

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN PERALATAN
PENDUKUNG PADA *SOLAR CELL* TERHADAP KINERJA
*SOLAR CELL***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu (S1) Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau**



Disusun Oleh:

SHANDY KURNIADI

16.33.100.17

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN PERALATAN PENDUKUNG PADA *SOLAR CELL* TERHADAP KINERJA *SOLAR CELL*

Shandy Kurniadi, Sehat Abdi Saragih

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

Jl. Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834

Email: Shandykurniadi0406@gmail.com

ABSTRAK

Telah diketahui *solar cell* yang dominan digunakan saat ini memiliki kelemahan yaitu daya yang kecil, harga yang *relative* mahal ditambah posisi (sudut) pemasangan yang konstan. Untuk itu perlu dilakukan suatu upaya agar kinerja *solar cell* dapat meningkat, upaya yang dilakukan adalah dengan menambahkan peralatan pendukung berupa *solar tracker*, reflektor dan lensa fresnel pada *solar cell*. peralatan pendukung yang ditambahkan berfungsi untuk meningkatkan intensitas sinar matahari yang diterima oleh *solar cell*. penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh dari peralatan pendukung *solar cell* terhadap kinerja *solar cell* dan memperoleh peralatan pendukung yang paling baik untuk membantu meningkatkan kinerja *solar cell*. *solar tracker* yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan *solar tracker single axis*, reflektor yang digunakan berjenis cermin datar dan lensa fresnel yang digunakan berbahan plastik. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa uji kinerja dan analisa yang dilakukan menunjukkan bahwa ada pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap kinerja *solar cell*. kinerja *solar cell* yang paling baik diperoleh pada peralatan pendukung di hari ke 5, alat ke V, dengan nilai efisiensi (η) sebesar 15,03 %, nilai arus hubung singkat (I_{sc}) sebesar 0,57 *ampere*, nilai daya maksimum (P_{max}) sebesar 6,86 *watt*, nilai daya keluaran (P_{out}) sebesar 6,86 *watt*, nilai *fill factor* (FF) sebesar 0,67, nilai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) sebesar 17,72 volt, dengan menggunakan *solar tracker* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan reflektor cermin datar.

Kata Kunci: *Solar Cell*, Peralatan pendukung, *Solar tracker*, Reflektor, Lensa

Fresnel

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ADDING SUPPORTING EQUIPMENT ON SOLAR CELL TO SOLAR CELL PERFORMANCE

Shandy Kurniadi, Sehat Abdi Saragih

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering,

Islamic University of Riau

Jl. Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834

Email: Shandykurniadi0406@gmail.com

ABSTRACT

It is known that the dominant solar cell used today has a weakness that is small power, relatively expensive price plus a constant installation position (angle). Therefore, an effort is needed so that the performance of solar cells can be improved, the effort is to add supporting equipment in the form of solar trackers, reflectors, and Fresnel lenses to the solar cell. Added supporting equipment serves to increase the intensity of sunlight received by solar cells. This research aims to gain influence from solar cell support equipment on solar cell performance and obtain the best supporting equipment to help improve solar cell performance. the solar tracker used in this study is using solar tracker single axis, reflector used type flat mirror and Fresnel lens used made of plastic. From the results of the study, performance tests and analysis conducted showed that there is an influence of the addition of supporting equipment on solar cells to the performance of solar cells. solar cell performance is best obtained on supporting equipment on day 5, a tool to V, with an efficiency value (η) of 15.03 %, a short circuit current value (I_{sc}) of 0.57 ampere, a maximum power value (P_{max}) of 6.86 watts, an output power value (P_{out}) of 6.86 watts, a fill factor value (FF) of 0.67, an open circuit voltage value (V_{oc}) of 17.72 volts, using a solar tracker equipped with Fresnel lenses and flat mirror reflectors.

Keywords: Solar Cell, Supporting Equipment, Solar tracker, Reflector, Fresnel Lens.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum, Wr. Wb

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah Subhanawataala. Atas segala limpahan, rahmat, nikmat dan karunia-Nya yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Analisa Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada Solar cell terhadap Kinerja Solar Cell**” dengan lancar tanpa ada kendala yang berarti. Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Strata Satu (S1) Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau. Selain itu penulisan Tugas Akhir ini bertujuan agar mahasiswa dapat berfikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Penulis menyadari bahwa selesainya penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin berterimakasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penulisan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta ayahanda Zaldi rahimahullah dan Ibunda Marlinda, yang telah banyak memberikan doa dan petuah terbaik untuk

anaknya, motivasi untuk terus semangat dan dukungannya baik moral maupun material.

2. Bapak Dr. Eng Muslim., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
3. Bapak Ir. Syawaldi, M.Sc. Selaku ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Bapak Rafil Arizona S.T, M.Eng. Selaku sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Riau.
5. Bapak Sehat Abdi Saragih, S.T, M.T. Selaku Dosen Pembimbing dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan ilmu Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
7. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin khususnya angkatan 2016 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Adanya kritik dan saran yang membangun ke depannya bagi penulis sangat diharapkan. Semoga bermanfaat.

Terima Kasih

Wassalamua'laikum, Wr. Wb

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
SURAT PERNYATAAN	
BIODATA PENULIS	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Radiasi Energi Matahari.....	5
2.2 Teori Perpindahan Panas.....	9
2.2.1 Konduksi	9
2.2.2 Konveksi	10
2.2.3 Radiasi.....	10

2.3 <i>Solar Cell (Photovoltaic)</i>	11
2.4 Prinsip Kerja <i>Photovoltaic</i>	12
2.5 Jenis-jenis <i>Solar Cell (PV)</i> berdasarkan bahan pembentuknya	19
2.6 Peralatan Pendukung Sel Surya	23
2.6.1 <i>Solar Tracker</i>	23
2.6.2 <i>Fresnel Lens Concentrator</i>	30
2.6.3 Reflektor	34
2.7 Kinerja <i>Solar Cell</i>	36

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	42
3.2 Diagram Alir Penelitian	42
3.3 Alat dan Bahan	43
3.3.1 Alat	43
3.3.2 Bahan	49
3.4 Persiapan Pengujian	50
3.5 Prosedur Pengujian	51
3.5.1 Prosedur Pengujian <i>Solar Cell</i> Tanpa Menggunakan <i>Solar Tracker</i> dan Dengan Menggunakan <i>Solar Cell</i>	51
3.6 Jadwal Kegiatan Penelitian	52

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Tegangan Rangkaian Terbuka (<i>Voc</i>)	54
4.2 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Arus	

Hubung Singkat (I_{sc})	58
4.3 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Daya Maksimum (P_{max})	63
4.4 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap <i>Fill Factor</i> (FF)	68
4.5 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Daya Keluaran (P_{out})	73
4.6 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Efisiensi (η)	78
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	84
5.2. Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Layers of Sun</i>	6
Gambar 2.2 Jarak Matahari dengan Planet yang Mengelilinginya.....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi Cara Menentukan Intensitas Radiasi Matahari	7
Gambar 2.4 Jumlah Radiasi yang Sampai ke Bumi	8
Gambar 2.5 <i>Photovoltaic Effect</i>	12
Gambar 2.6 Proses Konversi Radiasi Sinar Matahari Menjadi Energi Listrik....	13
Gambar 2.7 Kontruksi Susunan Pita di dalam Sebuah Semikonduktor	14
Gambar 2.8 <i>Level Energy</i> yang diperoleh dari p-n <i>junction</i> Semikonduktor.....	15
Gambar 2.9 Representasi Pengaturan Struktur Kristal pada <i>Silicon</i>	16
Gambar 2.10 Cahaya yang Mengandung Foton yang Cukup akan Mampu Membuat Elektron Lepas dan Meninggalkan <i>Hole Silicon</i>	17
Gambar 2.11 <i>Potential Barrier in Solar Cell Silicon</i>	18
Gambar 2.12 Struktur Sel Surya Jenis <i>Monocrystalin</i>	21
Gambar 2.13 Jenis-jenis solar PV.....	22
Gambar 2.14 <i>Thin Film Solar Cell</i>	23
Gambar 2.15 Pergerakan <i>Solar Cell</i> yang Mengikuti Arah Datangnya Sinar Matahari	24

Gambar 2.16 <i>Solar Tracker System 1 Axis</i>	25
Gambar 2.17 Sistem Pelacak Matahari dengan 1 Sumbu Pergerakan Berdasarkan Orientasinya	26
Gambar 2.18 Susunan <i>Solar Tracker System</i> dengan 1 sumbu pergerakan	27
Gambar 2.19 Sistem Pelacak Matahari dengan 2 Sumbu Rotasi Vertikal dan Rotasi Horizontal	29
Gambar 2.20 Susunan <i>Solar Tracker System</i> dengan 2 Sumbu Pergerakan	30
Gambar 2.21 Perbedaan Penampang Lensa Fresnel dan Lensa Cembung.....	31
Gambar 2.22 Keluaran Cahaya pada Lensa Fresnel.....	32
Gambar 2.23 Permukaan <i>Fresnel Lens Concentrator</i>	33
Gambar 2.24 Penentuan Jarak Optimal antara Sel Surya dan Lensa Fresnel.....	33
Gambar 2.25 Pantulan Cahaya pada Cermin Datar.....	35
Gambar 2.26 Reflektor yang Terpasang pada Sel Surya.....	36
Gambar 2.27 Karakteristik Sel Surya Kurva Arus-Tegangan	37
Gambar 3.1 Gedung C Fakultas Teknik Universitas Islam Riau	42
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	43
Gambar 3.3 <i>Solar cell Polycrystalin 10 WP</i>	44
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Control System Solar Tracker Single Axis</i>	45

Gambar 3.5 Alat <i>Solar Tracker Single Axis</i> secara keseluruhan.....	45
Gambar 3.6 Data <i>Logger Solar Cell</i> Berbasis Arduino-Nano.....	46
Gambar 3.7 <i>Pyranometer</i>	46
Gambar 3.8 <i>Photometer</i>	47
Gambar 3.9 3D Printer	47
Gambar 3.10 Termometer Digital	48
Gambar 3.11 Lensa Fresnel.....	48
Gambar 3.12 Cermin datar	49
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada <i>Solar Cell</i> Terhadap Voc.....	55
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada <i>Solar Cell</i> Terhadap Isc.....	60
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada <i>Solar Cell</i> Terhadap P_{max}	65
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada <i>Solar Cell</i> Terhadap FF.....	70
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada <i>Solar Cell</i> Terhadap P_{out}	75

Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada *Solar Cell*

Terhadap Efisiensi 80



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	53
Tabel 4.1 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Voc	54
Tabel 4.2 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Isc	58
Tabel 4.3 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap P_{max}	63
Tabel 4.4 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap <i>Fill Factor</i>	68
Tabel 4.5 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap <i>Pout</i>	73
Tabel 4.6 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Efisiensi	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari dapat dimanfaatkan dengan menggunakan efek *photovoltaic*, efek ini bekerja di dalam *solar cell* yang terdiri dari susunan *semiconductor* agar dapat menghasilkan energi listrik (Yani, 2016). Seperti yang telah diketahui *solar cell* yang dominan digunakan saat ini memiliki kelemahan yaitu daya yang kecil, harga yang *relative* mahal ditambah posisi (sudut) pemasangan yang konstan, menurut (Radhika & S.K.Suman, 2015) bahwa iradiasi solar bergantung pada sudut *azimuth* surya yang mendefinisikan tinggi matahari. Dengan sudut pemasangan yang konstan dapat mengakibatkan rendahnya iradiasi cahaya yang diterima oleh *solar cell* yang akan menurunkan kinerja *solar cell*. Untuk itu perlu dilakukan suatu upaya agar kinerja *solar cell* dapat meningkat, Upaya yang telah dilakukan salah satunya adalah menggunakan reflektor surya (Muchammad & Setiawan, 2011) namun cara ini masih terdapat kekurangan yaitu apabila reflektor surya tidak terpasang secara optimal dan *photovoltaic* tidak tegak lurus terhadap sang surya maka akan mengakibatkan munculnya *partial shading* yang dapat menutup permukaan *PV module* secara horizontal, sehingga pada bagian *PV module* yang terbayangi arus akan terpotong dan kinerja *solar cell* akan menjadi drop (Nugroho, Rismanto et al., 2014). Untuk mengatasi hal tersebut solusi yang paling memungkinkan adalah dengan memaksimalkan intensitas cahaya matahari yang akan diserap *PV module* dengan

menggunakan peralatan pendukung seperti *solar tracker*, *fresnel lens concentrator* dan reflektor surya. Dengan menggunakan peralatan pendukung tersebut maka jumlah cahaya matahari yang jatuh ke *PV module* akan terkonsentrasi dan *PV module* secara otomatis dapat mengikuti sudut *azimuth* matahari dengan tepat sehingga penyerapan sinar matahari akan menjadi optimal dan cara ini akan membuat kinerja *solar cell* meningkat. oleh sebab itu perlunya di lakukan penelitian untuk mengetahui analisa pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap kinerja *solar cell*.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dirumuskan untuk diselesaikan dalam penelitian yang akan dilakukan antara lain:

