

TUGAS AKHIR

EFISIENSI OUTPUT PANEL SURYA TERHADAP PERUBAHAN TEMPERATUR MENGGUNAKAN SIMULASI CAHAYA LAMPU SEBAGAI SUMBER CAHAYA PENGGANTI MATAHARI

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat
Memproleh Gelar Sarjana Teknik (ST)*

Disusun Oleh:

ALAUDIN RIYADSYAH HASIBUAN
NPM : 1407220054



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA MEDAN
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

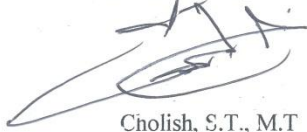
Nama : Alaudin Riyadsyah Hasibuan
NPM : 1407220054
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Efisiensi Output Panel Surya Terhadap Perubahan Temperatur Menggunakan Simulasi Cahaya Lampu Sebagai Sumber Cahaya Pengganti Matahari

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, 21 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Cholish, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II / Peguji



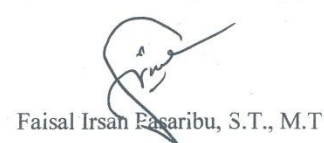
Partaon Harahap, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji

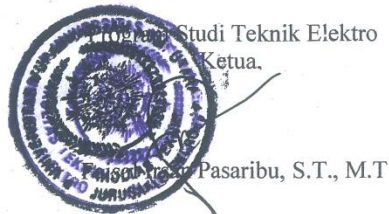


Zuifkar, ST., MT

Dosen Pembanding II / Penguji



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



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Alaudin Riyadsyah Hasibuan
Tempat /Tanggal Lahir : Medan 26-September-1996
NPM : 1407220054
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“EFISIENSI OUTPUT PANEL SURYA TERHADAP PERUBAHAN TEMPERATUR MENGGUNAKAN SIMULASI CAHAYA LAMPU SEBAGAI SUMBER CAHAYA PENGGANTI MATAHARI”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Maret 2019

Saya yang menyatakan,

Alaudin Riyadsyah Hsb



ABSTRAK

Sel Surya bekerja dengan memanfaatkan kandungan energi cahaya matahari dalam bentuk foton menjadi energi listrik melalui sel-sel surya yang terbuat dari semikonduktor. Pada penggunaan sel surya di lingkungan nyata, tidak jarang ada hambatan dalam proses pengoperasian sel surya, seperti terjadinya perubahan temperatur yang mempengaruhi efisiensi sel surya. Para peneliti sering melakukan pemodelan cahaya matahari untuk eksperimental dengan menggunakan lampu sebagai sumber utama cahaya. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran daya keluaran yang dihasilkan sel surya menggunakan simulasi cahaya lampu, dimana cahaya lampu sebagai sumber pengganti matahari. Lampu yang digunakan ialah 2 buah lampu pijar 40 watt yang tersambung langsung dari sumber listrik AC 220V . Besar temperatur yang dihasilkan lampu pijar pada penelitian ini dimulai pada suhu 31⁰C sampai dengan 40⁰C. Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap efisiensi output panel surya disetiap perubahan suhu yang terjadi pada permukaan sel surya.

Kata kunci : Sel surya, efisiensi, pengaruh temperatur, Lampu pijar

ABSTRACT

Solar cells work by utilizing the energy content of sunlight in the form of photons into electrical energy through cells made of semiconductors. On the use of solar cells in the real environment, not infrequently there are obstacles in the process of operating solar cells, such as changes in temperature that affect the efficiency of solar panels. Researchers often do modeling sunlight as an experimental material using lights as the main source of light. In this study measurements of the output power produced by solar cells using a simulation of light, where the light as a source of light to replace sunlight. The lamp used is two 40 watts incandescent lamps that are connected directly to the AC volt source 220 V. The temperature produced by incandescent lamps in this study began at the temperatures 310 C to 400 C. The purpose of this study was to determine the effect of the temperature on the efficiency of solar panel output at any temperature change that occurs on the surface of solar cells.

Keyword : Solar Cells, Efficiency, Influence of Temperature, Incandescent Lamps

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Temperatur Terhadap Efisiensi Panel Surya Dengan Menggunakan Simulasi Cahaya Lampu Sebagai Sumber Pengganti Matahari” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Cholish, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Partaonan Harahap, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Zulfikar, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Paisal Irsan Pasaribu, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis ,sekaligus Ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keelektronan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Mahyuddin dan Ummiyati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Suhardi Istiawan, M.Nur, Abdul Ghani dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil/Mesin/Elektro.

Medan, 21 Maret 2019

Alaudin Riyadsyah Hasibuan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Tujuan Penulisan	3
1.4. Batasan masalah	3
1.5. Manfaat Penulisan	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2. Panel Surya	8
2.2.1. Semikonduktor dan Sel Surya	10
2.2.2. Proses Konversi Solar Cell	11
2.2.3. Prinsip Kerja dan Rangkaian Kontrol Panel Surya	17
2.2.4. Jenis-Jenis Panel Surya	19
2.3. <i>Solar Charge Controller</i>	22
2.4. Aki (Baterai)	24
2.4.1 Jenis –Jenis Baterai	25
2.4.2 Kapasitas Baterai	26
2.5. Inverter	27
2.5.1 Jenis-Jenis Inverter berdasarkan gelombang yang dihasilkan	30
2.5.1.1 Square Wave	30
2.5.1.2 Modified Sine Wave	31
2.5.1.3 Pure Sine Wave	32
2.6 Termometer	32
2.7 Lampu Pijar	34
2.7.1 Prinsip Kerja Lampu Pijar	35
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1 Waktu dan Tempat	36

3.2	Alat dan Bahan Penelitian	36
3.2.1	Peralatan Penelitian	36
3.2.2	Bahan-Bahan Penelitian	37
3.3	Prosedur Penelitian	38
3.4	Diagram Alur Penelitian	40
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Efisiensi	42
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1.	Kesimpulan	51
5.2.	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA		53

DAFTAR TABEL

Tabel	HALAMAN
3.1 Spesifikasi panel surya	38
4.1 Data Bahan Penelitian	41
4.2 Pengujian Panel Sel Surya Dengan Jenis Polycrystalline Merek SURYA 20 WP	42
4.3 Hasil perhitungan Daya Output dan Efisiensi	48

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN	
2.1	Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung	12
2.2	Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor	12
2.3	Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor	13
2.4	Timbulnya Medan Listrik Internal E	14
2.5	Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari	15
2.6	Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari	15
2.7	Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihubungkan ke Lampu	16
2.8	Rangkaian Kontrol Panel Surya	19
2.9	Panel Surya Monokristal	20
2.10	Panel Surya Polikristal	21
2.11	Panel Surya Thin Film Photovoltaic	21
2.12	Solar Charge Controller	22
2.13	Aki (Baterai)	24
2.14	Inverter	28
2.15	Prinsip Dasar Inverter	29
2.16	Rangkaian Inverter	30
2.17	Bentuk Gelombang Square Wave	31
2.18	Bentuk Gelombang Modified Sine Wave	31
2.19	Bentuk Gelombang Pure sine Wave	32
2.20	Thermometer Digital	33
3.1	Panel Surya Jenis Poly crystalline	37
3.2	Blok diagram penelitian	38
3.2	Diagram Alur Penelitian	40
4.1	Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Tegangan Output	

	Panel Surya	43
4.2	Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Daya Output Panel Surya	48
4.3	Grafik Pengaruh Kenaikan Temperatur Terhadap Efisiensi Sel Surya	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi dalam memanfaatkan energi terbarukan sangat berkembang pesat saat ini. Salah satu sumber energi yang dimanfaatkan sebagai energi terbarukan ialah matahari. Teknologi pemanfaatan energi matahari ini berupa sel *photovoltaic* yang mengkonversikan energi cahaya langsung menjadi listrik DC yang dirancang menjadi sebuah panel surya. Panel surya terdiri dari susunan sel-sel surya terbuat dari bahan yang mampu menyerap energi foton dari radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Energi panas dari radiasi matahari juga ikut terserap sehingga menaikkan temperatur sel-sel surya. Penggunaan teknologi ini juga masih sangat terjangkau dari kalangan individu ataupun usaha-usaha kecil guna untuk menghasilkan energi listrik hemat biaya dan mandiri (Indra Bahadur, 2015).

Simulasi cahaya lampu menjadi salah satu alternatif dalam mengembangkan kemajuan teknologi sel surya. Penggunaan aplikasi simulasi cahaya lampu pada umumnya sebagai pengkayasa energi matahari menggunakan cahaya lampu sebagai pengganti matahari. Terlepas dari desain dan bahan aktif, sel *photovoltaic* semuanya berada pada kondisi pengujian standar yang sama. Sel-sel biasanya terisolasi pada kepadatan konstan sekitar 1000 W/m^2 , yang didefinisikan sebagai nilai

standar dari satu matahari, dengan spektrum yang konsisten pada nilai global massa udara 1,5 AM dan suhu sekitar 25⁰C (A.Georgescu, G.Damache & M.A Girtu, 2008).

Pengoperasian panel surya yang memanfaatkan energi bersumber dari matahari tidak jarang mengalami gangguan, seperti ketidakstabilan kondisi alam menjadi salah satu permasalahan yang sering di hadapi dalam proses pengoperasian panel surya. Lingkungan yang selalu senantiasa berubah seperti intensitas radiasi matahari yang fluktuatif ,cuaca yang terkadang mendung dan curah hujan yang tinggi terkadang menghambat kinerja dari sel surya. Temperatur lingkungan sekitar panel surya memiliki kontribusi dalam perubahan temperatur pada sel-sel surya. Akibat kenaikan temperatur, maka daya listrik yang diproduksi oleh panel surya menjadi berkurang dan ini menyebabkan ketidakstabilan daya yang akan dihasilkan oleh panel surya tersebut.(Kho Hie Khwee 2013).

Guna untuk mengantisipasi masalah lingkungan yang tidak stabil demi memenuhi kebutuhan sumber utama yang diperlukan oleh panel surya, pada saat darurat atau terjadi gangguan yang menghambat kinerja panel surya, maka simulasi cahaya lampu ini menjadi cara yang efektif untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan cara meniru radiasi matahari untuk memberikan pencahayaan pada sel surya menggunakan lampu, yang mana seperti kita ketahui lampu dapat menghasilkan cahaya dan radiasi seperti halnya matahari.

