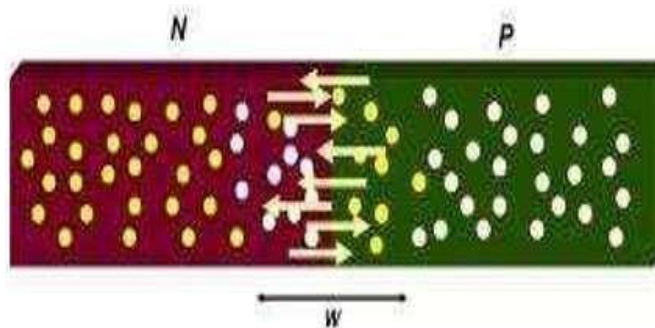
- a. Semikonduktor jenis positif dan negatif sebelum dilakukannya penyambungan, yaitu sebagai berikut:



**Gambar 2.13 Sebelum disambung antara semikonduktor jenis positif dan negatif**

Sumber: Nurhalim,dkk 2017

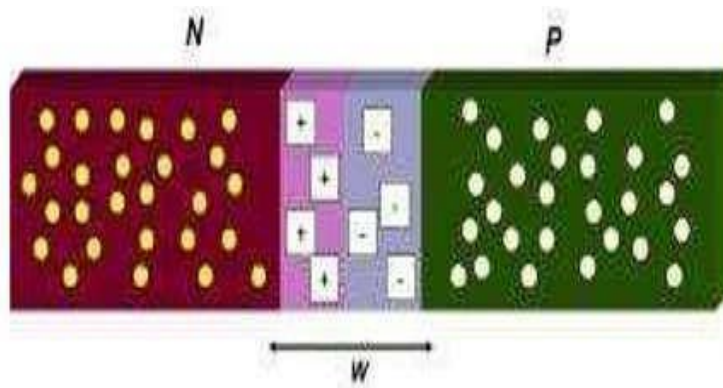
- b. Setelah dilakukannya penyambungan antara semikonduktor jenis p dan n, maka akan terjadi dua perpindahan yaitu perpindahan elektron yang bergerak bebas dari semikonduktor jenis negatif ke arah semikonduktor jenis positif dan pindahanya hole dari semikonduktor jenis positif ke semikonduktor jenis negatif



**Gambar 2.14 Pergerakan elektron dan hole setelah disambung di dalam semikonduktor**

Sumber: Nurhalim,dkk 2017

- c. Setelah terjadi dua perpindahan tersebut, maka akan menyebabkan semikonduktor jenis n lebih bermuatan positif dan semikonduktor jenis p akan lebih bermuatan negatif. Hal tersebut dikarenakan baik kapasitas dari hole maupun elektron menjadi berkurang dengan adanya perpindahan tersebut

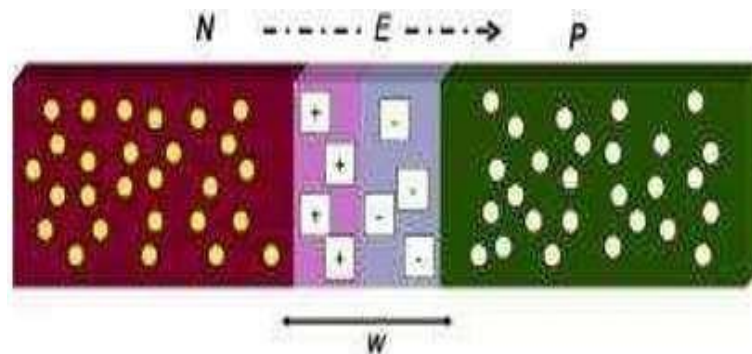


**Gambar 2.15 Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor**

Sumber: Nurhalim,dkk 2017

- d. Setelah terjadinya dua perpindahan antara semikonduktor p dan n, maka terbentuklah daerah penyatuan elektron dan hole yang disebut dengan daerah depresi (depletion region) yang tertera pada gambar diatas dengan simbol huruf W. Dan perpindahan tersebut menyebabkan elektron dan hole disebut sebagai pembawa muatan minoritas akibat keberadaannya yang berbeda di daerah depresi.
- e. Perpindahan dua jenis semikonduktor ini menyebabkan adanya perbedaan antara muatan positif dan negatif di daerah depresi, kemudian perbedaan tersebut akan menimbulkan adanya listrik dari

sisi positif ke sisi negatif. Timbulnya energi listrik ini akan mencoba menarik kembali baik elektron maupun hole ke tempat muatan tersebut berasal. Hal tersebut dikarenakan energi listrik cenderung berlawanan dengan adanya perpindahan yang di di daerah depresi.