1. Bagaimana pengaruh peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap kinerja yang dihasilkan *solar cell*?
2. Dari peralatan pendukung *solar cell* yang terdiri dari: *solar tracker*, *fresnel lens concentrator* dan reflektor surya, peralatan pendukung manakah yang memiliki kinerja paling baik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dalam penelitian ini antara lain:

1. Mendapatkan pengaruh dari peralatan pendukung *solar cell* terhadap kinerja *solar cell*.
2. Memperoleh peralatan pendukung pada *solar cell* yang memiliki kinerja paling baik terhadap *solar cell*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam hal ini untuk memperingatkan dan memperjelas suatu penelitian agar lebih fokus, dapat dibahas lebih baik dan tidak meluas, maka perlu di rencanakan batasan masalah yang meliputi:

1. Jenis *solar cell* yang digunakan adalah jenis *Polycrystalline*
2. Pengujian bertempat di Gedung C Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
3. Menggunakan rangkaian *solar tracker system single Axis* berbasis *microcontroller* arduino nano.
4. Menggunakan rangkaian data *logger* untuk sistem input data berbasis *microcontroller Arduino Nano*.
5. Peralatan pendukung *solar cell* yang digunakan yaitu *solar tracker*, reflektor dan *lensa fresnel*.
6. Variabel pengujian dengan menambahkan peralatan pendukung dan tidak menambahkan peralatan pendukung pada *solar cell*.
7. Variabel yang diambil antara lain, intensitas radiasi sinar matahari, luas area permukaan *photovoltaic* modul, daya masuk *solar cell*, tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), *Fill Factor (FF)*, daya maksimum (P_{max}), tegangan maksimum (V_{max}), arus maksimum (I_{max}), daya keluaran (P_{out}), efisiensi *solar cell* (η).

1.5 Sistematika Penulisan

Pada sistematika penulisan ini terdapat lima bab garis besar dalam pembuatan tugas akhir penelitian yang dijelaskan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab bagian tinjauan pustaka ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan *solar cell*, *solar tracker*, reflektor surya, *fresnel lens concentrator*, karakteristik dan parameter yang menunjukkan kinerja *solar cell*.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai waktu dan tempat penelitian, diagram alir penelitian, peralatan yang digunakan, persiapan pengujian, prosedur pengujian, jadwal kegiatan penelitian.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisikan perbandingan tentang hasil pengujian, menganalisa dan melakukan perhitungan hasil pengujian untuk mendapatkan tegangan rangkaian terbuka, arus hubung singkat, daya maksimum, *fill factor*, daya keluaran dan efisiensi *solar cell*.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisikan kesimpulan dan saran yang di dapatkan penulis selama melakukan pengujian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi energi matahari

Matahari merupakan bintang terbesar di *galaxy* bima sakti, yang menjadi pusat tata surya selama ini, telah di ketahui bahwa matahari mempunyai luas sekitar 11.990 kali jika di bandingkan dengan bumi, artinya sangat jauh lebih besar sekali matahari dibandingkan bumi yang menjadi tempat kita hidup selama ini (Yulianto, 2017). Kemudian massa matahari memiliki perbandingan yaitu 330.000 kali dari pada bumi dengan komposisi hidrogen sebanyak hampir $\frac{3}{4}$ dan yang sebagian besar mendominasi adalah helium (Yulianto, 2017). Setiap lapisan matahari memiliki suhu yang bervariasi, pada lapisan *photosphere*, yang lebih di kenal sebagai lapisan permukaan suhu matahari pada lapisan ini mencapai 6.000 K, sedang di dalam *core of sun*, dimana pada bagian ini terdapat proses reaksi inti yang memiliki kelajuan hingga mencapai 3×10^8 m/s, kelajuan tersebut dapat melewati ruang hampa (Yulianto, 2017). Penggabungan inti dari hidrogen menjadi inti helium melepaskan energi yang sangat besar, energi yang di lepaskan ke ruang angkasa ini berupa gelombang radiasi elektromagnetik, radiasi ini tercatat memiliki kecepatan dan kelajuan yaitu $9,5 \times 10^{25}$ dan energi yang di lepaskan menuju atmosfer bumi bernilai 117×10^{14} kW (Yulianto, 2017).



Gambar 2.1 *Layers of Sun* (Yuliarto, 2017)

Radiasi matahari adalah radiasi yang ditimbulkan oleh pancaran matahari dan pancaran tersebut kemudian di transmisikan melalui atmosfer bumi. Radiasi yang tersebar memiliki bentuk berupa gelombang, dimana ruang hampa menjadi tempat tersebarnya radiasi tersebut. Di dalam radiasi matahari muncul sebuah istilah yaitu foton, foton adalah panjang gelombang dan besarnya energi yang di transfer oleh radiasi matahari dalam satuan diskrit. Besar atau kecilnya total daya matahari yang dihasilkan tergantung kepada jarak ke lokasi yang di tuju, radiasi yang tersebar melalui ruang hampa maka besar energi yang dihasilkannya akan jauh semakin mengecil dan membuat radiasi berkurang sangat besar apabila lokasi jauh dari matahari (Yuliarto, 2017). Intensitas radiasi matahari H_0 (W/m^2) kepada suatu benda yang berjarak D dapat kita hitung dengan menggunakan persamaan yaitu:

$$H_0 = \frac{R^2 Sun}{D^2} H_{Sun} = \frac{R^2 Sun \sigma T^4}{D^2} \quad (2.1)$$

Dimana:

H_{Sun} = Kerapatan daya dari permukaan matahari (W/m^2)

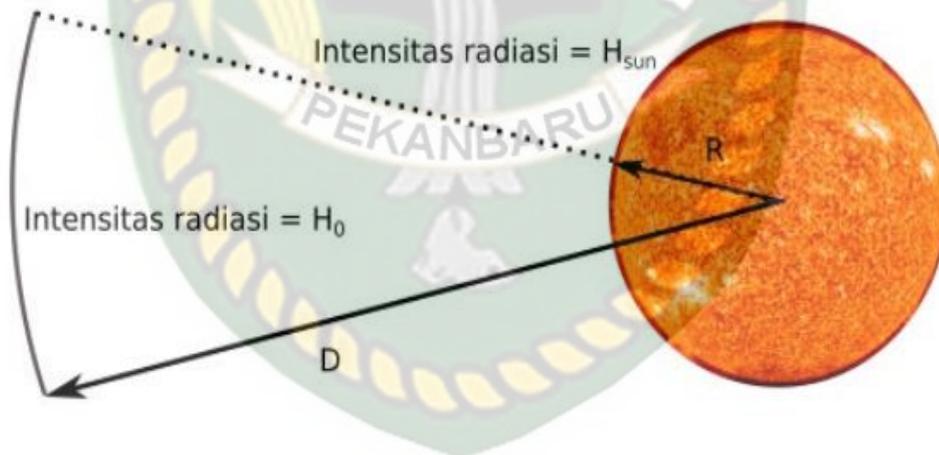
R_{Sun} = Radius matahari (m)

D = Jarak benda dari matahari (m)

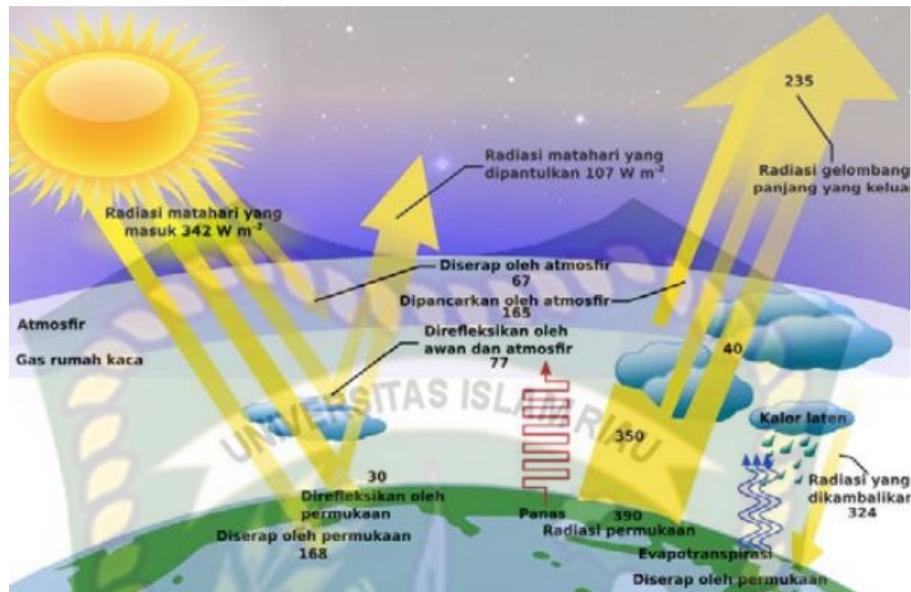
H_{Sun} ditulis dalam bentuk persamaan benda hitam oleh Stefan Boltzman



Gambar 2.2 Jarak matahari dengan planet yang mengelilinginya (Yuliarto, 2017)



Gambar 2.3 Ilustrasi cara menentukan intensitas radiasi matahari (Yuliarto, 2017)



Gambar 2.4 Jumlah Radiasi yang sampai ke bumi (Yuliarto, 2017)

Sesungguhnya, radiasi matahari yang sampai ke bumi itu relatif konstan, dan radiasi total yang di terima oleh bumi setiap saat berada pada kondisi yang sama, namun di beberapa wilayah di bumi, terdapat wilayah yang memiliki perbedaan dan itu di sebabkan oleh beberapa hal, contohnya seperti efek atmosfer yang menyebabkan cahaya matahari mengalami perbedaan dalam hamburan cahaya dan penyerapan serta itu semua di sertai dengan variasi lokal di atmosfer seperti air, kemudian polusi dan awan (Yogi, G, D., 2015). Posisi garis lintang, musim yang berubah tahun demi tahun, dan waktu yang berubah yang di sebabkan oleh rotasi, itu semua merupakan salah satu faktor yang menyebabkan adanya perbedaan radiasi yang diterima oleh bumi. Kalkulasi radiasi yang sampai ke bumi biasa di sebut insiden radiasi, radiasi yang terjadi pada matahari terbagi menjadi 3 yaitu radiasi secara langsung (*direct radiation*), radiasi secara difusi (*diffuse radiation*), radiasi secara pemantulan (*reflect radiation*) (Yuliarto, 2017).

2.2 Teori perpindahan panas

Perpindahan panas merupakan sebuah proses berpindahnya suatu energi yaitu kalor dari suatu daerah ke daerah lain, di sebabkan karena adanya beda temperatur pada daerah yang menjadi tempat sumber energi tersebut berasal (Cengel, A, 2003). Mekanisme perpindahan panas yang telah di ketahui saat ini ada 3 yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

2.2.1 Konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan sebuah proses perpindahan panas yang terjadi dari daerah yang memiliki temperatur tinggi ke daerah yang mempunyai temperatur yang lebih rendah atau antara medium yang berlainan kemudian kontak secara langsung (Cengel, A, 2003). Untuk menghitung perpindahan panas konduksi pada sebuah benda atau daerah maka dapat di cari dengan menggunakan persamaan yaitu:

$$qk = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

Keterangan:

q = Laju aliran kalor (W)

k = Konduktivitas termal bahan ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A = Luas penampang (m^2)

dT/dx = Gradient suhu terhadap penampang

2.2.2 Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan energi dalam bentuk kalor antara suatu permukaan dengan fluida, perpindahan energi tersebut dihasilkan oleh sebuah molekul yang bergerak secara acak atau akibat dari pergerakan fluida (Deceased & Beckman, 2013). Konveksi menjadi sebuah mekanisme yang sangat penting bagi perpindahan panas khususnya antara permukaan benda padat dengan fluida. Energi yang berpindah dengan cara seperti ini, maka akan mengakibatkan energi tersebut menjadi semakin tinggi, energi yang berada dalam partikel-partikel fluida tersebut cenderung akan meninggi dengan kenaikan suhu yang tinggi pula (Cengel, A, 2003). Kemudian partikel yang terkandung dalam sebuah fluida akan berpindah ke suhu yang lebih rendah dari sebelumnya, lalu partikel tersebut bergabung dengan partikel fluida yang lain.