Untuk menguji cahaya lampu ini dapat bekerja menghasilkan daya output, maka dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai “Efisiensi Output

Panel Surya Terhadap Perubahan Temperatur Menggunakan Simulasi Cahaya Lampu Sebagai Sumber Cahaya Pengganti Matahari”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh temperatur terhadap daya output panel surya.
2. Bagaimana arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya disetiap perubahan temperatur yang dihasilkan oleh lampu.

1.3 Tujuan Penulisan

Maksud dari tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh temperatur terhadap daya output panel surya.
2. Menganalisis besar arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya disetiap perubahan temperatur lampu.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan Tugas Akhir ini terfokus pada pembahasan judul yang telah disebutkan diatas, maka penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas. Adapun batasan masalahnya adalah :

1. Pembahasan hanya menganalisis pengaruh temperatur terhadap daya output panel surya.
2. Menganalisis pengaruh perubahan temperatur terhadap besar arus dan tegangan yang dihasilkan.
3. Penelitian ini hanya dilakukan dirumah sendiri

1.5 Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui bagaimana menganalisis pengaruh temperatur terhadap daya output panel surya
2. Dapat mengetahui besar arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya disetiap perubahan dari temperatur lampu.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari lima Bab. Untuk memberikan gambaran penulisan skripsi ini, secara singkat diuraikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penyusunan skripsi, jurnal, rumusan masalah, batasan masalah dan manfaat penulisan metodologi penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan konsep teori yang menunjang kasus skripsi, memuat tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang akan diteliti yaitu Menganalisis pengaruh temperatur terhadap efisiensi panel surya dengan menggunakan simulasi cahaya lampu sebagai sumber pengganti matahari.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini meliputi langkah-langkah jenis penelitian, jadwal penelitian, alat dan serta jalannya penelitian.

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai analisis pengaruh temperatur dan intensitas cahaya lampu terhadap efisiensi panel surya.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat tentang kesimpulan dari seluruh hasil penelitian analisis pengaruh temperatur terhadap efisiensi panel surya dengan menggunakan simulasi cahaya lampu sebagai sumber pengganti matahari dan juga saran – saran yang berhubungan dengan pengaruh temperatur terhadap efisiensi panel surya dengan menggunakan simulasi cahaya lampu sebagai sumber pengganti matahari.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Simulasi cahaya lampu menjadi salah satu alternatif dalam memanfaatkan sumber cahaya dengan menawarkan intensitas dan komposisi spektral yang sama dengan sinar matahari alami. Alat ini biasanya banyak digunakan sebagai fasilitas pengujian pada laboratorium sel surya serta perangkat lain yang sensitif terhadap sinar matahari. Untuk mengupayakan energi yang tidak terbatas dan ramah lingkungan, simulasi ini dapat digunakan sebagai penghasil energi listrik seperti pada panel surya umumnya, hanya saja perbedaan simulasi ini adalah dengan memanfaatkan sumber cahaya dari lampu sebagai pengganti cahaya matahari. Namun pada pengaplikasiannya tentu ada perbedaan antara sumber cahaya matahari alami dengan cahaya buatan baik dalam intensitas dan komposisi spektralnya (Wujun Wang, 2014).

Karakteristik Sel Surya salah satunya mengubah cahaya yang mengenai permukaan sel surya, pada saat cahaya mengenai permukaan sel surya, beberapa foton dari cahaya tersebut diserap oleh atom semikonduktor untuk membebaskan elektron dari ikatan atomnya sehingga menjadi elektron yang bergerak bebas. Adanya perpindahan elektron-elektron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik. Tegangan yang dihasilkan dari sel surya bergantung pada penyinaran matahari. Total pengeluaran listrik (*Watt*) dari sel surya adalah sama dengan tegangan (*V*) operasi dikali dengan arus (*I*) operasi. Sel surya tersusun dari dua

lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negative sedangkan lapisan bawahnya bermuatan positif. Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya (Asrul, Reyhan & Rustan Hatib).

Temperatur udara pada permukaan sel surya menjadi sorotan utama penelitian yang mempengaruhi kinerja sel surya, dimana kenaikan temperatur udara akan menurunkan kinerja dari sel surya tersebut. Temperatur sel surya yang mengalami kenaikan temperatur akan menurunkan tegangan output. Apabila daya keluarannya turun maka dengan sendirinya efisiensinya juga akan turun. Untuk daerah tropis yang dekat dengan garis ekuator, sudut arah sel surya diperhitungkan akan bekerja optimal di rentang sudut kemiringan 0° - 15° mengarah ke utara (Deny Suryana, 2016).

Koefisien temperatur daya menunjukkan seberapa kuat pengaruh temperatur sel surya terhadap daya listrik keluaran panel. Koefisien ini bernilai negative karena daya keluaran panel surya berkurang jika temperatur sel surya meningkat. Besarnya nilai koefisien temperatur daya tergantung pada jenis panel surya. Nilai koefisien ini adalah nol apabila pengaruh temperatur terhadap daya listrik panel surya diabaikan.

Temperatur sel surya, T_c adalah temperatur yang diukur pada permukaan panel surya. Pada malam hari, nilai temperatur ini sama dengan temperatur lingkungan sekitarnya, namun pada siang hari saat terik matahari, nilai temperatur ini dapat mencapai 30°C atau lebih diatas temperatur lingkungan sekitarnya, untuk menghitung temperatur sel surya ini dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_c = T_a + I_T \left(\frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{I_{T,NOCT}} \right) \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau\alpha} \right) \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana T_a adalah temperatur daerah sekitar ($^{\circ}\text{C}$), $T_{c,NOCT}$ adalah temperatur nominal sel surya ($^{\circ}\text{C}$), $T_{a,NOCT}$ adalah temperatur daerah sekitar di mana temperatur nominal sel surya didefinisikan (20°C), $I_{T,NOCT}$ adalah radiasi matahari pada temperatur nominal sel surya didefinisikan (0.8 kW/m^2), η_c adalah efisiensi konversi listrik panel surya (%), serta $\tau\alpha$ adalah tingkat penyerapan panel surya. Tingkat penyerapan panel surya merupakan rasio antara radiasi total yang terserap oleh panel surya terhadap radiasi total yang mengenai permukaan panel surya. Pada kondisi normal, panel surya harus mampu menyerap paling sedikit 90% dari radiasi matahari yang mengenainya (Muhammad Rizali & Irwandy 2015).

2.2 Panel Surya

Panel Surya merupakan susunan dari sel-sel surya yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek fotovoltaic, oleh karenanya dinamakan juga sel fotovoltaik (*Photovoltaic cell* – disingkat PV). 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 temperatur sel-sel surya. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6V tanpa beban atau 0,45V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri. Jika 36 keping sel surya tersusun seri, akan menghasilkan tegangan sekitar 16V. Tegangan ini cukup untuk

digunakan mensuplai aki 12V. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi maka diperlukan lebih banyak lagi sel surya. Gabungan dari beberapa sel surya ini disebut Panel Surya atau modul surya. Susunan sekitar 10 - 20 atau lebih Panel Surya akan dapat menghasilkan arus dan tegangan tinggi yang cukup. Untuk mengetahui daya dan efisiensi yang dihasilkan dari panel surya dapat menggunakan rumus dibawah ini :

- Daya Input

Sebelum mengetahui berapa nilai daya yang dihasilkan kita harus mengetahui daya yang diterima (Daya Input), di mana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area Panel surya dengan persamaan :

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan: P_{in} : Daya Input akibat irradiance cahaya lampu (Watt)

I_r : Intensitas radiasi cahaya lampu (Watt/m²)

A :Luas area permukaan photovoltaic module (m²)

- Daya Output

Sedangkan untuk besarnya daya pada sel surya (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), dan *Fill Factor*(FF) yang dihasilkan oleh sel Photovoltaic dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

P_{out} : Daya yang dibangkitkan oleh solar cell (Watt)

V_{oc} : Tegangan rangkaian terbuka pada solar cell (Volt)

I_{sc} : Arus hubung singkat pada solar cell (Ampere)

- FF (*Fill Factor*)

Fill Faktor (FF) Faktor pengisi merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimum dan Tegangan *open circuit* (V_{oc}) dan Arus *Short Circuit* (I_{sc}). Persamaan *fill factor* digunakan untuk mengukur bagaimana luasan persegi pada karakteristik I-V suatu sel surya. Harga fill factor dapat merupakan fungsi V_{oc} . Secara empiris hubungan fill factor dengan V_{oc} adalah:

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \dots\dots\dots(2.4)$$

- Efisiensi Sel Surya

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari irradiance matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data dengan rumus :

$$\eta = \frac{Output}{Input} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

2.2.1 Semikonduktor dan Sel Surya

Sebuah semikonduktor adalah sebuah elemen dengan kemampuan listrik di antara sebuah konduktor dan isolator. Sel surya adalah suatu perangkat yang

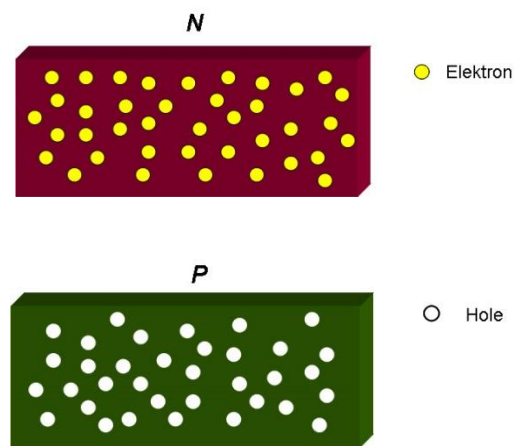
memiliki kemampuan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip photovoltaic, adanya energi dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi sebagian elektron pada suatu material ke pita energi yang ditemukan oleh Alexandre Edmond Becquerel (Belgia) pada 1839. Efek ini dapat timbul terutama pada semikonduktor listrik yang memiliki konduktivitas menengah dikarenakan sifat elektron di dalam material yang terpisah dalam pita-pita energi tertentu yang disebut pita konduksi dan pita valensi. Kedua pita energi tersebut berturut-turut dari yang berenergi lebih rendah adalah pita valensi dan pita konduksi, sedangkan keadaan tanpa elektron disebut dengan celah pita. Celah pita ini besarnya berbeda-beda untuk setiap material semikonduktor, tapi disyaratkan tidak melebihi 3 atau 4 eV ($1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$).