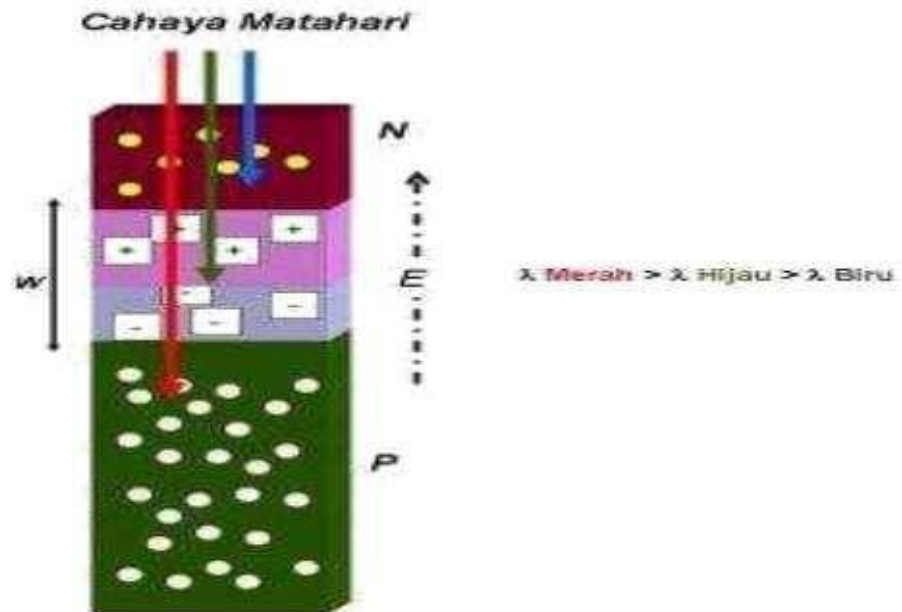


**Gambar 2.16 Timbulnya listrik internal E**

Sumber: Nurhalim,dkk 2017

- f. Timbulnya medan listrik ini akan membuat sambungan p-n menjadi setimbang karena kapasitas hole yang bergerak dari semikonduktor p ke n akan tertarik kembali ke semikonduktor p. Begitu juga dengan kapasitas elektron yang bergerak dari semikonduktor n ke p akan tertarik kembali ke semikonduktor n. Dengan demikian, proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi pada sambungan p-n. Untuk menangkap cahaya matahari, maka posisi semikonduktor jenis n berada di atas lapisan semikonduktor jenis p dan menghadap ke radiasi matahari. Untuk itu, semikonduktor jenis n dibuat jauh lebih tipis dengan tujuan agar radiasi matahari yang tertangkap ke bidang

permukaan photovoltaic dapat diserap yang kemudian masuk menuju daerah depresi dan semikonduktor jenis positif.



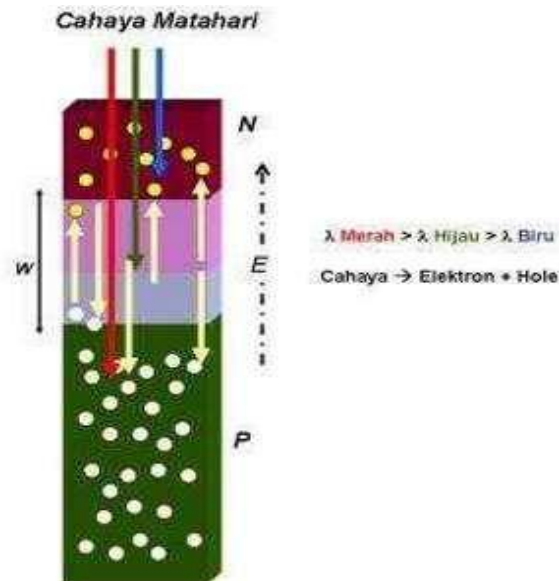
**Gambar 2.17 Posisi sambungan semikonduktor dalam penangkapan cahaya matahari**

Sumber: Nurhalim,dkk 2017

Pada saat hubungan semikonduktor ini menangkap radiasi matahari, maka elektron yang berada pada semikonduktor jenis n ini akan mendapatkan energi dari cahaya matahari. Setelah elektron ini mendapat energi, maka elektron dapat bergerak bebas dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor p. Bergeraknya elektron ini akan menyebabkan hole tertinggal di tempat yang ditinggalkan oleh elektron. Kejadian ini disebut dengan fotogenerasi elektron hole. Fotogenerasi elektron hole ini akan



membentuk pasangan elektron dan hole yang diakibatkan karena terkenanya radiasi matahari.



**Gambar 2.18 Sambungan semikonduktor setelah ditembus cahaya matahari**

Sumber: Nurhalim,dkk 2017

Cahaya matahari yang menembus sambungan semikonduktor ini memiliki spektrum warna dan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “ $\lambda$ ” yang dapat dilihat pada gambar di atas) yang berbeda-beda. Cahaya matahari yang spektrum warnanya merah, maka mempunyai bentuk  $\lambda$  yang lebih panjang, sehingga mampu menembus sampai di daerah semikonduktor p yang akan membentuk fotogenerasi disana. Sedangkan, cahaya matahari yang spektrumnya berwarna biru memiliki panjang gelombang lebih pendek yaitu hanya diserap di semikonduktor n. Adanya perbedaan panjang gelombang ini

akan membuat fotogenerasi pada sambungan p-n menjadi berbeda pula.

## 11. Keuntungan dan Kelebihan Sel Surya

### a. Keuntungan

Sel surya dapat memberikan keuntungan dibandingkan dengan sumber tenaga lainnya, seperti generator diesel, fosil dan lain-lain. Berikut adalah keuntungannya.

- 1) Tidak membutuhkan bahan bakar untuk beroperasi. Hal ini menguntungkan karena tidak menyebabkan gangguan pada lingkungan karena tidak menyebabkan polusi akibat proses pemakaian bahan bakar, dan tidak mengeluarkan suara mesin yang bergerak sehingga tidak mengganggu lingkungan
- 2) Sel surya memiliki ketahanan dan kestabilan yang sudah teruji waktu operasinya cukup lama
- 3) Sel surya dapat dengan mudah di bangun di daerah terpencil dan dapat di pindahkan peletakannya

### b. Kerugian

Di samping memiliki keuntungan sel surya juga memiliki beberapa kerugian yaitu:

- 1) Terlalu bergantung pada matahari, sehingga sangat terpengaruh oleh keadaan cuaca dalam produksi listriknya
- 2) Biaya pembangunannya cukup mahal

- 3) Membutuhkan komponen tambahan untuk mengonversi dan memperbesar output listriknya.