Perpindahan panas konveksi dapat di klasifikasikan berdasarkan gerakan alirannya, yang terbagi menjadi 2 yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Konveksi bebas atau konveksi alami adalah perpindahan panas yang terjadi akibat adanya *gradient* suhu yang menghasilkan perbedaan kerapatan, kemudian konveksi paksa adalah perpindahan panas yang disebabkan karena adanya penggunaan peralatan pendukung yang membantu panas tersebut berpindah dan perpindahan energi tersebut dapat di *control*, alat-alat pendukung perpindahan panas dapat berupa kipas dan pompa (Cengel, A, 2003).

2.2.3 Radiasi

Perpindahan panas radiasi merupakan proses transfer energi tanpa memerlukan zat perantara. Proses perpindahan panas dari matahari ke bumi

merupakan salah satu contoh yang paling besar yang bisa kita lihat, radiasi *electromagnetic* terbagi menjadi beberapa jenis, salah satunya adalah radiasi termal. Radiasi surya termasuk ke dalam jenis radiasi termal, radiasi ini merambat dengan kecepatan cahaya yang luar biasa yaitu $3 \times 10^{10} \text{ m/s}$ (Cengel, A, 2003).

2.3 *Solar Cell (Photovoltaic)*

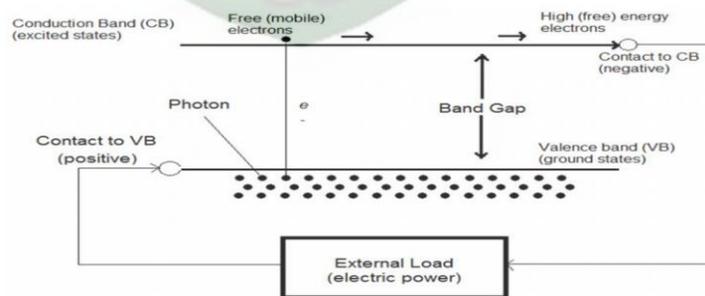
Kata '*Photovoltaic*' berasal bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata, yaitu *photos* yang berarti cahaya dan *volta* (berasal dari nama Alessandro Volta seorang fisikawan) memiliki arti yaitu unit tegangan listrik (Bagher et al., 2015). *Photovoltaic* merupakan kebalikan dari penciptaan laser, sebelumnya *photovoltaic* diciptakan melalui konversi energi cahaya matahari yang diubah menjadi energi listrik, sedangkan laser diciptakan dari proses konversi energi listrik menjadi cahaya (Blakers et al., 2013)

Photovoltaic (PV) merupakan teknologi yang memiliki fungsi untuk mengubah atau mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung. Henri Becquerel pertama kali menemukan efek *photovoltaic* ini pada tahun 1839, efek *photovoltaic* merupakan fenomena terserapnya energi cahaya oleh sel *photovoltaic* yang kemudian energi tersebut di konversi menjadi energi listrik (Hersch & Zweibel, 1982). Selain pada *solar cells*, fenomena ini dapat pula kita amati disaat kita menjemur sebuah diode dan pada kedua kaki dari diode akan menghasilkan arus listrik (Sofronova, 2016).

2.4 Prinsip kerja *Photovoltaic*

Dalam menghasilkan energi, sel surya memiliki 2 cara yaitu: (1) dengan cara menyerap cahaya matahari yang berfungsi sebagai pembawa muatan bebas ke dalam bahan semikonduktor, (2) dengan melakukan pemisahan antara muatan positif dan muatan negatif di dalam satu arah terminal, kemudian perbedaan tegangan mengakibatkan munculnya arus listrik (Budi Yuwono, 2005). Semikonduktor merupakan sumber bahan terbentuknya sel surya, bahan ini memiliki pita energi sebagai tempat melekatnya elektron terikat yang lemah, pita ini disebut dengan pita valensi.

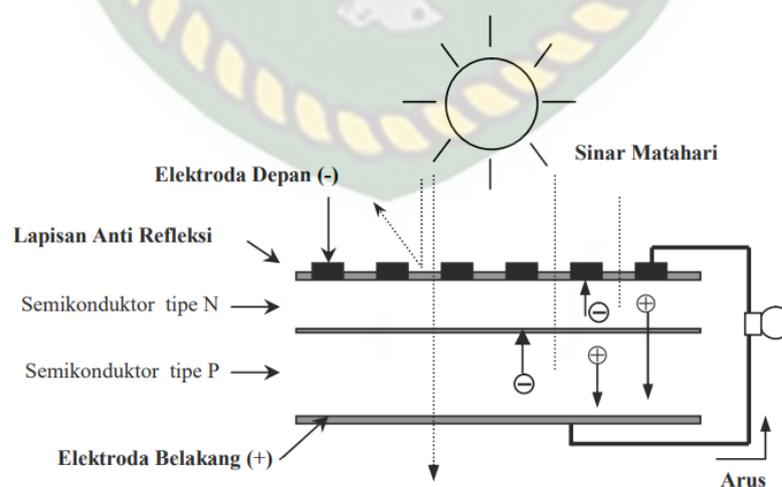
Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor memiliki elektron yang terikat dengan lemah pada suatu pita energi yang disebut pita valensi. Ketika elektron diberikan energi melebihi batas *threshold (band-gap)*, maka akan mengakibatkan ikatan pada elektron terputus. Kemudian elektron tersebut berkiprah bebas pada suatu pita tenaga baru yang dianggap pita konduksi. Elektron bebas dalam pita konduksi dapat menghasilkan listrik. Bebasnya elektron disebabkan oleh adanya *foton* yaitu partikel yang berasal dari radiasi sinar matahari (Dwidayanti et al., 2017)



Gambar 2.5 *Photovoltaic Effect* (Dwidayanti et al., 2017)

Gambar 2.5 memperlihatkan sel surya berproses ketika terpapar radiasi sinar matahari, partikel radiasi sinar matahari yaitu foton menabrak elektron, ketika energi yang terkandung di dalam foton sudah melewati batas (*band-gap*), maka akan mengakibatkan elektron keluar dari pita valensi (VB) hingga melalui pita pemisah (*band-gap*) yang akhirnya akan sampai menuju pita konduksi (CB) (Dwidayanti et al., 2017). Kemudian elektron-elektron tersebut akan terkumpul oleh suatu *selective contact* menuju pita konduksi, dan elektron-elektron tersebut dapat bergerak bebas antara satu sama lain, pergerakan elektron tersebut menghasilkan suatu energi yang disebut energi listrik. Sebelum energi yang merupakan arus listrik tersebut masuk menuju pita valensi melewati *second selective contact* energi tersebutlah yang digunakan sesuai dengan kebutuhan pemakainya (Yuwono, 2005).

Lebih rinci lagi proses konversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik ditunjukkan oleh gambar 2.6 dibawah ini

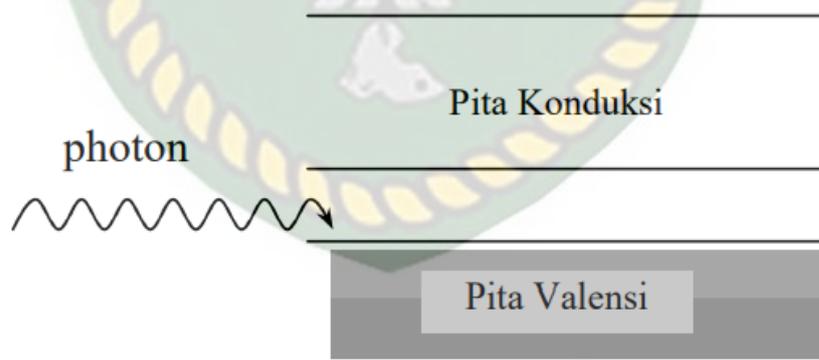


Gambar 2.6 Proses konversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik

(Yuwono, 2005)

Bagian paling penting untuk terciptanya energi listrik dari sebuah modul *cell* surya adalah *absorber* (penyerap). Meskipun bagian tersebut menjadi yang paling utama, masing-masing bagian (lapisan) yang lain juga turut ikut serta mempengaruhi efisiensi *solar cell* tersebut. Dikarenakan *absorber* merupakan bagian paling penting dan utama dalam pembentukan sinar matahari menjadi *energy* listrik, maka dari itu *absorber* diharapkan mampu menyerap radiasi sinar matahari sebanyak mungkin, perlu diketahui cahaya matahari memiliki banyak jenis gelombang elektromagnetik sehingga kinerja *absorber* sangat di harapkan (Yuwono, 2005)

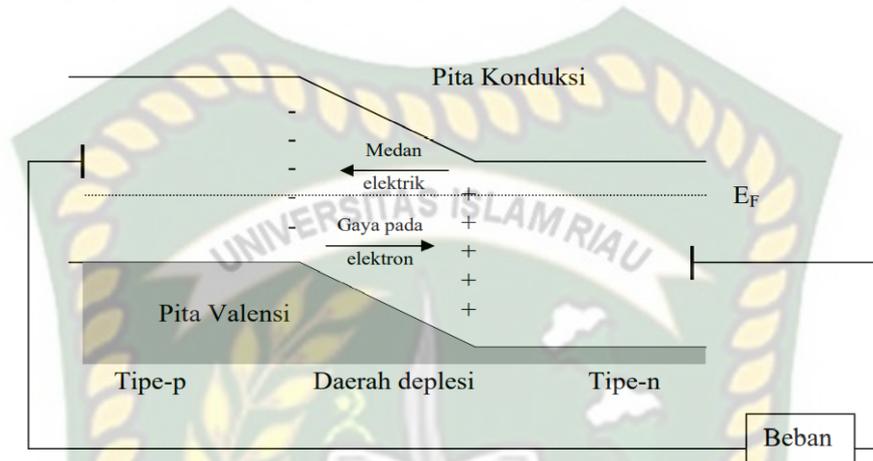
Semikonduktor merupakan bahan dengan struktur seperti isolator, memiliki celah energi dengan estimasi kurang dari (1eV) bahkan lebih. Dengan adanya nilai celah energi tersebut maka mengakibatkan elektron dapat dengan mudah *jump* dari *Valence Band* (VB) ke *Conduction Band* (CB) (Dwidayanti et al., 2017). Proses perpindahan elektron dari VB ke CB dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Kontruksi susunan pita di dalam sebuah semikonduktor (Yuwono, 2005)

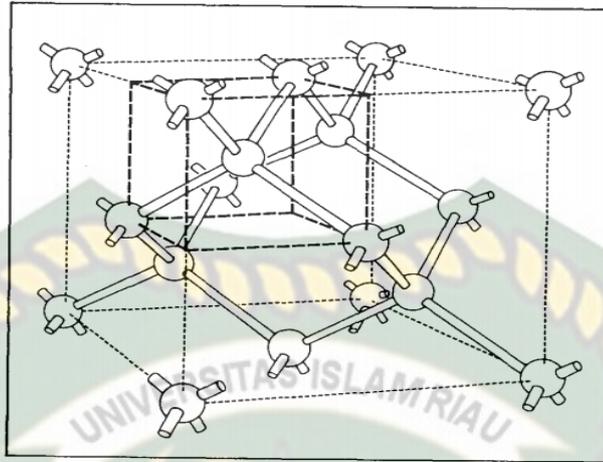
Ketika sambungan yang berada di tengah-tengah antara pita konduksi dan pita valensi terkena energi foton dari radiasi sinar matahari maka akan mengakibatkan

elektron yang sebelumnya ada di dalam *Conduction Band* (CB) dapat melompat dan menyebrang ke dalam *Valence Band* (VB), hal ini ditandai dengan adanya *level energy* yang diperoleh, dan dapat ditunjukkan oleh gambar 2.8 dibawah ini.