2.2.2 Proses Konversi Solar Cell

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (n = negatif). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p (p = positif) karena kelebihan muatan positif. Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktivitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau hole dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun

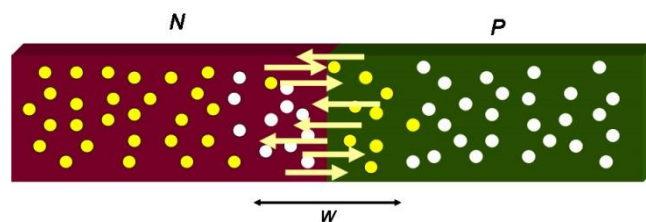
panas dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p-n atau dioda p-n. Istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi (metallurgical junction) yang dapat digambarkan sebagai berikut :

a. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



Gambar 2.1 Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung

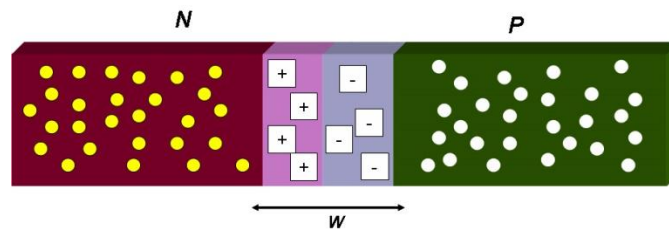
b. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan hole dari semikonduktor p menuju semikonduktor n.



Gambar 2.2 Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor

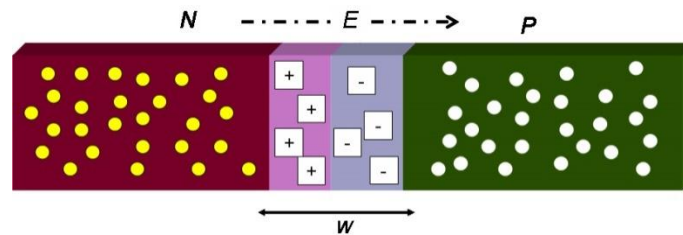
c. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini

akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.



Gambar 2.3 Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor

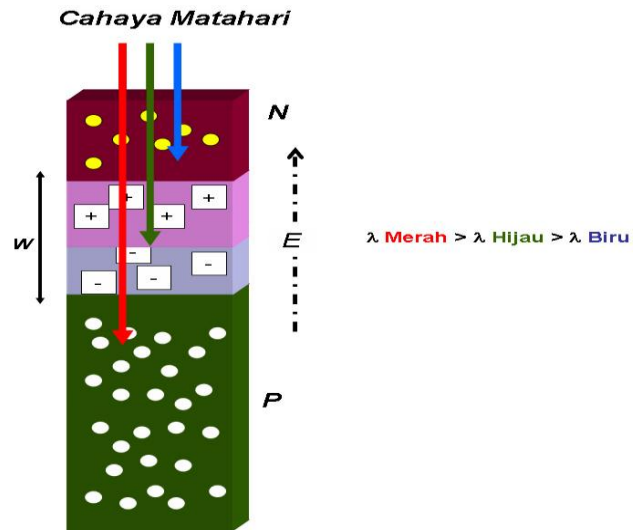
- d. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (depletion region) ditandai dengan huruf W.
- e. Baik elektron maupun hole yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (minority charge carriers) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.
- f. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi.



Gambar 2.4 Timbulnya Medan Listrik Internal E

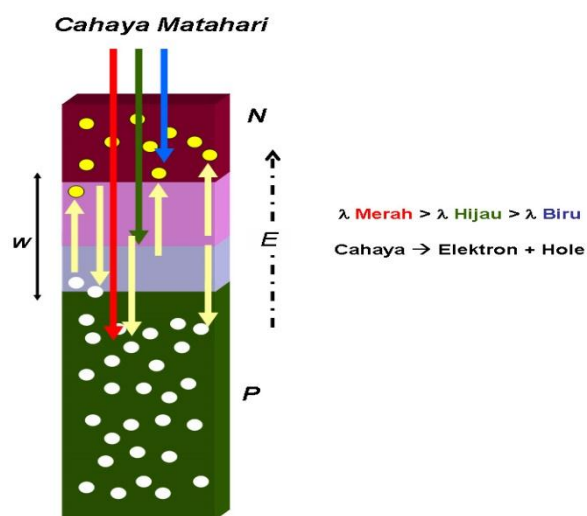
g. Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E.

Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p.



Gambar 2.5 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi electron hole yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

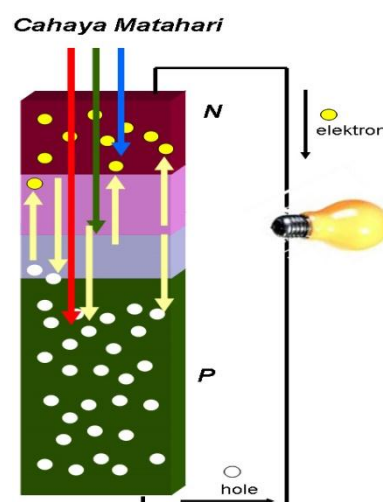


Gambar 2.6 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “ λ ” sebagian di gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E , elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



Gambar 2.7 Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihubungkan ke Lampu

2.2.3 Prinsip Kerja dan Rangkaian Kontrol Panel Surya

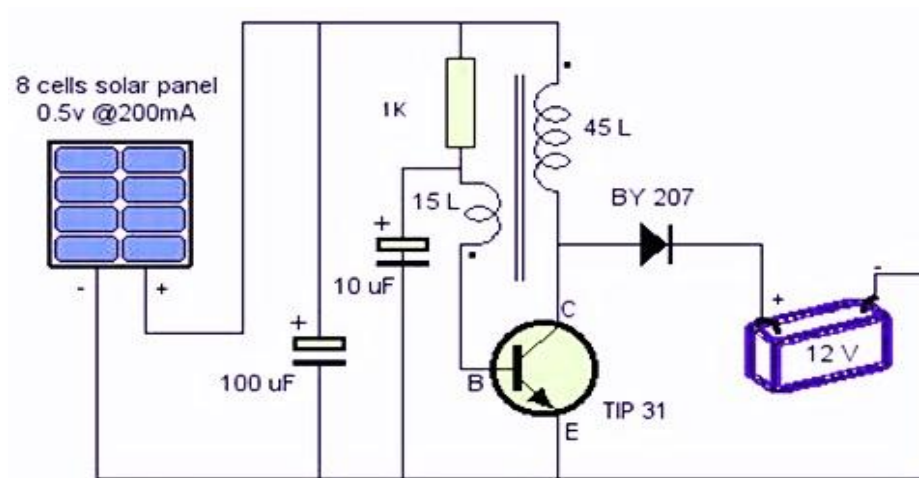
Panel Surya bekerja dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan photon. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh Einstein pada tahun 1905. Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang λ dan frekuensi photon ν dirumuskan dengan persamaan :

$$E = h.c / \lambda \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan h adalah konstanta Planck ($6.62 \times 10^{-34} \text{J.s}$) dan c adalah kecepatan cahaya dalam vakum ($3.00 \times 10^8 \text{m/s}$). Persamaan di atas juga menunjukkan bahwa photon dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau sebagai gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu. Dengan menggunakan sebuah diode semikonduktor yang memiliki permukaan yang luas dan terdiri dari rangkaian diode tipe p dan n, cahaya yang datang akan mampu dirubah menjadi energi listrik. Pada prinsipnya, sel surya adalah identik dengan piranti semikonduktor diode. Hanya saja dewasa ini strukturnya menjadi sedikit lebih rumit karena perancangannya yang lebih cermat untuk meningkatkan efisiensinya. Untuk penggunaan secara luas dalam bentuk arus bolak-balik, masih diperlukan peralatan tambahan seperti inverter, baterai penyimpanan dan lain-lain. Kemajuan dari penelitian akan material semikonduktor sebagai bahan inti sel surya, telah menjadi faktor kunci bagi pengembangan teknologi ini. Dalam teknologi sel surya, terdapat berbagai pilihan penggunaan material intinya. Kristal tunggal silikon sebagai pionir dari sel surya memang masih menjadi pilihan

sekarang karena teknologinya yang sudah mapan sehingga bisa mencapai efisiensi lebih dari 20 % untuk skala riset. Sedangkan modul/panel sel surya kristal silikon yang sudah diproduksi berefisiensi sekitar 12 %. Namun demikian, penggunaan material ini dalam bentuk lempengan (*waver*) masih digolongkan mahal dan juga volume produksi lempeng silikon tidak dapat mencukupi kebutuhan pasar bila terjadi penggunaan sel surya ini secara massal. Sehingga untuk penggunaan secara besar-besaran harus dilakukan usaha untuk mempertipis lapisan silikonnya dari ketebalan sekarang yang mencapai ratusan mikron. Proses perubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor; yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, ($n = \text{negatif}$). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p ($p = \text{positif}$) karena kelebihan muatan positif.

Caranya, dengan menambahkan unsur lain ke dalam semikonduktor, maka kita dapat mengontrol jenis semikonduktor tersebut. Panel Surya membutuhkan rangkaian kontrol agar dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan. Tanpa suatu rangkaian kontrol panel surya tentunya tidak dapat bekerja untuk menghasilkan energi yang diperoleh dari matahari. Dimulai merancang dari sel surya, lalu di hubungkan ke baterai dan di searahkan lagi menuju inverter. Berikut sebuah rangkaian yang dapat dijadikan referensi untuk merancang sebuah pembangkit listrik tenaga surya :



Gambar 2.8Rangkaian Kontrol Panel Surya

Cara kerja dari rangkaian ini sederhana, yaitu mula-mula sinar matahari diterima oleh panel surya kemudian di konversikan melalui semikonduktor sel surya menjadi energi listrik, namun tenaga listrik yang dihasilkan dari setiap sel surya masih terlalu kecil dimana dengan 8 sel surya yang dirangkai secara seri hanya mampu menghasilkan tegangan kurang lebih 4 volt dengan arus 200 mA. Oleh karena itu digunakan komponen elektronika untuk meningkatkan tegangan dan arus yang cukup untuk dijadikan charger baterai berupa Kapasitor, Resistor, Transistor, Dioda dan sebuah kumparan.