### **Tinjauan Pustaka Pendinginan Solar Cell**

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.

Hasbi (2014), telah melakukan penelitian dengan membandingkan panel fotovoltaik yang berpendingin dengan yang tidak berpendingin, fluida kerja yang di pakai adalah air. Hasil menunjukkan bahwa dengan penggunaan air pendingin di bawah panel dapat meningkatkan efisiensi sel surya hingga 9,551%. Daya maksimum yang diperoleh sebesar 17,368 W, untuk efisiensi maksimum nilai terbesarnya 9,55 %, dengan intensitas matahari sebesar (E) 1010 W/m<sup>2</sup>.

Moharram KA, dkk, (2013), telah melakukan penelitian tentang peningkatan kinerja panel surya pada pendinginan tenaga surya dengan menggunakan air, dengan cara penyemprotan air sesekali pada permukaan panel surya. Sistem pendingin di operasikan selama 5 menit dengan tingkat pendinginan untuk sel surya adalah 2°C/min, dari kenaikan suhu modul dapat menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi terhadap PV secara perlahan, suhu solar cell meningkat mulai dari 10 °C, 35 °C sampai 45 °C dapat mengurangi efisiensi solar cell dari 12 % menjadi 10,5 %.

Halik A (2015), Melakukan penelitian dengan penggunaan media aliran air pendingin bentuk serpentine untuk sel surya dapat menurunkan temperatur

permukaan sel surya dari  $62,6^{\circ}\text{C}$  menjadi  $59^{\circ}\text{C}$  pada debit air pendingin 100 ml/menit, dengan intensitas radiasi matahari sebesar  $952,1\text{ W/m}^2$ , sehingga meningkatkan daya keluaran sel surya dari 25,65 W menjadi 27,00 W, Peningkatan efisiensi ( ) dari sel surya 10,01 % atau meningkat sebesar 2,31% pada saat debit 200 ml/menit. Sedangkan efisiensi pada sel fotovoltaik tanpa menggunakan media pendingin air sebesar 7,70 %. (Joko Suryo Sumbodo,dkk 2018).

#### **Arus hubung singkat (*Short circuit current, I<sub>sc</sub>*)**

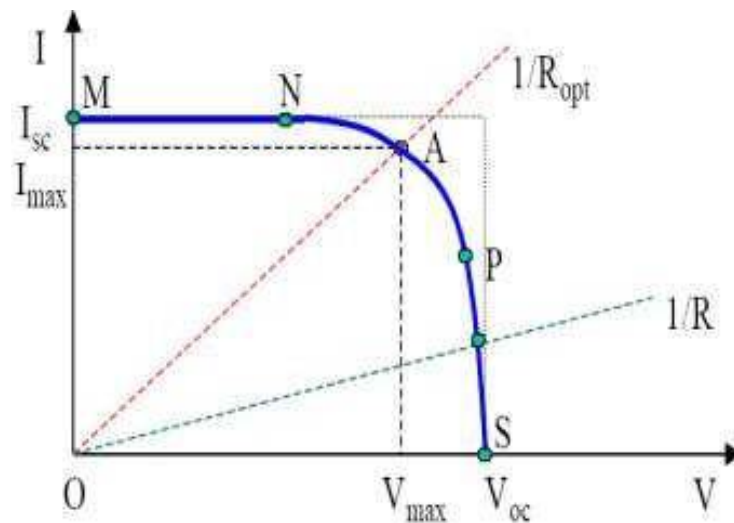
Arus hubung singkat (Short circuit current ( $I_{sc}$ ) adalah arus yang melalui sel surya saat tegangan pada sel surya sama dengan nol ( $V_{oc}=0$ ).

#### **Rangkaian tegangan terbuka (*open circuit voltage, V<sub>oc</sub>*)**

Rangkaian tegangan terbuka (open circuit voltage) adalah tegangan maksimum dari sel surya dan ini terjadi pada saat arus sel surya sama dengan nol ( $I_{sc}=0$ ).

#### **Parameter pada kurva arus (I) dan tegangan (V)**

Satwiko S dkk, (2011), hasil penelitiannya mengungkapkan bahwa kurva karakteristik arus dan tegangan sel surya dapat berubah apabila besaran intensitas cahaya matahari mengenai permukaan modul surya juga berubah, maka semakin besar pula daya dan efisiensi yang di hasilkan. Untuk mengetahui karakteristik arus dan tegangan pada sel surya dengan kondisi beban atau resistensi yang berbeda-beda, maka dapat digunakan suatu kurva diperlihatkan pada Gambar dibawah ini:



**Gambar 2.19 Kurva karakteristik arus dan tegangan**

Sumber: Kurnia M,dkk 2015

Hansen, dkk, (2001), menjelaskan pula bahwa parameter untuk menentukan nilai output pada sel surya meliputi:

1. Arus hubung singkat atau short circuit current ( $I_{sc}$ ) adalah arus keluaran maksimum yang di peroleh dari sel surya pada kondisi tidak ada resistansi ( $R$ ),  $V = 0$
2. Tegangan hubung terbuka atau open circuit voltage ( $V_{oc}$ ) adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus
3. Daya maksimum ( $P_{max}$ ) berada pada titik A ( $V_{max}$ ,  $I_{max}$ ) yang diperlihatkan pada Gambar diatas
4. Faktor pengisian atau Fill Factor (FF) merupakan harga yang mendekati konstanta suatu sel surya tertentu. Jika nilai FF lebih tinggi dari 0.7, maka sel surya tersebut lebih baik.

### Faktor pengisi

Faktor pengisi adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek. Faktor pengisi yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar  $I_{sc} \times V_{oc}$  dari daya maksimum  $V_m \times I_m$  yang dihasilkan sel surya.