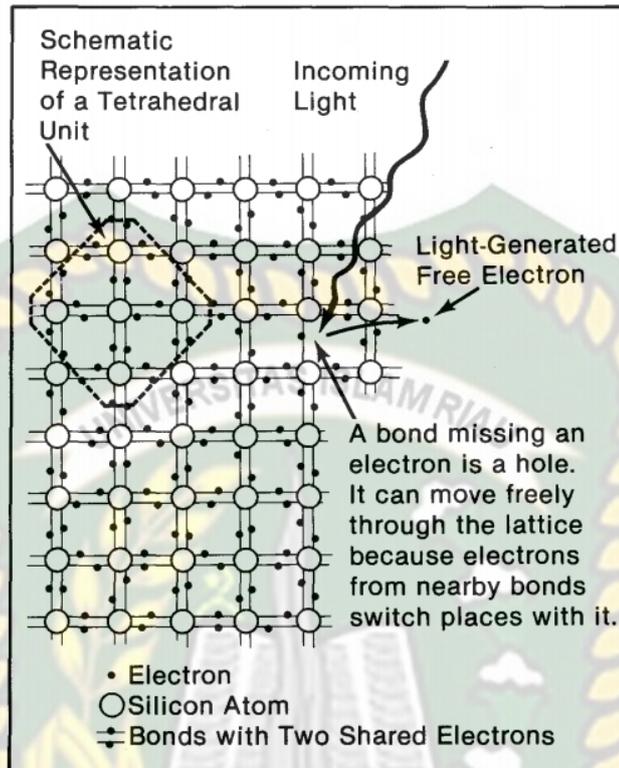
Gambar 2.8 *Level energy* yang diperoleh dari p-n *junction* semikonduktor (Yuwono, 2005)

Terlihat pada gambar 2.8 radiasi cahaya matahari jatuh ke permukaan *solar cell*, cahaya matahari mengandung foton-foton, dan masing masing dari foton tersebut memiliki *level* energi yang berbeda-beda, foton yang dapat melepaskan atom dari ikatannya, hanyalah foton yang memiliki energi dengan level tertentu, beberapa foton ada yang hanya terpantul kembali tanpa di serap, dan beberapa yang lain dapat terserap dan berhasil menembuskan pertahanan ikatan atom tersebut. Untuk lebih detailnya, Sebelumnya elektron berada pada *silicon* yang memiliki struktur kristal seperti gambar 2.9 dibawah ini.



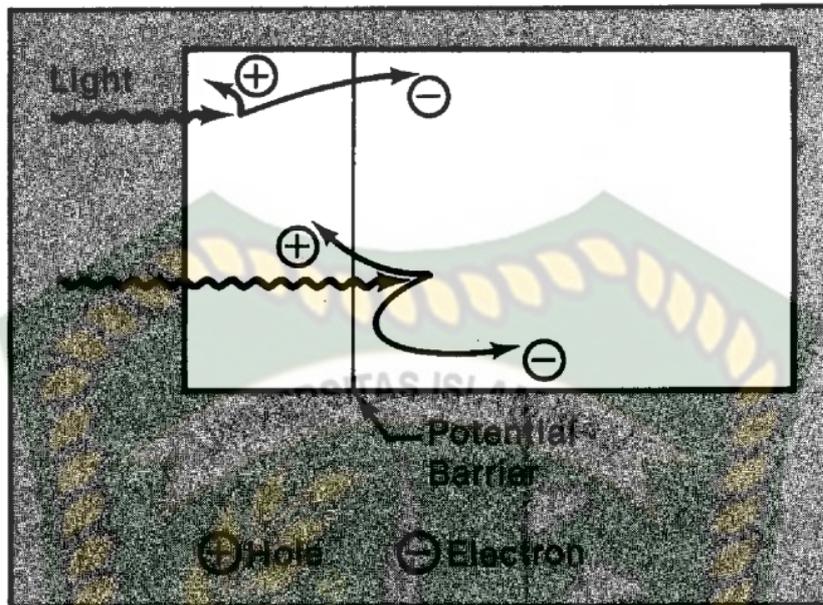
Gambar 2.9 Representasi pengaturan struktur kristal pada *silicon* (Hersch & Zweibel, 1982)

Penyebab elektron dapat terlepas dari ikatan disebabkan oleh radiasi cahaya matahari yang mengandung foton dengan tingkat energi tertentu (*band-gap*) mengakibatkan elektron bergetar dengan kuat. *Silicon* merupakan tempat melekatnya elektron-elektron yang berikatan antara satu sama lain, jika foton yang berasal dari radiasi cahaya matahari cukup, maka foton tersebut dapat membuat elektron terlepas dari ikatannya kemudian pada struktur *silicon* akan meninggalkan *hole* yang sebelumnya *hole* itu merupakan tempat melekatnya elektron (Hersch & Zweibel, 1982).



Gambar 2.10 Cahaya yang mengandung foton yang cukup akan mampu membuat elektron lepas dan meninggalkan *hole silicon* (Hersch & Zweibel, 1982)

Band-gap dapat di defensikan sebagai sekumpulan energi yang dibutuhkan agar elektron dapat terlepas dari ikatan konvalennya sehingga proses pemisahan tersebut dapat menghasilkan aliran listrik (Hersch & Zweibel, 1982). Di dalam *solar cell* terdapat komponen yang disebut *potential barrier* yaitu merupakan sebuah penghalang yang memiliki fungsi sebagai pemisah antara elektron yang terlepas dan lubang yang dihasilkan cahaya, beberapa elektron akan cenderung bergerak atau masuk ke satu sisi sel, dan akan membentuk banyak lubang yang lain (Hersch & Zweibel, 1982). Gambar 2.11 dibawah ini merupakan representasi *potential barrier* di dalam *solar cell*.



Gambar 2.11 *Potential barrier in solar cell silicon* (Hersch & Zweibel, 1982)

Dengan cara pemisahan tersebut kecil kemungkinan elektron akan kembali ke *hole* yang ditinggalkannya, sehingga kehilangan aliran listrik dapat teratasi. Elektron dari *Valence Band* (VB) tereksitasi menuju *Conduction Band* (CB). Sejak elektron meninggalkan *hole* maka elektron menjadi pembawa n dan pembawa p. pembawa n akan berusaha menuju *junction* (persambungan) dan pembawa p akan berusaha menuju hal yang sama, akibat dari perpindahan ini menghasilkan beda potensial. kemudian arus dan daya yang berasal dari efek *photovoltaic* dapat digunakan untuk rangkaian listrik yang membutuhkan (Hersch & Zweibel, 1982).

Ikatan konvalen pada elektron harus dapat di lepas oleh energi foton (hc) yang memiliki energi sedikit lebih ekstra dari pada *band-gap* itu sendiri. Terlalu besarnya energi yang dikandung foton dari pada *band-gap* maka akan menyebabkan energi *extra* dari foton terbuang menjadi energi panas yang akan dialirkan melalui sel surya. Melihat fenomena tersebut maka menjadi suatu hal yang penting agar

dapat melakukan pengaturan pada bahan dengan melakukan modifikasi struktur molekul semikonduktor. Sehingga dalam penggunaannya efisiensi *solar sell* dapat di tingkatkan.

Cara untuk meningkatkan efisiensi pada *solar cell* yaitu dengan memastikan radiasi cahaya matahari yang mengandung foton sebanyak-banyaknya harus dapat diserap oleh *solar cell*, refleksi dan rekombinasi harus diperkecil lalu konduktivitas bahan di tingkatkan. Untuk memastikan agar foton dapat terserap dengan baik, maka kualitas *absorber* harus di perhatikan, *absorber* yang baik dan dapat menyerap berbagai macam energi dari sinar matahari harus memiliki pita dengan *band-gap* rengkuhan yang luas, barulah *absorber* tersebut dikatakan ideal dan memiliki efisiensi yang baik (Dwidayanti et al., 2017). Saat ini salah satu bahan yang paling memiliki potensi dan paling banyak diteliti dan dikembangkan untuk menjadi elektroda *solar cell* yaitu TiO₂ (Dewi et al., 2012). TiO₂ merupakan salah satu bahan titania, yang diketahui masih terdapat kekurangan yaitu rekombinasi prematur di dalam sel, mengakibatkan efisiensi menjadi rendah, sehingga perubahan struktur mesti dilakukan dengan melakukan modifikasi ke dalam bentuk komposit (Ullal, 2004).

2.5 Jenis-jenis *Solar cell (PV)* Berdasarkan Bahan Pembentuknya

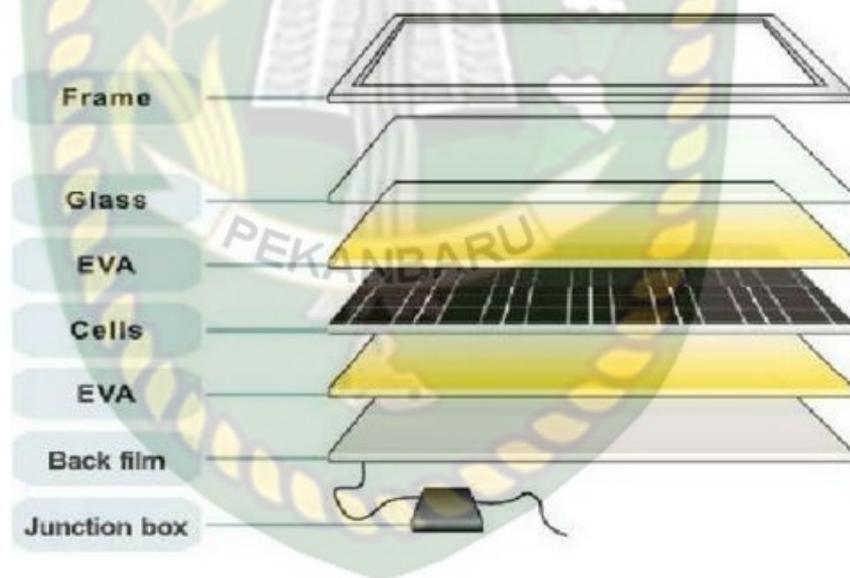
Semikonduktor merupakan bahan utama terbentuknya sel surya, bahan ini memiliki kemampuan dan karakteristik yang baik untuk dapat menyerap sinar radiasi matahari secara maksimal. Sejak Becquerel menemukan efek *photovoltaic* pertama kali pada tahun 1839, Sejak itu juga energi matahari menjadi prioritas utama dalam bidang ilmu pengetahuan yang bersifat ilmiah, energi radiasi matahari yang di serap

atmosfer bumi setiap jamnya mampu memenuhi kebutuhan energi di bumi selama satu tahun penuh, begitu melimpahnya energi ini sehingga ilmuwan dari tahun ke tahun selalu berlomba-lomba dalam meneliti, melakukan riset ilmiah demi meningkatkan penemuan dibidang *solar cell* yang tentunya energi ini di masa depan akan sangat mampu untuk menggantikan energi fosil yang sangat merusak. Riset dan penelitian dengan tujuan mencari teknologi PV dengan efisiensi tertinggi terus dilakukan sampai saat ini dengan tujuan kelak manusia agar tidak bergantung lagi pada energi fosil. Teknologi PV menawarkan keuntungan yang sangat signifikan, kecil dan dapat digunakan hampir dimana saja. PV merupakan energi tanpa batas, selama matahari bersinar terang energi ini akan selalu eksis di dunia. Di bawah ini merupakan jenis-jenis *solar cell* yang paling banyak penggunaannya dan sudah di komersialisasikan ke seluruh dunia.

1. *Monocrystalline Solar cell (Mono-Si)*

Yaitu merupakan *solar cell* berkrystal tunggal, di dalam perkembangannya jenis ini merupakan jenis yang paling memiliki efisiensi tertinggi dikelasnya, *single* kristal *silicon* merupakan bahan semikonduktor yang sangat baik sebagai penyerap radiasi cahaya matahari (Bagher et al., 2015). Dengan silikon solid tanpa adanya *boundaries* menyebabkan atom dapat bergerak dengan bebas, kebanyakan *silicon* berkrystal tunggal dibuat dengan melalui proses *Czochralski* proses ini menghasilkan *silicon* ingot yang berbentuk silinder dengan panjang 2 meter, dan berat yang dihasilkan beberapa ratus kilogram, selanjutnya dilakukan pengirisan setipis mungkin dengan ukuran beberapa ratus mikron sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan tujuannya ialah untuk mendapatkan *thin wafer* (Sofronova, 2016).