2.2.4 Jenis-Jenis Panel Surya

Adapun Jenis-jenis panel surya pada umumnya adalah sebagai berikut :

1. Monokristal (*Mono-crystalline*) Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim

ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%-20%. Kelemahan dari panel jenis ini jika disusun membentuk solar modul (panel surya) akan menyisakan banyak ruangan yang kosong karena sel surya seperti ini umumnya berbentuk segi enam dan bulat, tergantung dari bentuk batangan silikonnya dan juga tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari nya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



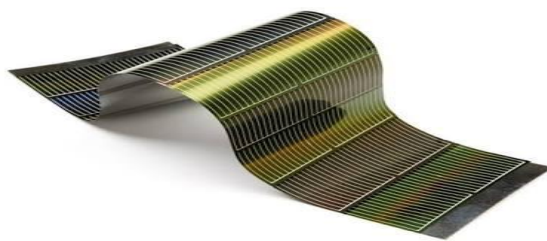
Gambar 2.9 Panel Surya Monokristal

2. Polikristal (*Poly-Crystalline*) Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Jenis ini dibuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur kemudian dituang kedalam cetakan yang umumnya berbentuk persegi. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah. Kemurnian kristal silikon polikristal ini tidak setinggi monokristal, Efisiensinya hanya sekitar 13%-16%, tetapi dengan potongan yang berbentuk persegi, polikristal dapat disusun lebih rapat dari pada monokristal sehingga mengurangi ruang-ruang kosong antar sel surya.



Gambar 2.10 Panel Surya Polikristal

3. *Thin Film Photovoltaic* Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal silikon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. Jenis sel surya ini memiliki kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk dan dikembangkan keberbagai macam ukuran dan potongan yang secara umum dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah. Inovasi terbaru adalah Thin Film Triple Junction Photovoltaic (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain .



Gambar 2.11 Panel Surya *Thin Film Photovoltaic*

2.3 *Solar Charge Controller*

Solar Charge Controller adalah salah satu komponen di dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, berfungsi sebagai pengatur arus listrik baik terhadap arus yang masuk dari Panel Surya maupun arus beban keluar. *Solar charge controller* juga digunakan untuk mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya / solar cell. *Solar charge controller* menerapkan teknologi *Pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban lalu bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan. *Solar Charge Controller* mengatur tegangan dan arus dari Panel Surya ke baterai. Sebagian besar Panel Surya 12 Volt menghasilkan tegangan keluaran sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada pengaturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan. Pada umumnya baterai 12Volt membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13-14,8 volt (tergantung tipe baterai) untuk dapat terisi penuh



Gambar 2.12 Solar Charge Controller

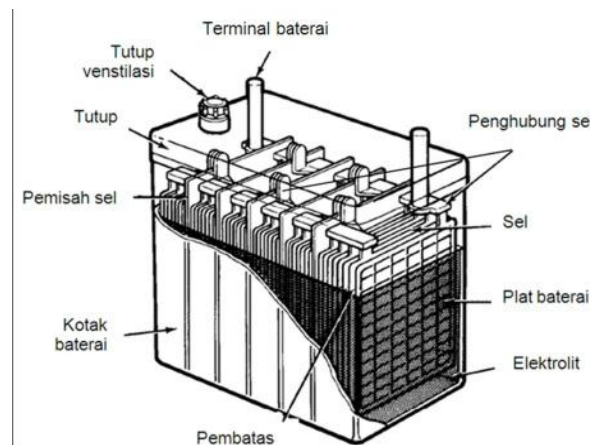
Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka controller akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk

mencegah *overcharge*. Dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Sebaliknya, pada saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban / peralatan listrik. Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan di baterai) , maka pemutusan arus beban dilakukan oleh *controller*. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel – sel baterai. Pada kebanyakan model controller, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu (umumnya berwarna merah atau kuning) yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses pengisian. Dalam kondisi ini, bila sisa arus di baterai kosong (dibawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputus oleh controller, maka peralatan listrik / beban tidak dapat beroperasi. Ada dua jenis teknologi yang umum digunakan oleh solar charge controller, yaitu:

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

2.4 Aki (Baterai)

Baterai merupakan alat menyimpan energi listrik melalui proses elektrokimia. Proses elektrokimia adalah di dalam baterai terjadi perubahan kimia menjadi listrik (proses pengosongan) dan listrik menjadi kimia dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda pada baterai yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan pada sel. Baterai pembangkit listrik tenaga matahari pada umumnya hanya aktif pada saat siang hari (pada saat sinar matahari ada). Sehingga untuk keperluan malam hari solar sel tidak dapat digunakan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka energi yang dihasilkan solar sel pada siang hari disimpan sebagai energi cadangan pada saat matahari tidak tampak. Untuk menyimpan energi tersebut dipakai suatu baterai sebagai penyimpanan muatan energi. Baterai digunakan untuk sistem pembangkit tenaga listrik matahari mempunyai fungsi yang ganda.



Gambar 2.13 Aki (Baterai)

Disuatu sisi baterai berfungsi sebagai penyimpanan energi, sedang disisi lain baterai harus dapat berfungsi sebagai satu daya dengan tegangan yang konstan untuk menyuplai beban. Menurut penggunaan baterai dapat diklasifikasikan menjadi:

- **Baterai Primer** Baterai primer hanya digunakan dalam pemakaian sekali saja. Pada waktu baterai dipakai, material dari salah satu elektroda menjadi larut dalam elektrolit dan tidak dapat dikembalikan dalam keadaan semula.
- **Baterai Sekunder** Baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan kembali dan kembali dimuati.

Pada waktu pengisian baterai elektroda dan elektrolit mengalami perubahan kimia, setelah baterai dipakai, elektroda dan elektrolit dapat dimuati kembali, kondisi semula setelah kekuatannya melemah yaitu dengan melewati arus dengan arah yang berlawanan dengan pada saat baterai digunakan. Pada saat dimuati energi listrik diubah dalam energi kimia. Jadi, dapat kita ketahui bahwa fungsi baterai pada rancangan pembangkit tenaga surya ini adalah untuk menyimpan energi yang dihasilkan solar cell pada siang hari, tujuannya adalah untuk menyimpan energi listrik cadangan ketika cuaca mendung atau hujan serta pada malam hari. Dengan demikian dapat bekerja sesuai dengan kebutuhan. Baterai yang digunakan adalah jenis asam timbal (baterai basah) yang dapat diisi ulang cairan kimia dan energi listrik.

2.4.1 Jenis-jenis Baterai

Aki (Baterai) memiliki beberapa jenis yang sering juga kita jumpai yaitu:

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

Baterai asam yang bahan elektrolitnya adalah larutan asam belerang (*sulfuric acid* = H_2SO_4). Didalam baterai asam, elektroda-elektrodanya terdiri dari plat-plat timah prioksida PbO_2 (*Lead Peroxide*) sebagai anoda (kutub positif)

dan timah perioksida PbO₂ (lead sponge) sebagai katoda (kutub negative). Ciri-ciri umumnya :

- Tegangan nominal per sel 2 volt.
- Ukuran baterai per sel lebih besar dibandingkan dengan baterai alkali.
- Nilai berat jenis elektrolit sebanding dengan kapasitas baterai.
- Suhu elektrolit sangat mempengaruhi terhadap nilai berat jenis elektrolit, semakin tinggi suhu elektrolit semakin rendah berat jenis dan sebaliknya.
- Nilai jenis berat standar elektrolit tergantung dari pabrik pembuatnya.
- Umur baterai tergantung pada operasi pemeliharaan biasanya bias mencapai 10 – 15 tahun.
- Tegangan pengisian per sel harus sesuai dengan petunjuk operasi dan pemeliharaan dari pabrik pembuat. Sebagai contoh adalah :
 - Pengisian awal (Initial Charge) : 2,7 Volt
 - Pengisian Floating : 2,18 Volt
 - Pengisian Equalizing : 2,25 Volt
 - Pengisian Boozting : 2,37 Volt
 - Tegangan pengosong per sel (Discharge) : 2,0 – 1,8 Volt

2.4.2 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal

plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam *Ampere hour* (Ah), misalkan kapasitas baterai 100 Ah 12 Volt artinya secara ideal arus yang dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam.

Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh besar / banyak sedikitnya sel baterai yang ada didalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam *Ampere hour* (Ah). Berarti sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Pada saat baterai diisi (*charging*), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas dan baterai dinyatakan dalam *Ampere hour* (Ah), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk menyuplai beban ke pelanggan. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Ah = I \times t \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana: Ah :kapasitasbaterai
 I :kuatarus(ampere)
 t : waktu (jam/sekon)

2.5 Inverter

Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang dipergunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan menggunakan metode switching dengan frekuensi tertentu, tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaiannya. Switching itu sendiri

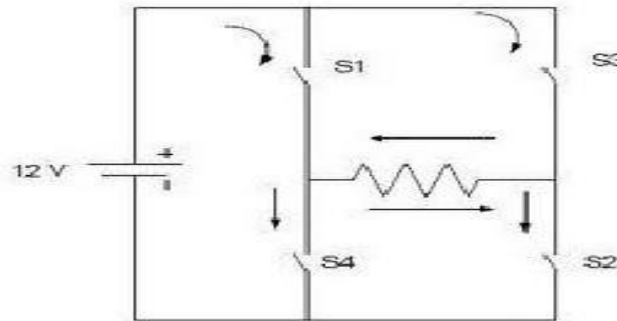
adalah proses perpindahan antara kondisi *ON* dan *OFF* ataupun sebaliknya. Pencacahan arus DC dengan proses switching ini dimaksudkan agar terbentuk gelombang AC yang dapat diterima oleh peralatan/beban listrik AC. Komponen utama yang digunakan dalam proses switching sebuah inverter haruslah sangat cepat, sehingga tidak memungkinkan bila digunakan sakelar *ON-OFF*, *relay*, kontaktor dan sejenisnya. Maka dipilihlah peralatan-peralatan semi-konduktor yang mampu berfungsi sebagai saklar/pencacah tegangan. Inverter ini sendiri terdiri dari beberapa sirkuit penting yaitu sirkuit converter (yang berfungsi untuk mengubah daya komersial menjadi dc serta menghilangkan ripple yang terjadi pada arus ini) serta sirkuit inverter (yang berfungsi untuk mengubah arus searah menjadi bolak-balik dengan frekuensi yang dapat diatur). Inverter juga memiliki sebuah sirkuit pengontrol.