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$FF$  = Faktor pengisi

$V_m$  = Tegangan maksimum (Volt)

$I_m$  = Arus maksimum (Ampere)

$V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat (Ampere)

#### 1. Daya Maksimum

Daya maksimum ( $P_m$ ) diperoleh dari perkalian antara arus dan tegangan, pada setiap titik A kurva I-V pada Gambar diatas. Secara grafik daya maksimum pada sel surya berada pada puncak yang memiliki luas terbesar. Titik puncak tersebut dapat disebut maximum power point (MPP). Daya maksimum dari sel surya dapat dihitung dengan Persamaan:

$$P_m = V_m \cdot I_m \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

$P_m$  = Daya maksimum keluaran (W)

$V_m$  = Tegangan maksimum (Volt)

$I_m$  = Arus maksimum (Ampere)

## 2. Daya masuk

Daya masuk ( $P_{in}$ ) diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area sel surya menggunakan Persamaan:

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

$P_{in}$  = Daya input akibat radiasi matahari (W)

$I_r$  = Intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ )

$A$  = Luas area permukaan sel surya ( $m^2$ )

## 3. Daya keluaran

Daya keluaran ( $P_{out}$ ) pada sel surya yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dengan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan Persamaan:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

$P_{out}$  = Daya keluaran (W)

$V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat (Ampere)

FF = Faktor pengisi

## 4. Efisiensi Sel Surya

Efisiensi sel surya ( $\eta$ ) adalah perbandingan daya keluaran dengan daya intensitas matahari dapat dihitung dengan Persamaan.

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi sel surya (%)

$P_{in}$  = Daya intensitas matahari (Watt)

$P_{max}$  = Daya maksimum keluaran (Watt). (Titi Ratnasari, dkk 2016)





## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **Pendekatan Penelitian**

Pada penelitian ini, akan dilakukan Analisis Pengaruh Pendinginan Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Keluaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Matahari. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja terhadap daya Keluaran pada PLTS dan efesiansinya.

#### **Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan dilingkngan kompleks perumahan pegawai PT PLN (Persero) ULP Perdagangan UP3 Pematang siantar UIW Sumatera Utara mulai tanggal 24 Juni 2020 sampai dengan tanggal 24 Agustus 2019.

#### **Metode Penelitian**

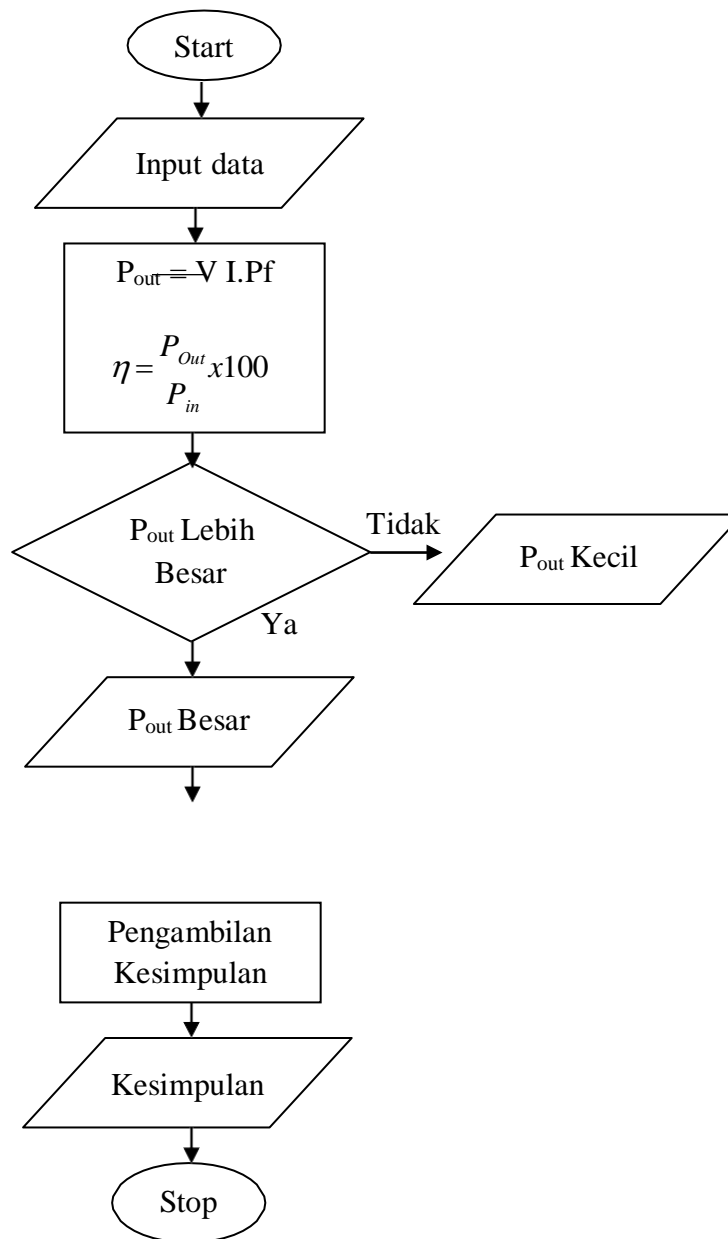
Metode yang di lakukan dalam penelitian di mulai dengan:

1. Studi Literatur, yaitu dengan cara mengkaji dan menelaah teori-teori yang mendukung dalam pemecahan masalah yang diteliti. Teori-teori ini dapat bersumber dari jurnal ilmiah, hasil penelitian sebelumnya serta dari buku-buku yang mendukung dari penelitian ini. Selain itu, studi literatur juga dilakukan untuk mendapatkan data-data dari penelitian sebelumnya yang bisa dijadikan acuan

2. Pengujian dan observasi, yaitu dengan cara mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk penelitian yang didapat dari lapangan dengan melakukan pengujian
3. Diskusi, yaitu dengan melakukan konsultasi dan bimbingan dengan dosen, pembimbing lapangan dan pihak-pihak lain yang dapat membantu terlaksananya penelitian ini
4. Menempatkan variabel pengumpulan data meliputi intensitas cahaya matahari (E), arus pada panel surya (I), tegangan pada panel surya (V), suhu permukaan panel surya ( $T_p$ ), dan suhu udara ( $T_u$ ).