Di era sekarang ini *single crystalline* sangat banyak digunakan sebagai bahan semikonduktor bagi perangkat elektronik, karena sifatnya yang bagus dan kualitasnya yang mumpuni dalam menghantarkan listrik dan panas (Deceased & Beckman, 2013). Pengembangan perangkat elektronik di zaman ini di dasarkan pada penggunaan kristal tunggal ini menghasilkan kristal *silicon* tunggal murni dengan metode *Czochralski* membutuhkan biaya yang tidak murah, metode ini tergolong rumit, sehingga mempengaruhi harga jualnya di pasaran (Ullal, 2004). *Monocrystalin* dapat dibuat sampai pada ketebalan 200 mikron dan efisiensi yang dihasilkan mampu mencapai lebih dari 24% (Muchammad. & Setiawan, 2011).



Gambar 2.12 Struktur sel surya jenis *monocrystalin* (Sofronova, 2016)

2. *Polycrystalline Solar cell (multi-Si)*

Material pembentuk sel surya jenis ini terbuat dari proses peleburan di dalam tungku keramik dan kemudian di dinginkan secara perlahan dengan tujuan untuk mendapatkan bahan lapisan *silicon* yang akan muncul pada permukaan silikon. Jika

dibandingkan dengan *silicon* kristal tunggal sel surya ini masih kalah dalam hal efisiensi, efisiensi dari sel surya ini yaitu berkisar antara 10-12% (Muhammad et al. 2010)

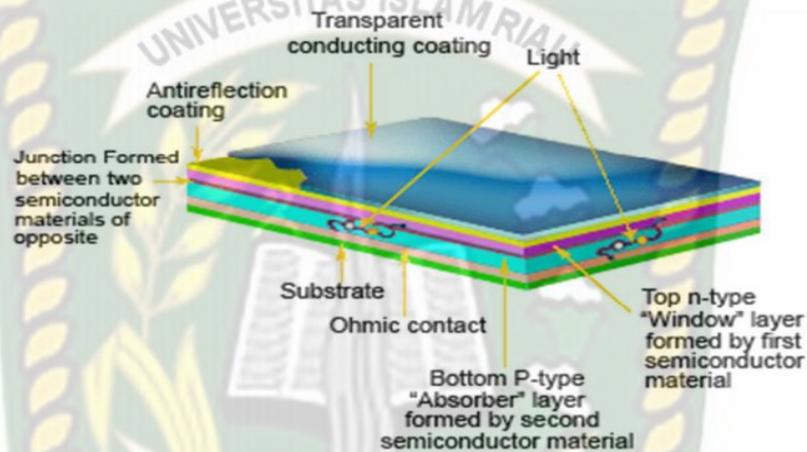


Gambar 2.13 Jenis-Jenis *Solar PV* (Bagher et al., 2015)

3. *Thin Film Solar cell* (TFSC)

Sel surya ini memiliki kemampuan yaitu dapat menyimpan beberapa lapisan tipis menjadi satu-kesatuan yang dapat berfungsi sebagai penyerap cahaya matahari. sel surya jenis ini telah di produksi dalam skala yang besar, dan telah digunakan untuk pengaplikasian material seperti CdTe, *amorphous*, kemudian CIGS dan material teknologi *film* tipis lainnya seperti a-Si, TF-Si (Bagher et al., 2015). *Thin film* memiliki variasi ketebalan yang berbeda-beda dari yang ukuran nanometer hingga mikrometer, *thin film silicon* generasi pertama (c-Si) memiliki ketebalan yaitu 200 μ m, dengan berat yang cenderung sangat ringan dari pada pesaingnya, sel surya jenis ini sangatlah fleksibel dan dapat di aplikasikan ke berbagai perangkat (Ullal, 2004). *Thin film* memang sangatlah murah dan fleksibel dalam pengaplikasian, namun tetap memiliki efisiensi yang kurang jika dibandingkan dengan c-Si konvensional meskipun demikian peningkatan efisiensi

teknologi *thin film* dari tahun ke tahun kian meningkat, seperti *thin film* dengan material CdTe dan CIGS kini memiliki efisiensi melampaui 21% (Ullal, 2004). Pengembangan dan pengaplikasian *thin film* ke depan akan menuju ke arah *solar cell* generasi ketiga, seperti DSSC, *nanocrystal*, sel surya *mikromorf* dan *perovskit* dan lain-lain (Bagher et al., 2015)



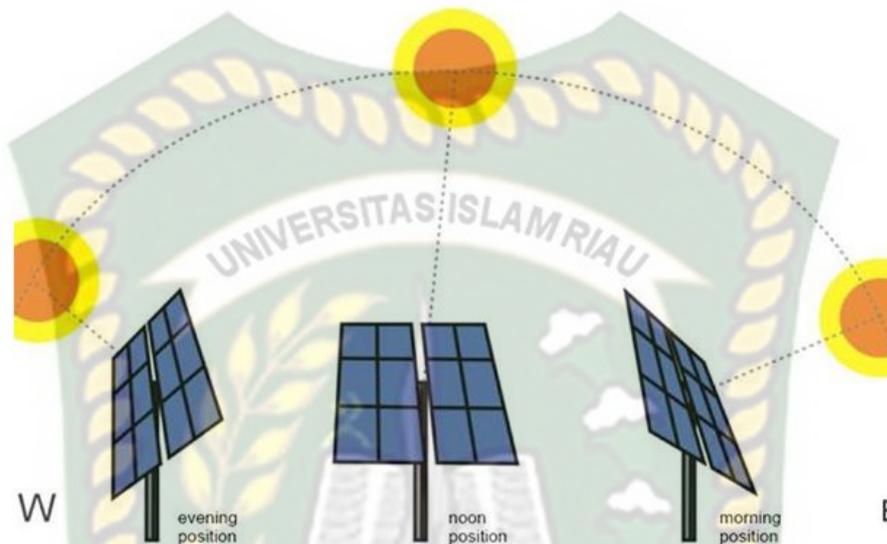
Gambar 2.14 *Thin Film solar cell* (Bagher et al., 2015)

2.6 Peralatan Pendukung Sel Surya

2.6.1 *Solar Tracker*

Merupakan sebuah rangkaian yang memiliki fungsi sebagai kontrol motor pada sel surya sehingga intensitas cahaya matahari yang di terima berada pada titik maksimumnya dan tidak kehilangan sedikitpun cahaya matahari (Margana, 2019). Papan sel surya akan selalu mengikuti arah datangnya cahaya matahari, pada pagi hari motor dan sel surya akan berada di timur, karena arah awal datangnya matahari bermula dari sana, kemudian ketika sore hari motor dan sel surya otomatis akan berada di barat mengikuti arah cahaya matahari yang hendak tenggelam yakni di

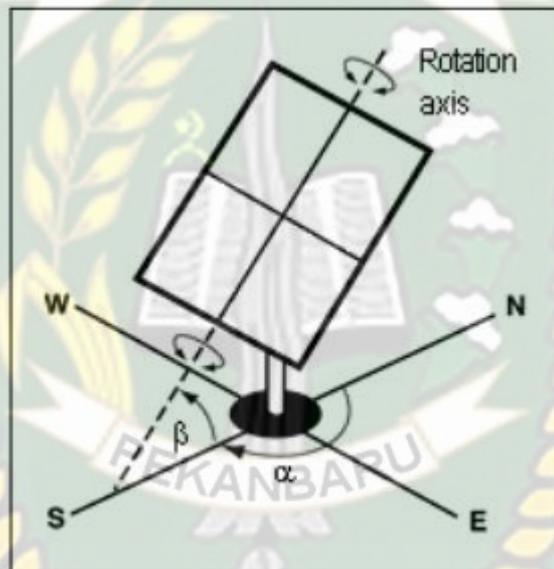
barat. Gambar 2.15 dibawah ini menunjukkan pergerakan *solar tracker* mengikuti arah sinar matahari yang datang dari timur ke barat.



Gambar 2.15 Pergerakan *solar cell* yang mengikuti arah datangnya sinar matahari
(www.indiamart.com)

Sistem *solar tracker* kini terbagi ke dalam beberapa jenis dan pengelompokannya dapat di tentukan berdasarkan ciri masing-masing. Kelompok pertama sistem ini dapat dibuat dengan menjadikan jumlah sumbu pergerakan *solar cell* sebagai fokus utama. Adapun pada kelompok ini terdiri dari 2 jenis *solar tracker* yaitu pertama *solar tracker* dengan satu sumbu pergerakan artinya *solar cell* hanya akan bergerak pada sumbu horizontal yaitu X dan kedua *solar tracker* dengan dua sumbu pergerakan artinya *solar cell* akan bergerak mengikuti arah cahaya matahari menggunakan sumbu X dan Y (Margana, 2019). Bagian penggerak dan sistem *control* pada *solar tracker* cenderung memerlukan biaya yang tinggi, semakin banyak penggerak maka akan memerlukan *control* yang semakin rumit.

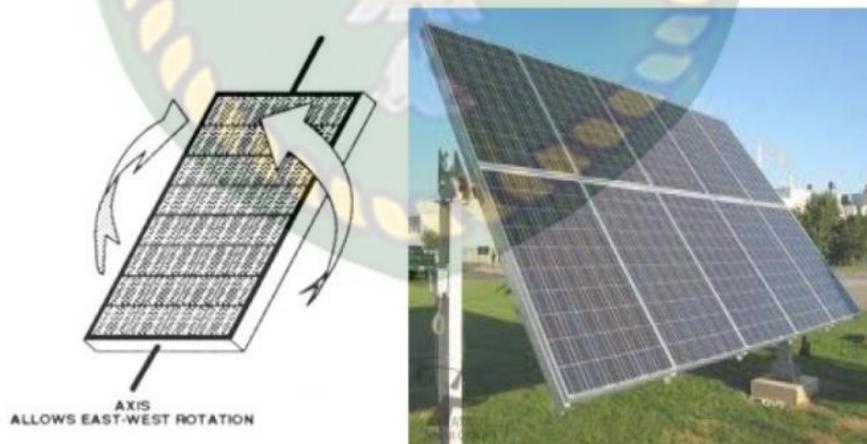
Dalam pengaplikasiannya tentu untuk ukuran *solar cell* yang kecil *solar tracker* dengan satu sumbu lebih unggul, karena tidak memakan biaya yang begitu besar dan pengaturan sudut elevasi yang dapat di tetapkan per periode dalam jangka waktu setahun. Gambar 2.16 menunjukkan sebuah sistem *solar tracker* dengan satu sumbu pergerakan yang terdiri dari tiang penyangga dan *solar cell* mampu mengikuti arah datangnya sinar matahari.



Gambar 2.16 *Solar tracker system* dengan 1 Axis (Tudorache & Kreindler, 2010)

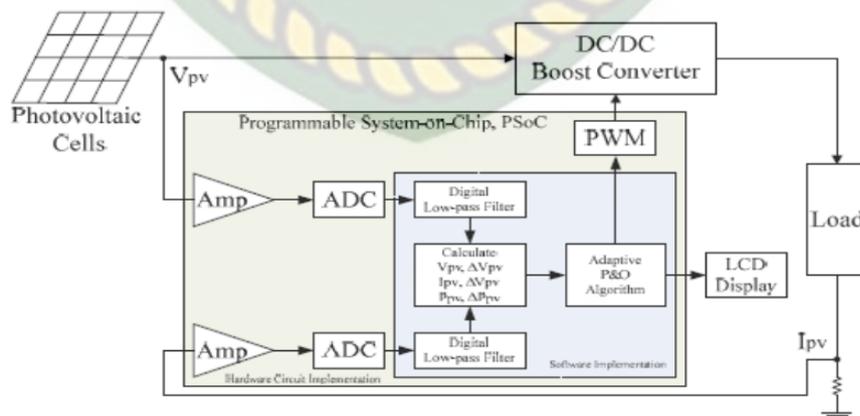
Kemudian untuk pengelompokan *solar tracker* juga dapat dilakukan dengan melihat orientasi perancangannya, berdasarkan orientasinya sistem pelacak matahari ini terbagi menjadi dua, yaitu pertama sistem pelacak matahari yang orientasi perancangan awalnya sudah memperhitungkan jalur, sudut (*angle*) dari pusat cahaya berasal (matahari), kedua sistem pelacak matahari tersebut di buat berdasarkan kondisi, pergerakan jalur, sudut (*angle*), di lapangan sesungguhnya artinya perhitungan mengenai jalur terbit dan terbenamnya matahari serta besar sudut yang dihasilkan sinar matahari tidak perlu dilakukan karena *solar tracker*

tersebut secara otomatis akan mengikuti sumber cahaya terkuat. Artinya sistem ini daring, langsung berinteraksi dengan sinar matahari yang datang. Menurut (Tudorache & Kreindler, 2010) sistem alat pelacak sinar matahari (*solar tracker*) dengan satu sumbu pergerakan memiliki 3 jenis yaitu pertama sistem pelacak sinar matahari dengan 1 sumbu horizontal, kedua sistem pelacak sinar matahari menggunakan 1 sumbu vertikal dan ketiga sistem pelacak matahari menggunakan satu sumbu yaitu sumbu miring. Sistem pelacak dengan sumbu X (horizontal), pergerakan sumbu miring terhadap tanah, dan permukaan depan modul paralel terhadap pusat pergerakan, kemudian untuk sistem pelacak dengan sumbu vertikal memiliki sumbu putaran yang sesuai dengan sumbu Y (vertikal), lalu untuk sistem pelacak sumbu miring, posisi sumbu pergerakan vertikal dan horizontal terhadap muka modul dan di pasang secara paralel terhadap sumbu pergerakan sama seperti pemasangan sistem pelacak sumbu X.