Gambar 2.14 Inverter

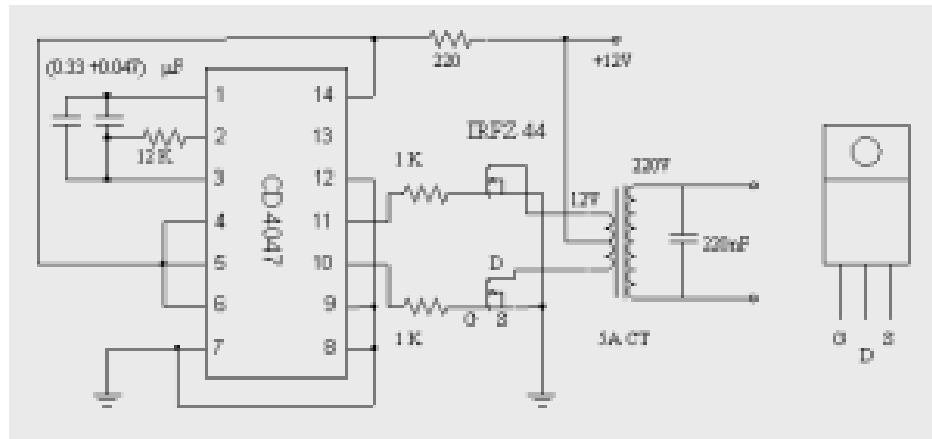
Pada dasarnya inverter adalah alat yang membuat tegangan bolak-balik dari tegangan searah dengan cara pembentukan gelombang tegangan. Namun gelombang yang terbentuk dari inverter tidak berbentuk gelombang sinusoida, melainkan gelombang persegi. Pembentukan tegangan AC tersebut dilakukan dengan menggunakan dua buah pasang saklar. Berikut ini adalah gambar yang

menerangkan prinsip kerja inverter dalam pembentukan gelombang tegangan persegi



Gambar 2.15 Prinsip Dasar Inverter

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 sakelar seperti ditunjukkan pada diatas. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri. Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa(*pulse width modulation – PWM*) dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC. Sumber tegangan masukan inverter dapat menggunakan baterai, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Adapun contoh rangkaian kontrol pada inverter ialah sebagai berikut :



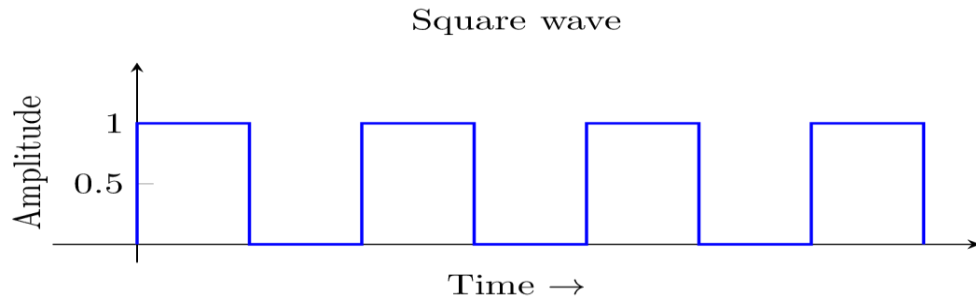
Gambar 2.16 Rangkaian Inverter

2.5.1 Jenis-Jenis Inverter Berdasarkan Gelombang yang Dihasilkan

Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan, inverter dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu *square wave*, *modified sine wave* dan *pure sine wave*.

2.5.1.1 Square Wave

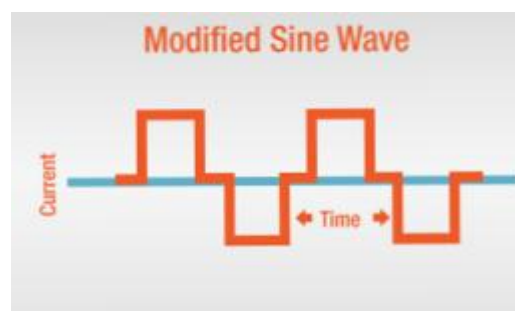
Inverter ini adalah yang paling sederhana. Walaupun inverter jenis ini dapat menghasilkan tegangan 220 VAC, 50 Hz namun kualitasnya sangat buruk. Sehingga dapat digunakan pada beberapa alat listrik saja. Hal ini disebabkan karena karakteristik output inverter ini adalah memiliki level “total harmonic distortion” yang tinggi. Mungkin karena alasan itu inverter ini disebut “dirty power supply”.



Gambar 2.17 Bentuk Gelombang *Square Wave*

2.5.1.2 Modified Sine Wave

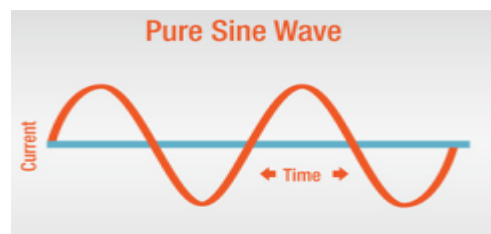
Modified Sine Wave disebut juga ‘‘Modified Square Wave’’ atau ‘‘Quasy Sine Wave’’ karena gelombang modified sine wave hampir sama dengan square wave, namun pada modified sine wave outputnya menyentuh titik 0 untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negative bisa dilihat pada gambar 2.20. Selain itu karena modified sine wave mempunyai harmonic distortion yang lebih sedikit dibanding square wave maka dapat dipakai untuk beberapa alat listrik seperti computer, tv, lampu namun tidak bisa untuk beban-beban yang lebih sensitive.



Gambar 2.18 Bentuk Gelombang *Modified Sine Wave*

2.5.1.3 Pure Sine Wave

Pure Sine Wave atau *true sine wave* merupakan gelombang inverter yang hampir menyerupai dengan gelombang sinusoida Dengan *total harmonic distortion* (THD) $< 3\%$ sehingga cocok untuk semua alat elektronik. Oleh sebab itu inverter ini juga disebut “*clean power supply*”. Teknologi yang digunakan inverter jenis ini umumnya disebut *pulse width modulation* (PWM) yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang yang hampir sama dengan gelombang sinusoidal.



Gambar 2.19 Bentuk Gelombang Pure sine Wave

2.6 Termometer

Suhu adalah suatu besaran yang menunjukkan derajat panas dingin dari suatu benda. Benda yang memiliki panas akan menunjukkan suhu yang tinggi dari pada benda dingin. Sering kita menyebutkan suatu benda panas atau dingin dengan cara menyentuh benda tersebut dengan alat indra kita, walau kita tidak dapat menyimpulkan berapa derajat panas dari benda tersebut, untuk mengetahui seberapa besar suhu benda tersebut maka digunakanlah termometer. Termometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu atau alat yang digunakan untuk menyatakan derajat panas atau dingin suatu benda. Termometer memanfaatkan sifat termometrik dari suatu zat, yaitu perubahan dari sifat-sifat zat disebabkan perubahan suhu dari zat

tersebut. Termometer dapat digunakan untuk mengukur besar suhu yang ada pada permukaan panel guna untuk mengetahui besar daya yang dikeluarkan, karena semakin besar temperatur pada permukaan sel surya, maka semakin besar pula daya keluaran yang dihasilkan panel surya. Umumnya termometer yang sering digunakan untuk mengetahui besarnya suhu suatu benda yaitu menggunakan termometer digital.



Gambar 2.20 Thermometer Digital

Sama halnya seperti termometer pada umumnya, termometer digital digunakan untuk membaca suhu suatu benda, namun termometer digital lebih canggih penciptaannya, karena sudah menggunakan sensor suhu yang berbentuk logam yang memuai, kemudian pemuaiannya ini diterjemahkan oleh rangkaian elektronik dan ditampilkan dalam bentuk angka yang langsung dapat dibaca. Prinsip kerjanya memanfaatkan karakteristik hubungan antara tegangan (volt) dengan temperatur. Setiap jenis logam, pada temperatur tertentu memiliki tegangan tertentu pula. Pada temperatur yang sama, logam A memiliki tegangan yang berbeda dengan logam B, terjadilah beda tegangan (kecil sekali, miliVolt)

yang dapat dideteksi. Jadi dari input temperatur lingkungan setelah melalui termokopel terdeteksi sebagai perbedaan tegangan (volt). Beda tegangan ini kemudian dikonversikan kembali nilai arusnya melalui pengkomparasian dengan nilai acuan dan nilai offset di bagian komparator, fungsinya untuk menerjemahkan setiap satuan amper ke dalam satuan volt kemudian dijadikan besaran temperatur yang ditampilkan melalui layar/monitor berupa seven segmen yang menunjukkan temperatur yang dideteksi oleh termokopel.

2.7 Lampu Pijar

Lampu pijar adalah sumber cahaya buatan yang dihasilkan melalui penyaluran arus listrik melalui filamen yang kemudian memanaskan dan menghasilkan cahaya. Kaca yang menyelubungi filamen panas tersebut menghalangi udara untuk berhubungan dengannya sehingga filamen tidak akan langsung rusak akibat teroksidasi. Lampu pijar dipasarkan dalam berbagai macam bentuk dan tersedia untuk tegangan (voltase) kerja yang bervariasi dari mulai 1,25 volt hingga 300 volt. Energi listrik yang diperlukan lampu pijar untuk menghasilkan cahaya yang terang lebih besar dibandingkan dengan sumber cahaya buatan lainnya seperti lampu pendar dan dioda cahaya, maka secara bertahap pada beberapa negara peredaran lampu pijar mulai dibatasi.