### **Analisa Data**

Setelah data berhasil dikumpulkan, penulis membuat sebuah tahapan penelitian yang digunakan sebagai alur penelitian, adapun tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat dari *flowchart* penelitian berikut:

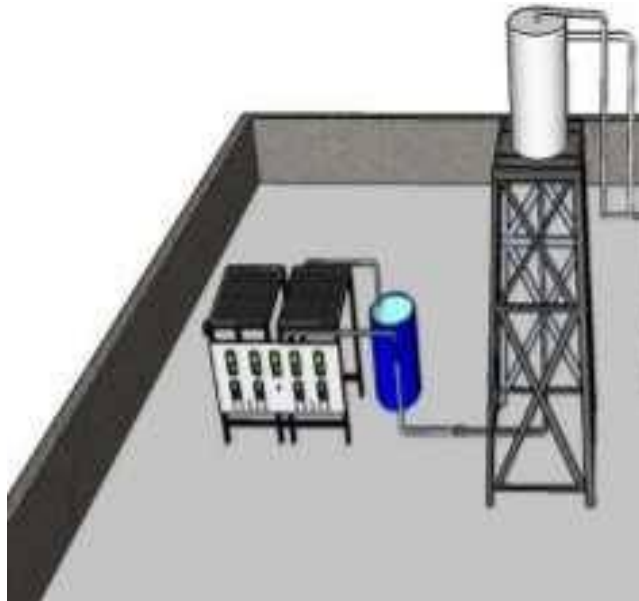


**Gambar 3.1 Flowchart Penelitian**

Sumber: Penulis,2020

### **Prosedur Penelitian**

1. Memasang instrumen alat ukur pada instalasi pengujian seperti termokopel untuk mengukur suhu, solar power meter mengukur intensitas cahaya matahari dan multimeter untuk mengukur voltase dan arus listrik
2. Menempatkan sel surya pada lokasi yang telah ditentukan (arah matahari).
3. Mengukur intensitas matahari, arus dan tegangan
4. Setelah data pengukuran cukup dan benar, maka pompa dan semua alat ukur di non aktifkan.



**Gambar 3.2 Skema yang akan dirancang**  
Sumber: Penulis,2020

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISA

#### Hasil Perhitungan

#### Data Hasil Pengujian Panel Surya

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran terhadap perubahan waktu dan kondisi perubahan nilai temperatur yang ada pada permukaan panel surya tipe *Poly-crystalline* yang berkapasitas 100 WP berdasarkan referensi yang ada pada Tabel 1. Adapun nilai yang diketahui sebagai berikut:

$$\eta_{T_{ref}} = 0,11$$

$$\beta_{T_{ref}} = 0,004$$

$$T_{ref} = 25$$

#### Pengujian Tanpa Pendingin

Pada pengujian ini menggunakan sebuah panel surya tipe *Poly-crystalline* berkapasitas 100 WP yang dilakukan selama 1 hari dengan pengambilan data pada jam 10.00, 13.00, dan 15.30. Setiap perubahan waktu dengan kondisi cuaca tertentu dilakukan pengamatan terhadap temperatur udara, temperatur permukaan panel, arus dan tegangan. Adapun proses pengambilan data yang telah dilakukan ditunjukkan pada Gambar dibawah ini:



**Gambar 4.1 Pengukuran Temperatur Panel Surya Tanpa Pendingin**  
Penulis,2020

Selanjutnya hasil pengukuran dinyatakan pada Tabel berikut:

**Tabel 4.1 Data hasil pengukuran Tanpa Pendingin**

Waktu (jam)	Temperatur permukaan Panel (°C)	Panel Surya	
		Tegangan (V)	Arus (A)
10.00	63	17,18	1,78
13.00	64,4	16,83	1,74
15.30	38,9	11,97	1,56

Sumber: Penulis,2020

Kemudian dilakukan perhitungan nilai efisiensi untuk setiap waktu pengamatan pada panel surya dengan cara sebagai beriku:

**1. Jam 10.00 Wib**

$$\begin{aligned}
 \eta_1 &= \eta_{T_{ref}} [1 - \beta_{ref} (T_{c1} - T_{ref})] \times 100 \% \\
 &= 0,11 [1 - 0,004(63 - 25)] \times 100 \% \\
 &= 0,11 [1 - 0,004(38)] \times 100 \% \\
 &= 0,11 [1 - 0,152] \times 100 \% \\
 &= 0,11 [0,848] \times 100 \% \\
 &= 0,0932 \times 100 \% \\
 &= 9,32 \%
 \end{aligned}$$

**2. Jam 13.00 Wib**

$$\begin{aligned}
 \eta_2 &= \eta_{T_{ref}} [1 - \beta_{T_{ref}} (T_{c2} - T_{ref})] \times 100\% \\
 &= 0,11 [1 - 0,004(64,4 - 25)] \times 100 \% \\
 &= 0,11 [1 - 0,004(39,4)] \times 100 \% \\
 &= 0,11 [1 - 0,1576] \times 100 \% \\
 &= 0,11 [0,8424] \times 100 \% \\
 &= 0,0926 \times 100 \% \\
 &= 9,26 \%
 \end{aligned}$$