Gambar 2.17 Sistem pelacak cahaya matahari dengan 1 sumbu pergerakan berdasarkan orientasinya (Deepthi et al., 2008)

Solar tracker dengan satu pusat pergerakan biasanya memiliki komponen yang sangat penting, komponen ini berfungsi sebagai detektor yang menjadi tolok ukur apakah sinar matahari sudah benar-benar menyinari *solar cell* secara keseluruhan atau belum, komponen ini yaitu LDR (*Light Dependent Resistor*), pada *solar tracker* satu pergerakan memiliki 2 LDR yang di pasang pada setiap sisi yang berpotensi mendapatkan sinar matahari paling maksimal dan kehilangan sinar matahari paling maksimal, artinya akan ada waktunya LDR terkena sinar matahari dengan intensitas yang lama dan akan ada waktunya LDR akan tertutupi bayangan dan tidak mendapatkan cahaya matahari, LDR yang terkena matahari dengan intensitas matahari yang tinggi secara otomatis akan memberikan sinyal atau respon yang lebih kuat untuk di sampaikan ke sistem *control* (pengendali) kemudian sistem *control* pengendali meneruskan sinyal tersebut sehingga di terima oleh motor penggerak dengan tujuan motor bergerak dan memutar panel menuju cahaya matahari yang lebih tinggi intensitasnya (Sutaya & Ariawan, 2016). Gambar 2.18 menunjukkan susunan rangkaian *solar tracker* dengan 1 sumbu pergerakan.

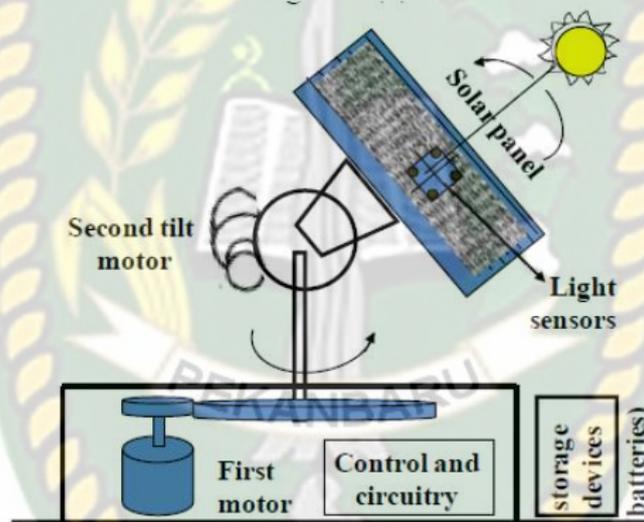


Gambar 2.18 Susunan *solar tracker system* dengan 1 sumbu pergerakan (Jwo et al., 2010)

Pada rangkaian diatas sel suryalah yang menjadi sensor untuk mendeteksi cahaya matahari yang datang, tegangan (VPV) dan arus keluaran (IPV) di alirkan menuju *chip* pengolah digital (pada rangkaian diatas digunakan *chip* PSoc) dalam hal ini dibutuhkan penguatan level sinyal input, sinyal yang berupa analog ini kemudian di teruskan untuk masuk menuju ADC (*Analog Digital Converter*) 12bit untuk kemudian sinyal analog diubah menjadi sinyal digital. Sinyal yang dibutuhkan untuk masuk ke motor DC haruslah merupakan sinyal asli dari VPV dan IVP maka dari itu dilakukanlah proses *filter* untuk menyaring *noise* frekuensi tinggi oleh filter digital IIR, hasilnya adalah sinyal asli yang akan langsung dapat langsung di olah dengan metode *algoritma perturbation adaptive* hasilnya kemudian akan masuk ke PMW dan kemudian dapat menggerakkan motor DC (Sutaya & Ariawan, 2016).

Kemudian pada *solar tracker* dengan 2 sumbu pergerakan yaitu sumbu horizontal (X) dan vertikal (Y), sistem pelacak ini terdiri dari 2 rangkaian sebagai sistem pelacak sinar yang mempunyai 4 sensor LDR, sensor di letakkan pada semua sisi yang mengarah pada mata angin utama, yaitu timur, barat, selatan, utara (Sutaya & Ariawan, 2016). Pada perancangan pelacak jenis ini perlunya dilakukan konfigurasi antara masing-masing sensor, yaitu sensor 1 dan sensor 2 di konfigurasi agar dapat mendeteksi cahaya yang datang secara horizontal, sedangkan sensor 3 dan sensor 4 di lakukan konfigurasi agar dapat melacak radiasi sinar matahari yang datang secara vertikal. Setelah konfigurasi dilakukan pengecekan di lanjutkan dengan melakukan pengujian, menyamakan tegangan yang

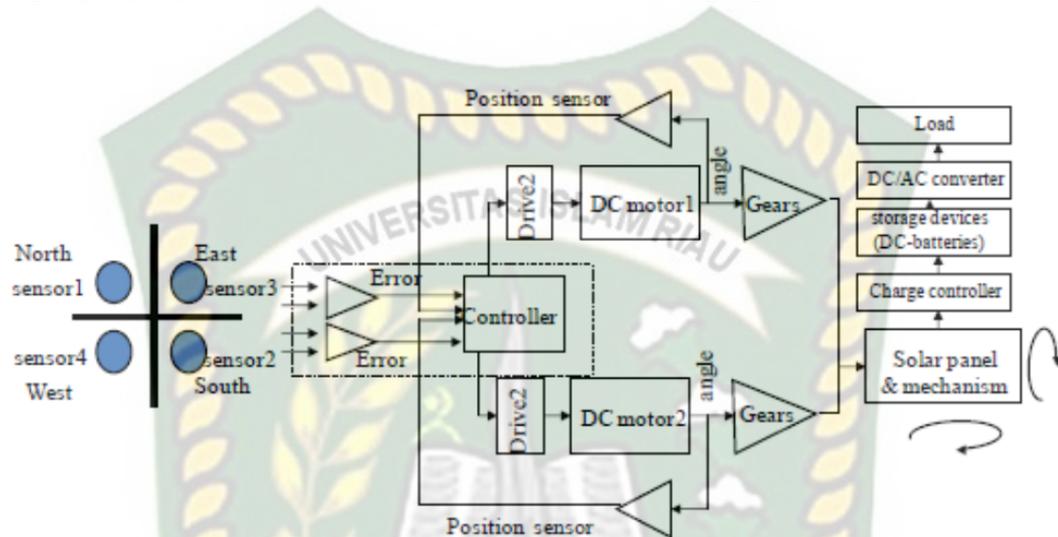
di terima setiap sensor dengan tujuan agar panel surya dapat berada pada posisi tegak lurus terhadap matahari, tegangan yang di terima masing-masing sensor harus sama pada posisi tersebut, jika terdapat salah satu sensor dengan indikasi tegangan lebih besar dari pada sensor lainnya maka menandakan bahwa sel surya tidak tegak lurus terhadap matahari, dan akhirnya perbedaan tegangan diantara sensor akan menghasilkan tegangan *error* yang akan berpengaruh pada daya keluaran yang di terima.



Gambar 2.19 Sistem pelacak matahari dengan 2 sumbu rotasi vertikal dan rotasi horizontal (Salem A, 2018)

Ketika matahari berubah posisi, artinya penyebaran cahaya mulai mengalami perubahan maka sistem akan menentukan sensor yang mana menerima cahaya dengan intensitas yang lebih tinggi, indikasi tersebut akan dapat di ketahui dengan melihat besarnya tegangan *output* pada masing masing sensor yang telah di terjemahkan menggunakan konverter *analog to digital*, nilai tegangan *output* yang dihasilkan sensor dapat membuat sistem mendeteksi dan mulai menggerakkan

motor, posisi *solar tracker* yang melakukan *tracking* posisi matahari di tandai dengan, nilai tegangan kedua sensor bernilai sama dan seimbang, lalu perbedaaan tegangan yang dihasilkan antara kedua sensor 0 dan tegangan *drivemotor* 0.



Gambar 2.20 Susunan *solar tracker system* dengan 2 sumbu pergerakan (Salem A, 2018)

2.6.2 Lensa Fresnel

Lensa jenis ini di temukan dan di kembangkan oleh salah satu pria berkebangsaan perancis yang berprofesi sebagai fisikawan terkemuka di negaranya yaitu Augustin Jean Fresnel, awalnya lensa yang di ciptakannya ini berfungsi sebagai aplikasi pada menara mescusuar, tujuannya adalah bagaimana cahaya dari menara dapat terlihat dari kejauhan sehingga kapal yang berlayar mengetahui posisi dari mescusuar, untuk menciptakan lensa yang sedemikian rupa, maka desain dan konstruksi dari lensa fresnel di buat dengan ketebalan yang lebih tipis dari pada lensa pada umumnya seperti lensa cembung dan lensa cekung tujuan nya adalah dengan tipisnya permungkaan lensa maka cahaya yang masuk akan lebih banyak

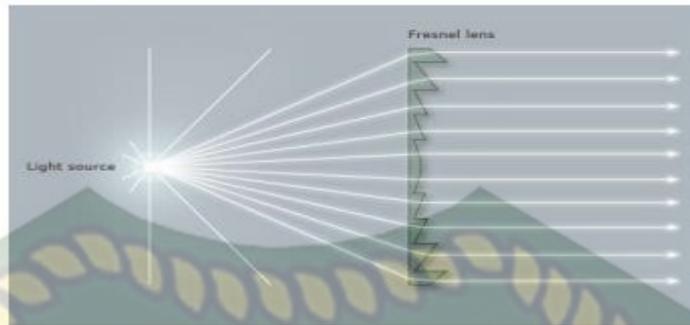
terlewat sehingga cahaya dapat terlihat terlihat dari jarak yang jauh (Subandi, 2016).

Sebenarnya karakteristik lensa fresnel dan lensa cembung sama yaitu jika terdapat cahaya pada satu titik maka lensa akan menghasilkan sinar keluaran yang lurus dan sejajar. Modifikasi dari lensa cembung menghasilkan sebuah lensa jenis baru yaitu lensa fresnel yang lebih dapat membuat cahaya dari satu titik menjadi berpendar lurus, sejajar dan terang (Indriani et al., 2016).



Gambar 2.21 Perbedaan penampang lensa fresnel dan lensa cembung
(Subandi, 2016)

Terlihat pada gambar di atas modifikasi lensa fresnel terletak pada terdapatnya gerigi dan ketebalan lensa yang di kurangi, sudut pada lekukan lensa sangat mempengaruhi pengoptimalan sinar yang keluar, pengaturan fokus menjadi *point* utama agar sinar dapat optimal, pada lensa cembung pengaturan fokus tidak ada, hanya mengandalkan model lensa yang cembung, sedangkan pada lensa fresnel pengaturan fokus di lakukan dengan membuat model lensa menjadi lebih bergerigi, dengan mengatur sudut gerigi permukaan (Subandi, 2016).