Di samping memanfaatkan cahaya yang dihasilkan, beberapa penggunaan lampu pijar lebih memanfaatkan panas yang dihasilkan, contohnya adalah pemanas kandang ayam, dan pemanas inframerah dalam proses pemanasan di bidang industri.

2.7.1 Prinsip Kerja Lampu Pijar

Prinsip kerja dari lampu pijar tersebut adalah dari energi listrik diubah/dikonversikan menjadi energi cahaya, dengan cara menghubungkan listrik pada filamen carbon, dengan mengalirnya arus elektron melalui filamen menghasilkan tumbukan-tumbukan elektron didalam filamen dan menyebabkan foton maya berubah menjadi foton nyata dan membentuk cahaya serta panas sebagai residu.

Pada dasarnya filamen pada sebuah lampu pijar adalah sebuah resistor. Saat dialiri arus listrik, filamen tersebut menjadi sangat panas, berkisar antara 2800 derajat Kelvin hingga maksimum 3700 derajat Kelvin. Ini menyebabkan warna cahaya yang dipancarkan oleh lampu pijar biasanya berwarna kuningkemerahan. Pada temperatur yang sangat tinggi itulah filamen mulai menghasilkan cahaya pada panjang gelombang yang kasat mata. Seiring bertambahnya voltase listrik yang digunakan, maka semakin tinggi intensitas cahaya, sebab naiknya tegangan memacu naiknya aliran listrik karena resistansi bersifat tetap jika kenaikan suhu diabaikan, dan membesarnya aliran listrik maka membesar pula probabilitas terjadinya tumbukan didalam filamen.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dan pengumpulan data dilaksanakan pada bulan Desember 2018 sampai Januari 2019 yang beralamat di Jln.Santun Sudirejo 1 Kecamatan Medan Teladan No.83C.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Peralatan Penelitian

Peralatan penunjang yang digunakan dalam merancang simulasi panel surya menggunakan lampu sebagai sumber utama energi adalah sebagai berikut :

1. Multimeter NMT-830B yang digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik yang dihasilkan panel surya
2. Inverter 12 VDC-220 VAC yang berfungsi sebagai mengubah arus listrik dc menjadi ac dari baterai.
3. Thermometer HTC-1 berfungsi untuk mengukur suhu yang dihasilkan oleh lampu.
4. Solar Charge Controller 12V 10AH yang digunakan untuk melakukan otomatisasi pengisian baterai.
5. Kabel Listrik sebagai penghubung dari panel surya ke beban.

6. Kabel Penghubung sebagai penghubung antara alat satu dengan yang lainnya pada rangkaian pengukuran panel surya.
7. Baterai sebagai media penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia atau konversi energi yang bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia.
8. Tool Box merupakan peralatan pendukung seperti tang , obeng ,tespen dan lain sebagainya.

3.2.2 Bahan-Bahan Penelitian

1. Lampu Pijar 40 watt berfungsi sebagai sumber utama energi cahaya dan panas.
2. Panel surya 20 WP *Poly Crystalline* Sebagai mengubah cahaya menjadi energi listrik.

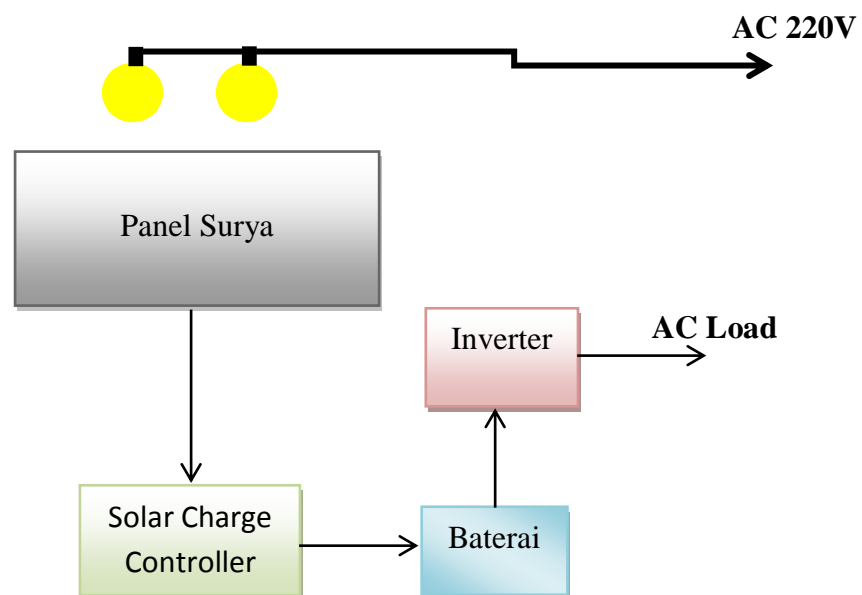


Gambar: 3.1 Panel Surya Jenis Poly crystalline

Tabel: 3.1 Spesifikasi panel surya

SURYA[®]		
POLYCRYSTALLINE SOLAR MODULE		
Model Type	SSPP 20WP/12V	
Rated Maximum Power:	[Pmax]	20W
Output Tolerrance:	0~+ 3%	
Voltage at Pmp:	[Vmp]	18V
Current at Pmp:	[Imp]	1.11A
Open-Circuit Voltage:	[Voc]	21.5V
Short-Circuit Current:	[Isc]	1.23A
Maximum System Voltage:	1000V	
Maximum Series Fuse Rating:	15.0A	
Weight:	[Kg]	2.0
Dimension:	[mm]	485*350*25mm
Application Class	A	
ALL Technical data at standard condition		
AM=1.5	E=1000W/M²	TC=25 °C
Temperature Range	-45⁰C ~ + 80⁰C	
07/2018	MADE IN CHINA	

3.3 Prosedur Penelitian



Gambar 3.2 Blok diagram penelitian

Keterangan Gambar :

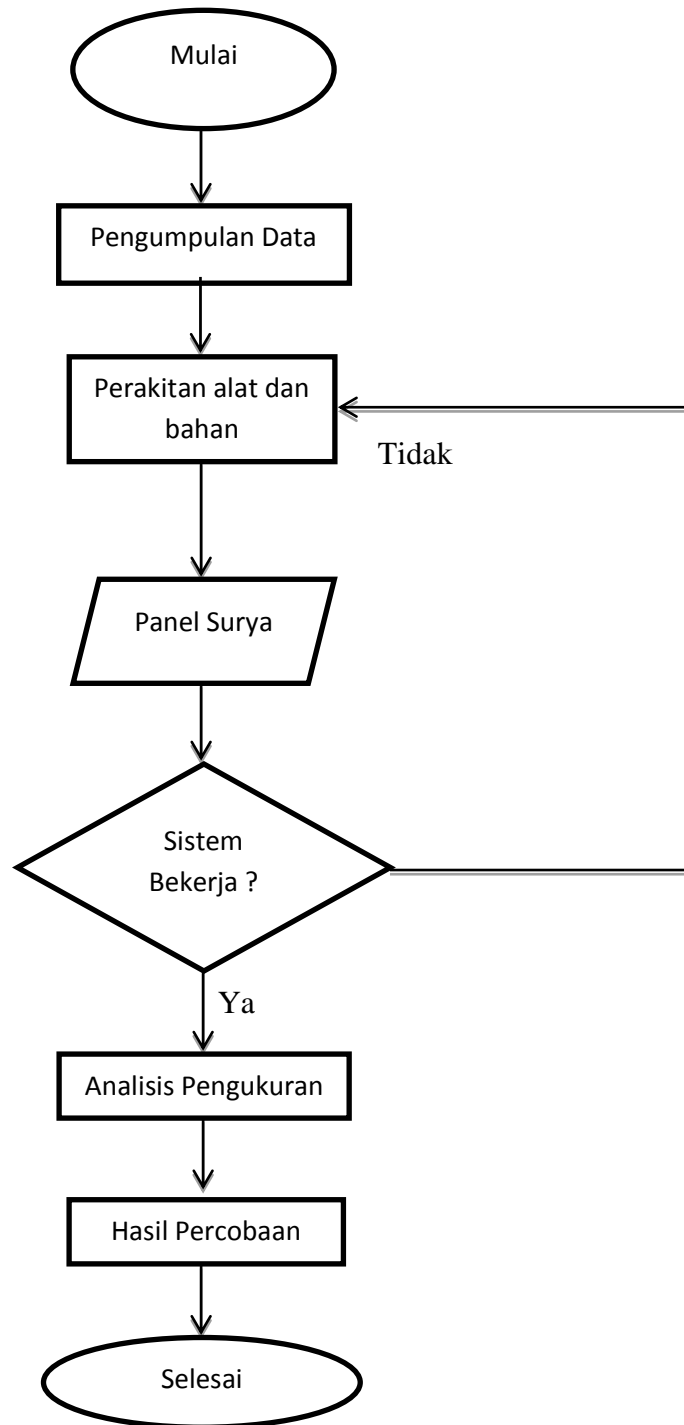
Dari keterangan gambar diatas dapat dijelaskan prinsip kerja dari alat tersebut:

1. Modul Surya : Sebagai pengkonversi energi listrik dari Lampu
2. SCC : Sebagai pengotomatisasi pengisian Baterai
3. Baterai : Sebagai penampung energi dari modul surya
4. Inverter : Sebagai pengubah arus DC menjadi AC
5. Lampu : Sebagai sumber utama energi

Pengujian dilakukan di sebuah box tertutup agar cahaya lampu dapat berfokus pada permukaan panel surya serta cahaya dan temperatur tidak menyebar pada ruangan terbuka, sehingga secara otomatis suhu permukaan panel surya meningkat seiring dengan bertambahnya waktu dalam pengujian Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit sekali sampai temperatur mencapai hasil maksimal 38°C .Modul Surya akan mengkonversikan energi yang dipancarkan oleh lampu menjadi energi listrik melalui intensitas cahaya dan temperatur yang dihasilkan oleh lampu.Lampu yang digunakan pada percobaan ini adalah 2 buah lampu pijar dengan daya 40 *Watt* yang langsung terhubung dengan tegangan AC.Setelah panel surya mengkonversikan cahaya dan temperatur menjadi daya listrik lalu akan dihubungkan dari solar charge controller langsung ke Baterai (Aki) untuk mengisi tegangan pada baterai.