**3. Jam 15.30 Wib**

$$\begin{aligned}
 \eta_3 &= \eta_{T_{ref}} [1 - \beta_{ref} (T_{c3} - T_{ref})] \times 100 \% \\
 &= 0,11 [1 - 0,004(38,9 - 25)] \times 100 \%
 \end{aligned}$$



$$= 0,11 [1-0,004(13,9)] \times 100 \%$$

$$= 0,11 [1-0,0556] \times 100 \%$$

$$= 0,11 [0,944] \times 100 \%$$

$$= 0,1038 \times 100 \%$$

$$= 10,38 \%$$

### **Pengujian Menggunakan Pendingin**

Pada pengujian ini menggunakan sebuah panel surya tipe *Poly-crystalline* berkapasitas 100 WP yang dilakukan dengan menambahkan pendingin pada permukaan belakang panel surya memakai pipa aluminium dengan panjang 1 meter sebanyak 16 buah yang dilakukan selama 1 hari dengan pengambilan data pada jam 10.00, 13.00, dan 15.30. Setiap perubahan waktu dengan kondisi cuaca tertentu dilakukan pengamatan terhadap temperatur udara, temperatur permukaan panel, arus dan tegangan. Adapun proses pengambilan data yang telah dilakukan ditunjukkan pada Gambar berikut:



**Gambar 4.2 Pengukuran Panel Surya Menggunakan Pendingin**  
Sumber: Penulis,2020

Selanjutnya hasil pengukuran tersebut dinyatakan pada Tabel dibawah ini:

**Tabel 4.2 Data hasil pengukuran Menggunakan Pendingin**

Waktu (jam)	Temperatur permukaan Panel (°C)	Panel Surya	
		Tegangan (V)	Arus (A)
10.00	39,2	18,3	1,92
13.00	36,5	20,8	2,13
15.30	26,3	18,79	2

Sumber: Penulis,2020

Kemudian dilakukan perhitungan nilai efisiensi untuk setiap waktu pengamatan pada panel surya dengan cara sebagai berikut:

**1. Jam 10.00 Wib**

$$\begin{aligned}
 \eta_1 &= \eta_{T_{ref}} [1 - \beta_{ref} (T_{c_1} - T_{ref})] \times 100\% \\
 &= 0,11 [1 - 0,004(39,2 - 25)] \times 100 \% \\
 &= 0,11 [1 - 0,004(14,2)] \times 100 \% \\
 &= 0,11[1 - 0,0568] \times 100 \% \\
 &= 0,11[0,9432] \times 100 \% \\
 &= 0,1037 \times 100 \% \\
 &= 10,37 \%
 \end{aligned}$$

**2. Jam 13.00 Wib**

$$\begin{aligned}
 \eta_2 &= \eta_{T_{ref}} [1 - \beta_{ref} (T_{c_2} - T_{ref})] \times 100\% \\
 &= 0,11[1 - 0,004(36,5)] \times 100\% \\
 &= 0,11[1 - 0,004(11,5)] \times 100\% \\
 &= 0,11[1 - 0,046] \times 100\% \\
 &= 0,11[0,954] \times 100\% \\
 &= 0,1049 \times 100\% \\
 &= 10,49\%
 \end{aligned}$$

**3. Jam 15.30 Wib**

$$\begin{aligned}
 \eta_3 &= \eta_{T_{ref}} [1 - \beta_{ref} ] \times 100\% \\
 &= 0,11 [1 - 0,004(26,3 - 25)] \times 100\% \\
 &= 0,11 [1 - 0,004(1,3)] \times 100\% \\
 &= 0,11 [1 - 0,0052] \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 0,11 [0,9948] \times 100\%$$

$$= 0,1094 \times 100\%$$

$$= 10,94\%$$

Pada pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh pengaruh temperatur terhadap nilai efisiensi pada panel surya, Diperoleh hasil yang berbeda pada saat panel surya dalam keadaan tanpa pendingin dan dengan pendingin. Adapun hasil penelitian ditunjukkan pada Tabelberikut:

**Tabel 2.3 Hasil perhitungan Nilai Efisiensi**

Pengamatan	Jam 10.00		Jam 13.00		Jam 15.30	
	Suhu Panel ( <sup>0</sup> C)	$\eta_1$ (%)	Suhu Panel ( <sup>0</sup> C)	$\eta_1$ (%)	Suhu Panel ( <sup>0</sup> C)	$\eta_1$ (%)
Tanpa Pendingin	63	9,32	64,4	9,26	38,9	10,38
Dengan Pendingin	39,2	10,4	36,5	10,49	26,3	10,94