Gambar 2.22 keluaran cahaya pada lensa fresnel (Subandi, 2016)

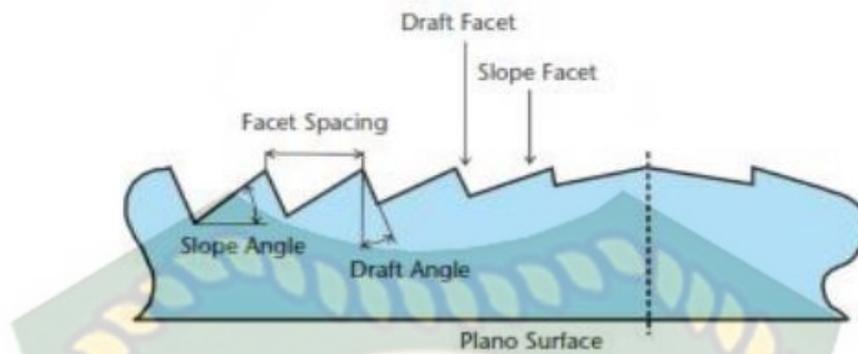
Pada gambar diatas terlihat sinar yang dihasilkan lensa fresnel cenderung lurus dan sejajar, sehingga tidak menyebabkan adanya pemusatan sinar. Perbandingan pada bidang sel surya yang luas dengan lensa fresnel yang dapat mengoptimalkan iradiasi pada satu titik, menghasilkan rasio yang di sebut *Geometring Concentrating Ratio* (C_{Rg}) (Pratama, 2019) Rasio ini mempengaruhi suhu pada permukaan yang di jadikan objek, semakin luas permukaan maka suhu yang di hasilkan semakin rendah, karakteristk dari semikonduktor sangat berperan disini, di karenakan rasio C_{Rg} semakin kecil maka semakin baik, sehingga penggunaan luas sel surya dapat di kurangi. Persamaan 2. 2 menunjukkan persamaan untuk mendapatkan nilai C_{Rg} yaitu:

$$C_{Rg} = \frac{A_{lenss}}{A_{rec}} \quad (2.2)$$

Dimana

A_{lenss} = Luas lensa fresnel

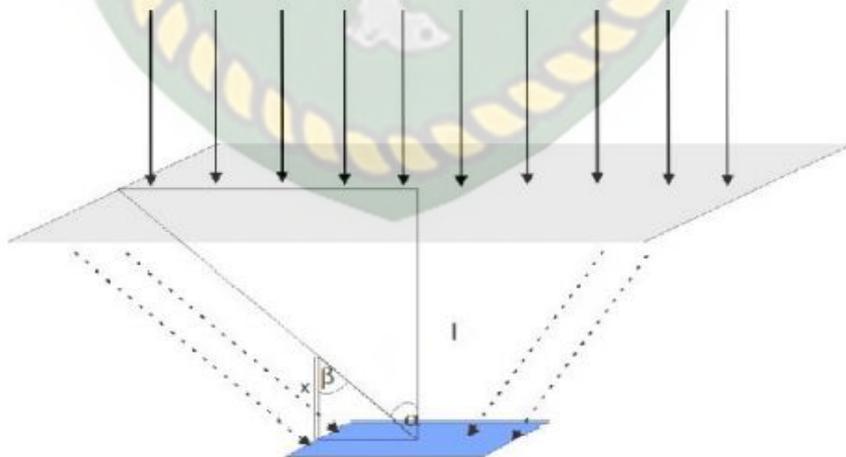
A_{rec} = Luas objek penerima radiasi



Gambar 2.23 Permukaan *fresnel lens concentrator*

(Pratama, 2019)

Pemasangan lensa fresnel di lakukan dengan menyesuaikan jarak antara lensa dan sel surya, sehingga dengan jarak pemasangan yang tepat seluruh permukaan sel surya dapat tersinari. Jarak yang optimal antara lensa dan sel surya dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 2.2, 2.3 dan 2.4 kemudian sel surya dan lensa fresnel membutuhkan penentuan jarak optimal, terlihat pada gambar 2.24 dibawah ini



Gambar 2.24 Penentuan jarak optimal antara sel surya dan lensa fresnel

(Pratama, 2019)

$$\tan a = \tan \beta \quad (2.2)$$

$$\frac{\frac{1}{2}P_{Lenss}}{l} = \frac{\frac{1}{2}P_{Sel}}{x} \quad (2.3)$$

$$Y = l - x \quad (2.4)$$

Dimana:

P_{lenss} = Panjang lensa

P_{sel} = Panjang sel

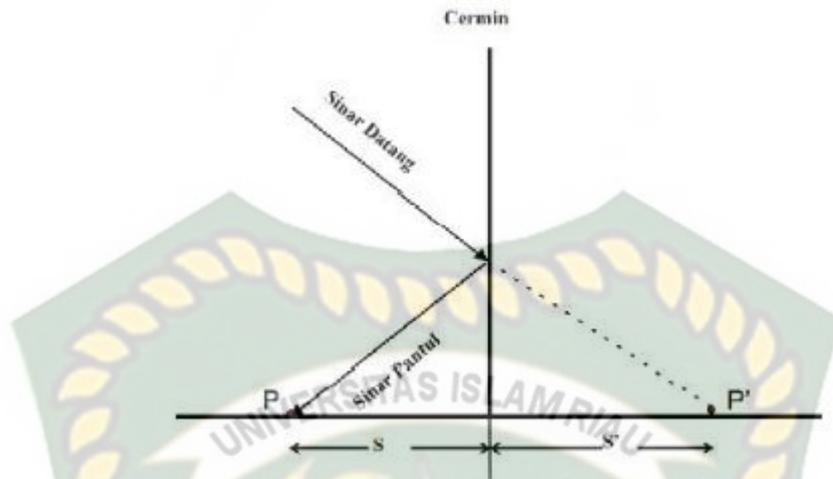
l = Jarak fokus lensa

x = Nilai pengurangan jarak lensa dan sel

y = Jarak maksimal sel mendapat cahaya

2.6.3 Reflektor

Penggunaan reflektor atau alat optik dengan memanfaatkan pemantulan dan pembiasan cahaya sebagai langkah untuk mengoptimalkan energi dan sinar yang dihasilkan akan semakin optimal terhadap suatu objek, dengan cahaya yang terkonsentrasi pada satu titik fokus, dapat menyebabkan *fluks* energi yang lebih besar (Nugroho, Rismanto et al., 2014). Cermin datar merupakan salah satu dari berbagai jenis reflektor yang di gunakan untuk meningkatkan efisiensi sel surya. Reflektor jenis ini memanfaatkan sudut pantul untuk mengoptimalkan cahaya, besar sudut pantul sama dengan besar sinar yang datang, dengan sifat pemantulan seperti itu maka cermin datar dapat dimanfaatkan untuk membuat cahaya yang di terima sel surya lebih optimal. Gambar 2.25 menunjukkan pantulan cahaya yang dihasilkan oleh cermin datar.



Gambar 2.25 Pantulan cahaya pada cermin datar (Pratama, 2019)

Dalam memantulkan cahaya, prinsip pembentukan bayangan merupakan konsep dasar pada cermin datar, adapun hukum pemantulan cahaya pada cermin datar yaitu:

- a. Sudut datang sama dengan sudut pantul
- b. Sinar datang, sinar pantul, dan garis normal terletak pada satu bidang datar

hukum pemantulan cahaya menyatakan bahwa bayangan yang terjadi pada benda sama ukurannya dengan benda itu sendiri. Pernyataan ini sesuai dengan persamaan 2.5 di bawah ini

$$S = S_l \quad (2.5)$$

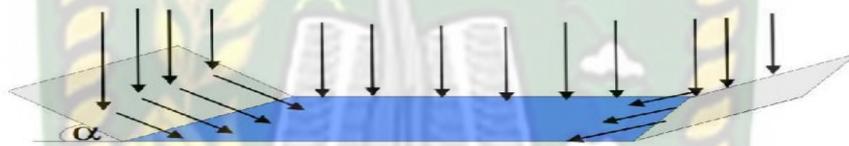
Dimana:

S = Objek

S_l = Bayangan

Menurut (Ilyas & Kasim, 2017) pengoptimalan cahaya matahari dan peningkatan iradiasi dapat menggunakan reflektor. Menggunakan peralatan

pendukung berupa reflektor dengan jenis cermin datar ini di harapkan hasil keluaran sel surya lebih baik dari pada tanpa menggunakan reflektor. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Muchammad & Elfita, 2010) menemukan bahwa penambahan peralatan pendukung pada sel surya berupa cermin datar pada sudut 70° meningkatkan efisiensi daya keluaran sebesar 15,65%. Dan juga sudut cermin dapat di lakukan pengaturan terhadap sel surya dengan tetap memperhatikan arah datangnya sinar matahari. gambar 2.26 menunjukkan reflektor yang di pasang pada sel surya.

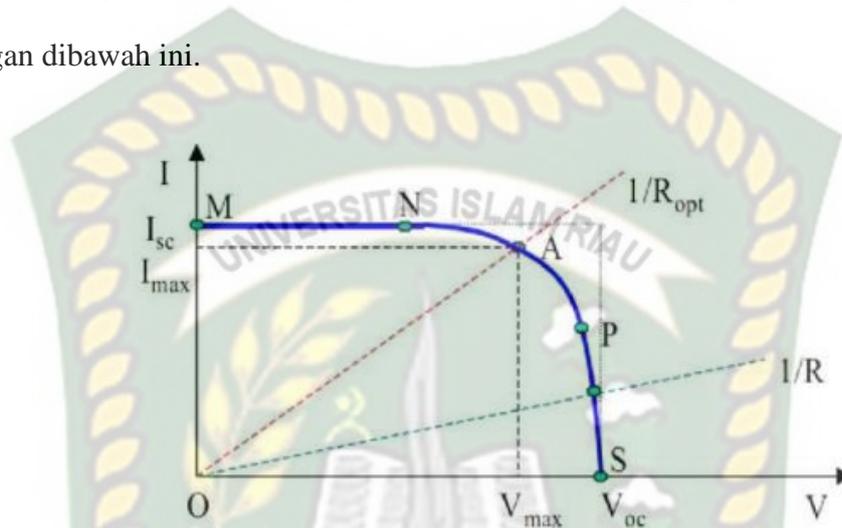


Gambar 2.26 Reflektor yang terpasang pada sel surya (Pratama, 2019)

2.8 Kinerja Solar cell

Sel surya merupakan salah satu peralatan *nonlinear*, yang memiliki fungsi agar dapat mengkonversi cahaya yang berasal dari matahari menjadi energi listrik, untuk menemukan baik atau tidaknya sebuah peralatan *nonlinear*, maka dibutuhkan sebuah grafik sebagai pemahaman bagi para penggunanya agar *solar cell* dapat di analisa dan diketahui karakteristiknya (Biodun et al., 2017), tujuannya adalah kinerja *solar cell* secara keseluruhan dapat di ketahui dan di ambil kesimpulannya, sehingga pengguna akan dapat menarik suatu kesimpulan apakah *solar cell* ini sudah bekerja dengan baik atau tidak (Karina & Satwiko, 2015). Secara umum kinerja *solar cell* direpresentasikan dengan melihat efisiensinya, sifat kelistrikan sel surya dalam merubah cahaya matahari menjadi energi listrik dapat dilihat melalui

grafik hubungan antara tegangan dan arus pada kondisi dimana kondisi cahaya yang di terima dan beban yang di berikan berbeda-beda, untuk melihat karakteristik sel surya maka dapat dilihat melalui gambar 2.27 kurva arus- tegangan dan kurva daya- tegangan dibawah ini.



Gambar 2.27 Karakteristik sel surya kurva arus-tegangan (Karina & Satwiko, 2015)

Gambar 2.27 menunjukkan ketika sel dihubungkan dengan beban (R). Beban memberi hambatan sebagai garis linear dengan garis $I/V = I/R$. Hal tersebut menunjukkan daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Jika R kecil maka sel beroperasi pada daerah kurva MN, dimana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus *short circuit* (I_{sc}) (Karina & Satwiko, 2015). Pada sisi lain jika R besar, sel beroperasi pada daerah PS, dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan open circuit (V_{oc}). Jika dihubungkan dengan hambatan optimal R_{opt} berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimum (V_{max}) dan arus maksimum (I_{max}) (Karina & Satwiko, 2015).