Setelah itu dalam pengujian ini dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter yang digunakan untuk menganalisa pengaruh cahaya lampu dan perubahan suhu terhadap efisiensi panel surya. Oleh karena itu alat ukur diletakkan sedemikian rupa sehingga lebih mudah dalam penempatan dan pembacaannya.Parameter-parameter yang diukur dalam pengujian ini adalah suhu permukaan panel surya, intensitas radiasi lampu yang dipancarkan kepermukaan panel surya , arus yang dihasilkan oleh panel surya dan tegangan yang dibangkitkan oleh panel surya.Parameter yang diukur ini kemudian menjadi data masukan dari perhitungan untuk mencari nilai efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya tersebut.

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap efisiensi panel surya dan besarnya tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh panel surya disetiap perubahan temperatur pada lampu. Pada pengujian simulator surya ini, terdiri dari beberapa komponen, seperti: panel surya (PV), *Solar power meter*, *thermometer*, *multitester*, dan 2 buah lampu pijar 40 watt, Fotovoltaik akan mengeluarkan arus searah (DC) dari sumber cahaya utama lampu pijar, selanjutnya dari arus dan tegangan yang dihasilkan akan di ukur dengan alat multitester. Pengujian alat dilakukan di sebuah box tertutup agar cahaya lampu dapat berfokus pada permukaan panel surya dan cahaya tidak menyebar pada ruangan terbuka. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati disetiap 10 menit perubahan temperatur yang di hasilkan lampu pijar dan daya yang dihasilkan sel surya dengan pengambilan data yang dapat menyimpulkan perubahan temperatur sangat berpengaruh terhadap efisiensi sel surya.

NO	NAMA BAHAN	UNIT	Spesifikasi
1	Sel Surya	1	20 WP
2	Solar Charge Control	1	12 V/24V
3	Inverter	1	12VDC-220VAC
4	Baterai	1	12 V 63 AH
5	Lampu Pijar	2	40 Watt

Tabel: 4.1 Data Bahan Penelitian

4.1 Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Efisiensi

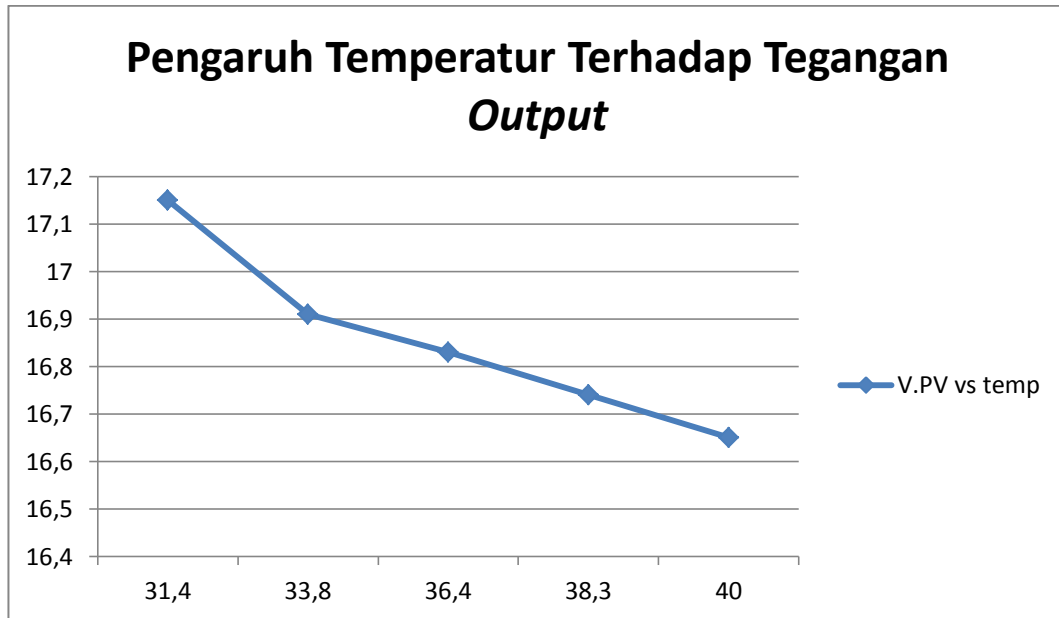
Pengukuran dilakukan dengan menggunakan multimeter untuk tegangan dan intensitas cahaya lampu menggunakan luxmeter. Dari pengukuran intensitas cahaya lampu didapat 1090 W/m^2 . Nilai intensitas cahaya dianggap tetap, dikarenakan besar intensitas cahaya lampu tergantung pada tegangan sumbernya, dimana pada saat pengujian keadaan tegangan sumber berada pada tegangan yang konstan 220 Volt. Berikut tabel hasil perhitungan pengamatan dan pengujian perubahan tegangan terhadap temperatur lampu pijar.

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Tegangan (V)	Arus (A)
31,4	17,15	0,5
33,8	16,91	0,5
36,4	16,83	0,5
38,3	16,74	0,5
40	16,65	0,5

Tabel: 4.2 Pengujian Panel Sel Surya Dengan Jenis Polycrystalline Merek SURYA 20 WP.

Dari tabel pengukuran diatas, terlihat bahwa temperatur sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan panel surya, dimana semakin tinggi temperatur yang dihasilkan maka semakin kecil pula tegangan yang dihasilkan panel surya. Namun arus yang dihasilkan tetap dikarenakan intensitas yang tetap, karena besarnya arus tergantung besarnya intensitas cahaya yang

diserap oleh sel surya. Dari tabel diatas dapat disimpulkan menjadi sebuah grafik dibawah :



Grafik 4.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Tegangan *Output* Panel Surya

Untuk mengetahui lebih lanjut besarnya daya output pada panel surya maka dapat dihitung terlebih dahulu besar daya input panel surya. Besar daya input dapat dihitung menggunakan rumus dibawah :

Diketahui : $I_r = 1090 \text{ W/m}^2$

$$A = 1,71 \text{ m}^2$$

Ditanya : Pin

Jawab : Pin = $I_r \times A$

$$= 1090 \times 1,71$$

$$= 185,3 \text{ W}$$

Dari perhitungan diatas hasil Pin sama di setiap perubahan temperatur, dikarenakan besar Pin hanya berpengaruh pada intensitas dan luas permukaan panel surya.

Kemudian besar dari daya output yang dihasilkan dapat di hitung menggunakan perhitungan dibawah :

1. Daya Output

- Suhu $31,4^{\circ}\text{C}$

Diketahui : $V_{oc} = 17,15 \text{ V}$

$I_{sc} = 0,5 \text{ A}$

$FF = 0,786$

Ditanya : $P_{out} \dots \dots \dots ?$

$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$

$= 17,15 \times 0,5 \times 0,786$

$= 6,74 \text{ W}$

- Suhu $33,8^{\circ}\text{C}$

Diketahui : $V_{oc} = 16,91 \text{ V}$

$I_{sc} = 0,5 \text{ A}$

$FF = 0,784$

Ditanya : $P_{out} \dots \dots \dots ?$

$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$

$= 16,91 \times 0,5 \times 0,784$

$= 6,63 \text{ W}$

- Suhu $36,4^{\circ}\text{C}$

Diketahui : $V_{osc} = 16,83 \text{ V}$

$$I_{sc} = 0,5 \text{ A}$$

$$FF = 0,783$$

Ditanya : $P_{out} \dots \dots \dots ?$

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$= 16,83 \times 0,5 \times 0,783$$

$$= 6,58 \text{ W}$$

- Suhu $38,3^{\circ}\text{C}$

Diketahui : $V_{osc} = 16,74 \text{ V}$

$$I_{sc} = 0,5 \text{ A}$$

$$FF = 0,782$$

Ditanya : $P_{out} \dots \dots \dots ?$

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$= 16,74 \times 0,5 \times 0,782$$

$$= 6,54 \text{ W}$$

- Suhu 40°C

Diketahui : $V_{osc} = 16,65 \text{ V}$

$$I_{sc} = 0,5 \text{ A}$$

$$FF = 0,781$$

Ditanya : $P_{out} \dots \dots \dots ?$

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$= 16,65 \times 0,5 \times 0,781$$

$$= 6,5 \text{ W}$$

2. Efisiensi Panel Surya

- Suhu 31,4⁰C

Diketahui : $P_{out} = 6,74 \text{ W}$

$P_{in} = 185,3 \text{ W}$

Ditanya : η?

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

$$= \frac{6,74}{185,3} \times 100 \% = 3,64 \%$$

- Suhu 33,8⁰C

Diketahui : $P_{out} = 6,63 \text{ W}$

$P_{in} = 185,3 \text{ W}$

Ditanya : η?

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

$$= \frac{6,63}{185,3} \times 100 \% = 3,57 \%$$

- Suhu 36,4⁰C

Diketahui : $P_{out} = 6,58 \text{ W}$

$P_{in} = 185,3 \text{ W}$

Ditanya : η?

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

$$= \frac{6,59}{185,3} \times 100 \% = 3,55 \%$$

- Suhu 38,3⁰C

Diketahui : $P_{out} = 6,54 \text{ W}$

$P_{in} = 185,3 \text{ W}$

Ditanya : η?

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

$$= \frac{6,54}{185,3} \times 100 \% = 3,53 \%$$

- Suhu 40⁰C

Diketahui : $P_{out} = 6,5 \text{ W}$

$P_{in} = 185,3 \text{ W}$

Ditanya : η?