Sumber: Penulis,2020

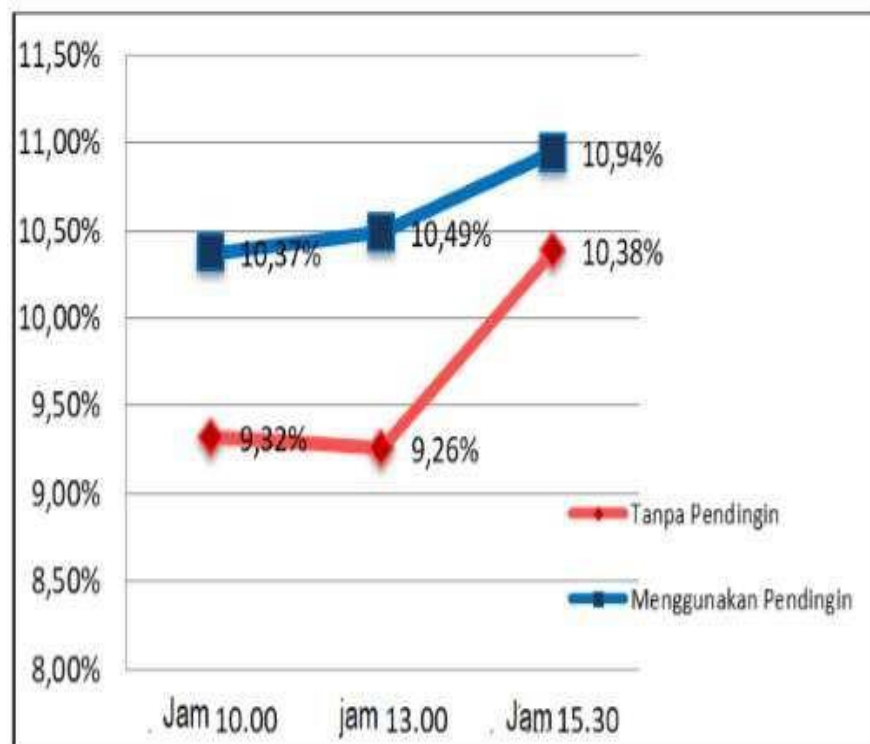
## **Analisa Data Penelitian**

### **Pengujian Tanpa Pendingin**

Sebelum mengetahui nilai efisiensi dari panel surya, kita harus mengetahui terlebih dahulu nilai suhu pada permukaan panel tanpa menggunakan pendingin dan juga suhu pada udara sekitar. Setelah ditunggu beberapa lama, kemudian ukur nilai tegangan serta arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya. kemudian dilakukan perhitungan nilai efisiensi pada panel surya. Nilai efisiensi pada panel surya yang telah diperoleh dengan cara perhitungan menggunakan hasil pengukuran temperatur permukaan panel.

### **Pengujian Menggunakan Pendingin**

Sebelum mengetahui nilai efisiensi dari panel surya, terlebih dahulu harus diketahui nilai suhu pada permukaan panel yang telah dipasang pipa pendingin pada bagian permukaan belakang dan juga suhu pada udara sekitar. Setelah ditunggu beberapa lama, kemudian diukur nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Nilai efisiensi pada panel surya yang telah diperoleh dengan cara perhitungan menggunakan hasil pengukuran temperatur permukaan panel. Adapun grafik yang dihasilkan dari perbandingan nilai efisiensi pada panel surya dengan dan tanpa pendingin ditunjukkan pada Gambar berikut:



**Gambar 4.3 Grafik perbandingan Nilai Efisiensi panel surya dengan dan tanpa pendingin**

Sumber: Penulis,2020

Dari grafik di atas, terlihat bahwa pada saat pengujian panel surya menggunakan pendingin menghasilkan nilai efisiensi yang lebih besar daripada pada saat pengujian panel surya tanpa pendingin, nilai tegangan dan arus yang dihasilkan pada saat menggunakan pendingin lebih besar dibandingkan sebelum menggunakan pendingin. Pada saat pengujian panel surya sebelum menggunakan pendingin, nilai efisiensi yang dihasilkan pada pukul 10.00 sebesar 9,32% dengan suhu panel 63 °C. Sedangkan setelah menggunakan pendingin, nilai efisiensi mengalami kenaikan menjadi 10,37% dan suhu pada panel mengalami penurunan menjadi 39,2°C.

Kemudian pada saat pengujian panel surya sebelum menggunakan pendingin, nilai efisiensi yang dihasilkan pada pukul 13.00 sebesar 9,26% dengan suhu panel 64,4 °C. Sedangkan setelah menggunakan pendingin, nilai efisiensi mengalami kenaikan menjadi 10,49% dan suhu pada panel mengalami penurunan menjadi 36,5 °C. Selanjutnya pada saat pengujian panel surya sebelum menggunakan pendingin, nilai efisiensi yang dihasilkan pada pukul 15.30 sebesar 10,38% dengan suhu panel 38,9°C. Sedangkan setelah menggunakan pendingin, nilai efisiensi mengalami kenaikan menjadi 10,94% dan suhu pada panel mengalami penurunan menjadi 26,3 °C.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pada pengujian panel surya tanpa menggunakan pendingin memakai panel surya 100 WP menghasilkan nilai efisiensi sebesar 9,32%, 9,26%, dan 10,38% yang masing-masing datanya diambil pada jam 10.00, 13.00, dan 15.30 Wib
2. Pada pengujian panel surya yang menggunakan pendingin memakai panel surya 100 WP menghasilkan nilai efisiensi sebesar 10,37%, 10,49%, dan 10,94% yang masing-masing datanya diambil pada jam 10.00, 13.00, dan 15.30 Wib
3. Untuk sel surya berpendingin dapat menghasilkan daya dan efisiensi lebih besar bila dibandingkan dengan sel surya tanpa berpendingin.
4. Semakin besar debit air pendingin yang mengalir pada bagian bawah sel surya, maka daya dan efisiensi yang dihasilkan lebih besar.
5. Dapat dijelaskan, nilai efisiensi yang dihasilkan panel surya akan meningkat tidak hanya bergantung pada saat panel surya menggunakan pipa pendingin pada permukaan belakangnya. Namun, nilai efisiensi yang



dihasilkan juga berpengaruh terhadap kondisi lingkungan sekitar yaitu intensitas matahari yang diterima pada panel surya

### **Saran**

Untuk pengembangan lebih lanjut dari Sekerripsi ini diberikan saran-saranebagai berikut:

1. Pengukuran intensitas cahaya matahari, temperatur, arus dan tegangan sebaiknya menggunakan *akuisisi data* atau *data logger* untuk mendapatkan karakteristik sel surya terhadap perubahan waktu
2. Sebaiknya melakukan perhitungan dan analisis kesetimbangan kalor pada sel surya.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. A. Ngurah Bagus Budi Nathawibawa, dkk 2017 *Teknologi Elektro*, Vol. 16, No. 1, Januari-April 2017 p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372
- Abdul Kodir Al Bahar, dkk 2018 *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna* Vol. 6 No.3 Juni 2018 ISSN : 2302-4712
- Abdul Majid, dkk 2018 *Jurnal Surya Energy* Vol. 2 No. 2, Maret 2018 ISSN : 2528- 7400 e-ISSN : 2615-871X
- Anwar Ilmar Ramadhan, dkk 2016 *Teknik*, 37 (2), 2016, 60 Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP Copyright © 2016, *TEKNIK*, p-ISSN 0852-1697, e-ISSN: 2460-9919
- 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.
- Batubara, Supina. "Analisis perbandingan metode fuzzy mamdani dan fuzzy sugeno untuk penentuan kualitas cor beton instan." *IT Journal Research and Development* 2.1 (2017): 1-11.
- Dafi Dzulfikar, dkk 2016 *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016 VOLUME V, OKTOBER 2016* p-ISSN: 2339-0654 e-ISSN: 2476-9398
- Fitriani, W., Rahim, R., Oktaviana, B., & Siahaan, A. P. U. (2017). Vernam Encrypted Text in End of File Hiding Steganography Technique. *Int. J. Recent Trends Eng. Res*, 3(7), 214-219.
- 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).
- Hariyanto, E., Lubis, S. A., & Sitorus, Z. (2017). Perancangan prototipe helm pengukur kualitas udara. *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer)*, 1(1).
- Hartono BS, dkk 2017 *Jurnal Teknologi Elektro*, Universitas Mercu Buana Vol. 8 No. 3 September 2017 ISSN: 2086-9479
- Iqbal, M., Siahaan, A. P. U., Purba, N. E., & Purwanto, D. (2017). Prim's Algorithm for Optimizing Fiber Optic Trajectory Planning. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol*, 3(6), 504-509.

- Joko Suryo Sumbodo, dkk 2018 e-Proceeding of Engineering : Vol.5, No.3 Desember 2018  
| Page 3895 ISSN : 2355-9365
- Kurnia M, dkk 2015 Jurnal Teknik Pomits Vol. 2, No. 1, (2015) ISSN: 2337- 3539 (2301-9271 Print)
- Muhammad Rizal Fachri, dkk 2017 Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro Vol.1, No.1, Februari 2017, hal. 1-8 ISSN: 2549-3698 (printed)/ 2549-3701 (online)
- Muttaqin, Muhammad. "Analisa Pemanfaatan Sistem Informasi E-Office Pada Universitas Pembangunan Panca Budi Medan Dengan Menggunakan Metode Utaut." Jurnal Teknik dan Informatika 5.1 (2018): 40-43.
- Nurhalim, dkk 2017 Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017) ISBN 978-602-6204-24-0 Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, 18 Oktober 2017
- Rahim, R., Aryza, S., Wibowo, P., Harahap, A. K. Z., Suleman, A. R., Sihombing, E. E., ... & Agustina, I. (2018). Prototype File Transfer Protocol Application For LAN And Wi-Fi Communication. *Int. J. Eng. Technol.*, 7(2.13), 345-347.
- Rahmaniar, R. (2019). Model flash-nr Pada Analisis Sistem Tenaga Listrik (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Padang).
- Rifaldo Pido, dkk 2018 Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi Teknologi Volume 19 NO. 1 OKTOBER 2018
- Roihan Abdullah, dkk 2018 JETri, Vol. 16, No. 1, Agustus 2018, Hlm. 1 - 16, P-ISSN 1412-0372, E-ISSN 2541-089X
- Rossanty, Y., Aryza, S., Nasution, M. D. T. P., & Siahaan, A. P. U. (2018). Design Service Of QFC And SPC Methods In The Process Performance Potential Gain And Customers Value In A Company. *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, 9(6), 820-829.
- Safrizal, 2017 Jurnal Disprotek Volume 8 Nomor 2 Juli 2017 ISSN. 2088-6500 e- ISSN. 2548-4168
- Sandro Putra, dkk 2016 Seminar Nasional Cendekiawan 2016 ISSN (E) : 2540-7589 ISSN (P) : 2460-8696
- Siagian, P., & Fahreza, F. (2020, February). Rekayasa Penanggulangan Fluktuasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vehicle To Grid (V2G). In *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS)* (Vol. 1, No. 1, Pp. 356-361).
- Siagian, P., Syafruddin, H. S., & Tharo, Z. (2020, September). Pengaruh Tekanan Terhadap Inception Partial Discharge Pada Bahan Dielektrik Komposit Dan Non-Komposit. In *Seminar Nasional Teknik (Semnastek) Uisu* (Vol. 3, No. 1, Pp. 134-141).
- Siahaan, A. P. U., Ikhwan, A., & Aryza, S. (2018). A Novelty Of Data Mining For Promoting Education Based On FP-Growth Algorithm

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.

Titi Ratnasari,dkk 2016 Sainstech Vol. 26 No. 2, Juli 2016 e-ISSN : 2685 – 824X p-ISSN : 1410 - 7104

Wibowo, P., Lubis, S. A., & Hamdani, Z. T. (2017). Smart Home Security System Design Sensor Based On Pir And Microcontroller. International Journal Of Global Sustainability, 1(1), 67-73.