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

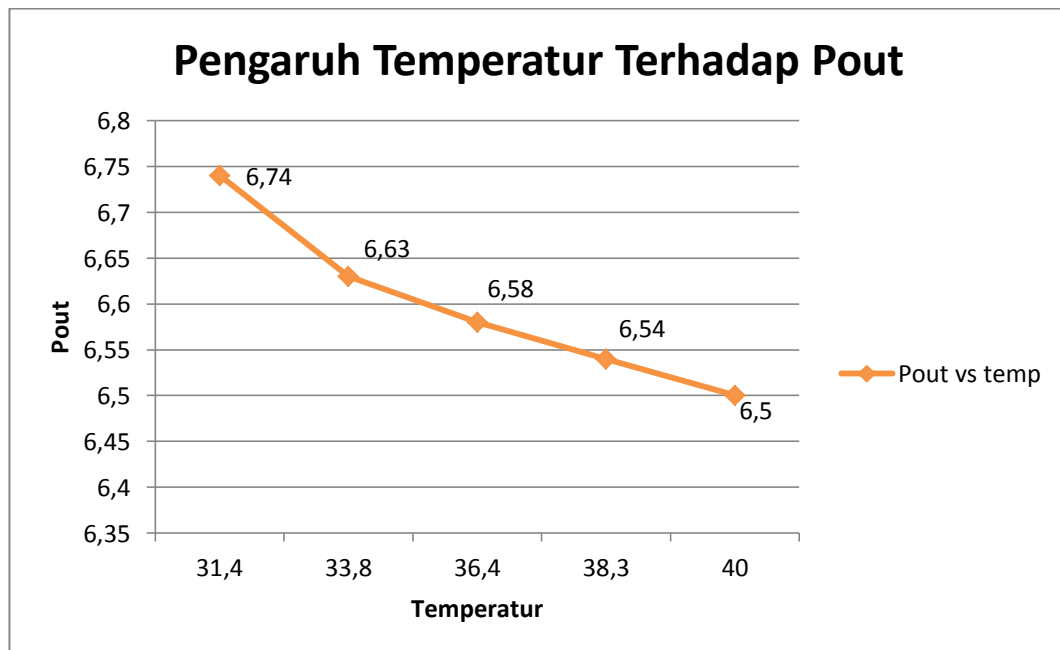
$$= \frac{6,5}{185,3} \times 100 \% = 3,5 \%$$

Dari perhitungan yang didapat , dapat disimpulkan besarnya nilai efisiensi dipengaruhi oleh besarnya daya *output* dan besarnya output dipengaruhi oleh besarnya tegangan pada perhitungan perkalian tegangan arus dan *fill factor*. Besarnya tegangan juga berpengaruh terhadap besarnya *fill factor*. Berikut tabel hasil perhitungan daya *output* dan efisiensi panel surya.

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya Output (Watt)	Efisiensi (%)
31,4	17,15	0,5	6,74	3,64
33,8	16,91	0,5	6,63	3,57
36,4	16,83	0,5	6,58	3,55
38,3	16,74	0,5	6,54	3,53
40	16,65	0,5	6,5	3,5

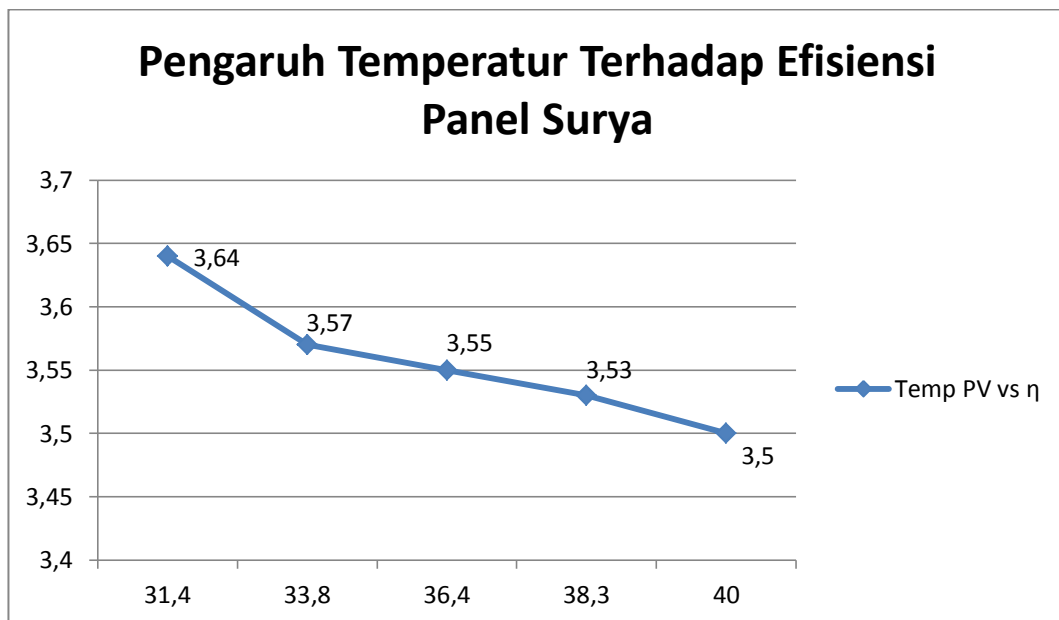
Tabel : 4.3 Hasil perhitungan Daya Output dan Efisiensi

Dari tabel diatas terlihat bahwa daya *output* terbesar berada pada suhu $31,4^{\circ}\text{C}$ daya yang dihasilkan sebesar 6,74 W dan daya out put terkecil berada pada suhu 40°C dengan nilai daya 6,5 W. Dari tabel diatas dapat disimpulkan menjadi grafik dibawah:



Grafik 4.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Daya *Output* Panel Surya

Dari grafik tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat temperatur panel maka daya keluaran yang dihasilkan panel surya akan menurun, penurunan daya tersebut disebabkan karena tegangan *open-circuit*(V_{oc}) menurun seiring dengan meningkatnya suhu permukaan panel surya dan arus yang dihasilkan panel surya cenderung konstan seiring dengan meningkatnya suhu permukaan panel surya. Daya output adalah hasil kali dari tegangan arus dan fill factor. Jadi, jika tegangan output menurun maka fill factor juga ikut menurun sehingga daya output juga secara otomatis akan menurun.



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Kenaikan Temperatur Terhadap Efisiensi Sel Surya

Dari grafik hubungan temperatur terhadap efisiensi tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa untuk efisiensi tertinggi berada pada saat temperatur 31,4⁰C dengan nilai efisiensi 3,64 %. Seiring dengan meningkatnya temperatur akibat radiasi cahaya lampu, maka efisiensi yang dihasilkan juga akan menurun, hingga pada temperatur tertinggi 40⁰C dengan nilai efisiensi 3,5 %. Kenaikan temperatur

mengakibatkan terjadinya penurunan pada efisiensi. Hal ini disebabkan karena temperatur panel surya sangat berpengaruh terhadap tegangan *output* (V_{oc}), dimana semakin meningkat temperatur permukaan panel maka tegangan *output* yang dihasilkan akan semakin menurun, sehingga apabila daya keluaran menurun maka secara otomatis efisiensi yang dihasilkan panel surya pun akan ikut menurun. Dimana efisiensi panel surya yang didapat, dihitung berdasarkan berapa daya keluaran dibandingkan dengan daya masukan panel surya.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada halaman sebelumnya maka dapat disimpulkan beberapa hal, kesimpulan yang diambil sebagai berikut :

1. Kenaikan temperatur menyebabkan turunnya tegangan output yang dihasilkan panel surya, sehingga efisiensi outputnya pun akan ikut menurun dimana seperti yang diketahui bahwa hasil efisiensi merupakan perhitungan dari tegangan dan arus yang dihasilkan sel surya. Dimana salah satu kenaikan temperatur ini disebabkan oleh semikonduktor pada panel surya yang ikut menyerap energi foton sekaligus panas dari radiasi cahaya lampu.
2. Penurunan tegangan diakibatkan kenaikan temperatur yang terus menerus, dimana pada temperatur awal $31,4^{\circ}\text{C}$ tegangan yang dihasilkan mencapai 17,15 Volt sedangkan pada saat temperatur puncak akhir yaitu 40°C tegangan yang dihasilkan menurun menjadi 16,65 Volt. Namun pada percobaan ini arus tidak berpengaruh terhadap temperatur yang di hasilkan lampu pijar dimana nilai arus tetap pada nilai 0,5 Ampere disebabkan intensitas lampu pijar yang cenderung konstan

B. Saran

Pada penelitian berikutnya, bagi peneliti selanjutnya diharapkan dapat merencanakan peningkatan efisiensi sel surya dengan menggunakan jenis lampu yang berbeda dan juga diberi tambahan pendingin udara pada permukaan sel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Hari Purwoto, Jatmiko, Muhammad Alimul F, dan Ilham Fahmi Huda ,
“Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif,”
 Jurnal Emitor, vol. 18 no. 1, pp. 10-14.
- Deny Suryana dan M.Marhaendra Ali, *“Pengaruh Temperatur /Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin (Studi Kasus: Baristand Industri Surabaya),”* Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Indsutri, vol. 2 no. 1, pp.49-52, 2016.
- Indra Bahadur Karki, *“Effect of Temperature on the I-V Characteristic of a Polycrystalline Solar Cell,”* J.of Nepal Physical Society, vol. 3 no. 1, pp. 35-40, 2015.
- Asrul, Reyhan, dan Rustan Ratib, *“ Komparasi Energi Surya Dengan Lampu Halogen Terhadap Efisiensi Modul Photovoltaic Tipe Multicrystalline,”* Jurnal Mekanikal, vol.7 no. 1, pp.625-633, 2016.
- Kho Hie Khwee, *“Pengaruh Temperatur Terhadap Kapasitas Daya Panel Surya (Studi Kasus Pontianak),”* Jurnal ELKHA, vol. 5 no. 2, pp. 23-25, 2013.
- Yusmita, Erlita Sri .2014. *Energy Supply Solar Cell* Pada Sistem Pengendali Portal Parkir Otomatis Berbasis Mikrokontroler AT89S52. Skripsi. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wang, Wujun .2014. *Simulate a ‘Sun’ for Solar Reasearch : A Literature Review Of Solar Simulator Technology.* Sweden : Royal Institute Of Technology.

Wira Ajus. 2015.*Lampu Pijar*.Makalah.Dikutip dari [https://www.academia.edu/32805028/Paper Lampu Pijar.doc](https://www.academia.edu/32805028/Paper_Lampu_Pijar.doc). Diakses pada tanggal 15 Januari 2019.