Secara umum parameter yang menjadi tolok ukur kinerja sebuah panel surya untuk menentukan *output* karakteristik sel surya yaitu:

1. Rangkaian tegangan terbuka / (V_{oc}) yaitu tegangan maksimum yang terjadi pada sel surya terjadi karena arus bernilai 0 ($I_{sc} = 0$), Untuk menghitung arus hubung singkat maka bisa menggunakan persamaan 2.6 dibawah ini.

$$V_{oc} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_s} + 1\right) \quad (2.6)$$

Dimana:

K = Konstanta Boltzman (1.30×10^{-16} erg)

Q = Konstanta muatan elektron (1.602×10^{-19} C)

T = Temperatur dalam kelvin (K)

I_s = Arus Saturasi (A)

2. Arus hubung singkat / *short circuit current* (I_{sc}) yaitu arus yang melewati sel surya pada saat sel surya memiliki tegangan sama dengan 0 ($V_{oc} = 0$), persamaan 2.7 dibawah ini dapat menunjukkan untuk mencari arus hubung singkat.

$$I_{sc} = qG (L_n + L_p) \quad (2.7)$$

Dimana:

G = Tingkat generasi

L_n = Panjang difusi elektron

L_p = Panjang difusi *hole*

3. Daya maksimum (P_{max}), di dapatkan dari perkalian antara arus dan tegangan yang berada pada titik maksimum, pada kurva karakteristik sel surya yaitu

kurva I-V terlihat bahwa titik puncak daya maksimum berada pada titik A yang memiliki luasan terbesar, daya maksimum yang di representasikan sebagai titik A biasa di sebut *Maksimum Power Point* (MPP) (Manda Juniartara Pratama, 2019). Untuk mendapatkan daya maksimum dapat di gunakan persamaan 2.8 dibawah ini, yaitu:

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \quad (2.8)$$

Diketahui:

P_{max} = Daya maksimum (*Watt*)

V_{max} = Tegangan maksimum (*Volt*)

I_{max} = Arus maksimum (*Ampere*)

4. *Fill Factor (FF)*, merupakan ukuran yang menunjukkan kualitas sebuah sel surya, faktor pengisi dapat di temukan dengan cara membandingkan antara daya maksimum teoritis yang di dapatkan dengan daya keluaran yang dihasilkan oleh arus hubung singkat dan tegangan rangkaian terbuka. *Fill factor* berfungsi sebagai parameter yang menunjukkan seberapa besar nilai dari daya keluaran yaitu perkalian antara arus hubung singkat dan rangkaian tegangan terbuka ($I_{sc} \times V_{oc}$) dan nilai keluaran dari daya maksimum yaitu perkalian antara ($V_{max} \times I_{max}$) yang *solar cell* hasilkan (Isyanto et al., 2017). Faktor pengisi dapat di cari dengan persamaan 2.9 dibawah ini.

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.9)$$

Diketahui:

FF = *Fill factor* (faktor pengisi)

V_{max} = Tegangan maksimum (*Volt*)

I_{max} = Arus maksimum (*Ampere*)

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

V_{oc} = Rangkaian tegangan terbuka (*Volt*)

Nilai parameter *fill factor* pada *solar cell* berfungsi untuk menunjukkan seberapa bagus kualitas *solar cell* dalam menghasilkan energi listrik. Parameter *fill factor* terbagi kedalam 2 kategori yaitu *fill factor* kategori *grade A*, yaitu nilai *FF* yang menunjukkan kualitas pertama dari sebuah *solar cell*, memiliki rentang nilai antara 0,70 - 0,85 dan kategori *grade B* yaitu nilai *FF* yang menunjukkan kualitas kedua dari sebuah *solar cell*, memiliki rentang nilai antara 0,40 - 0,70 (Deceased & Beckman, 2013).

5. Daya keluaran (P_{out}), merupakan daya yang dihasilkan sel surya setelah menerima daya masukan, daya yang di keluarkan sel surya tidak akan sama dengan dengan daya masukan yang dihasilkan oleh sel surya, di sebabkan karena adanya proses konversi energi di dalam peralatan sel surya, besarnya daya yang di keluarkan sel surya setelah menerima daya masukan biasanya lebih kecil dari pada daya masukan itu sendiri (Muchammad & Elfita, 2010). P_{out} dapat di cari dengan menggunakan persamaan 2.11 dibawah ini.

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2.11)$$

Diketahui:

P_{out} : Daya keluaran (Watt)

V_{oc} : Rangkaian tegangan terbuka (Volt)

FF: *Fill factor* (faktor pengisi)

6. Efisiensi *solar cell*, merupakan perbandingan antara daya keluaran yang dihasilkan oleh *solar cell* dengan daya masukan yaitu besarnya daya yang berasal dari intensitas cahaya matahari (Muchammad & Elfita, 2010). Untuk mendapatkan efisiensi dari sebuah peralatan *solar cell* maka dapat menggunakan persamaan 2.12.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Diketahui:

η = Efisiensi

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya masukan (Watt)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

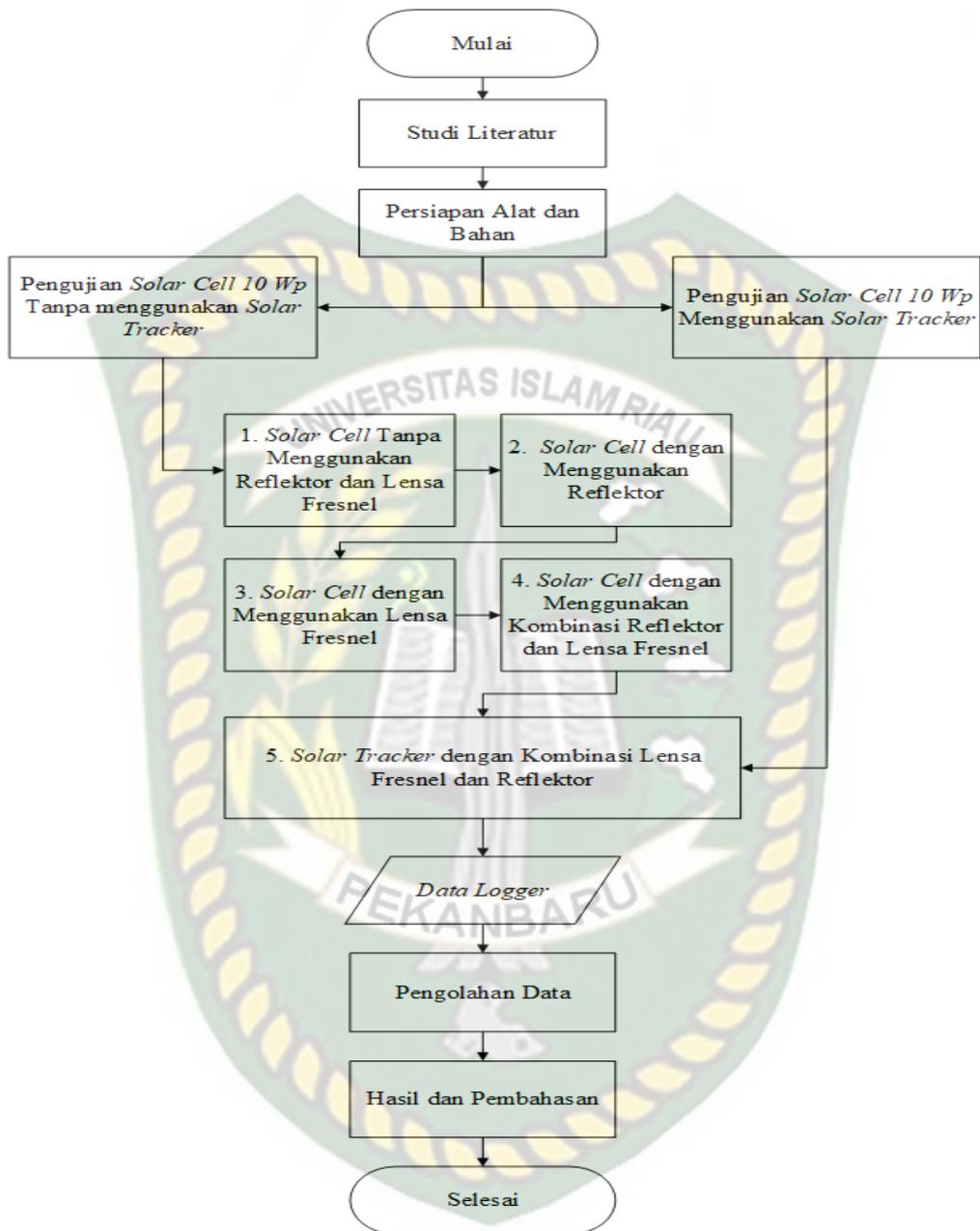
Pengujian analisa pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap kinerja *solar cell* dilaksanakan pada tanggal 23 September 2020 bertempat di atas gedung C fakultas teknik Universitas Islam Riau yang beralamat di Jl. Kaharuddin Nasution No.133, Marpoyan, Pekanbaru.



Gambar 3.1 Gedung C Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir berfungsi sebagai alur dalam penelitian, proses ini digambarkan seperti *flowchart* gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

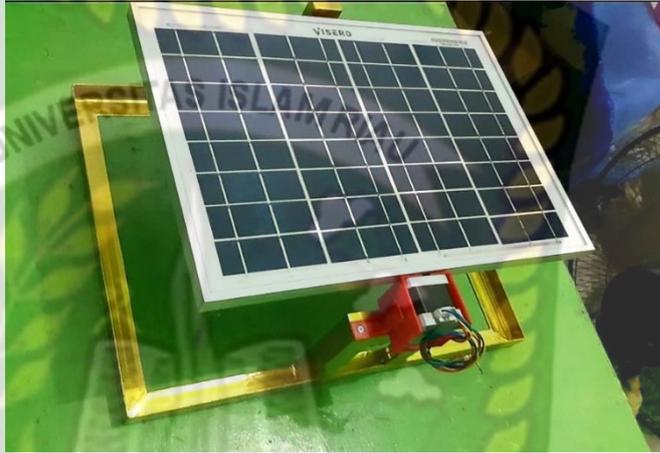
3.3 Alat Dan Bahan

3.3.1 Alat

Didalam penelitian ini alat yang digunakan adalah:

1. *Solar cell*

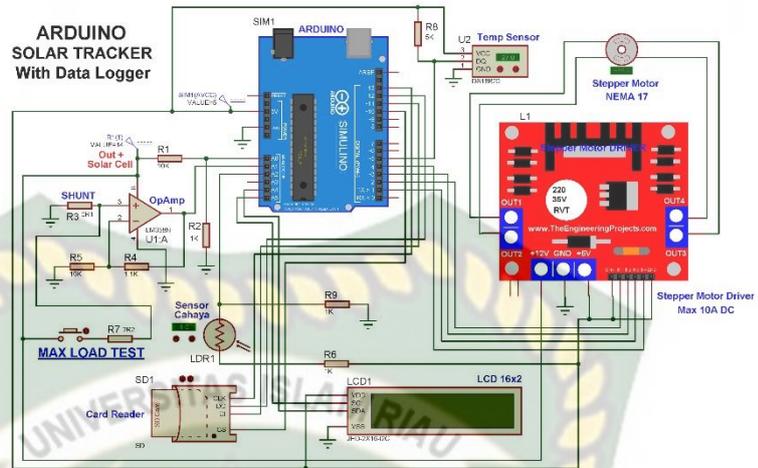
Pada penelitian ini pengujian menggunakan 2 jenis *solar cell* yang sama, berjenis *polycrystalline* 10 WP dengan ukuran yaitu panjang 36 cm dan lebar 26 cm.



Gambar 3.3 *Solar Cell Polycrystalin* 10 WP

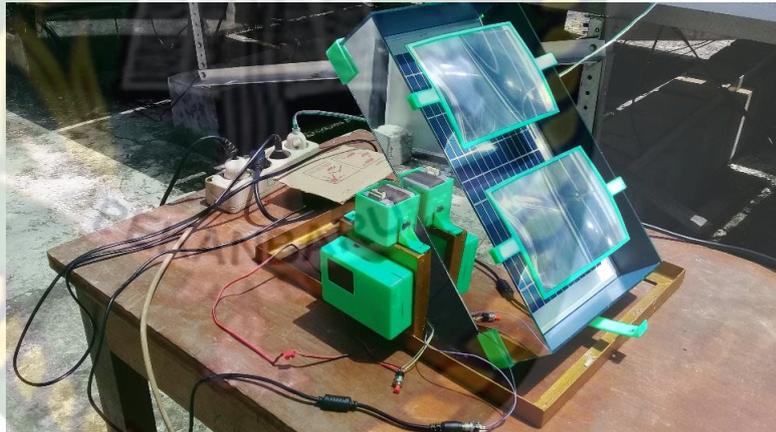
2. *Solar Tracker*

Merupakan rangkaian yang memiliki fungsi sebagai kontrol motor pada sel surya sehingga intensitas cahaya matahari yang di terima berada pada titik maksimumnya dan tidak kehilangan sedikitpun cahaya matahari. Pada penelitian ini pengujian menggunakan 2 *solar tracker* yang sama dengan 1 sumbu pergerakan yaitu *single axis solar tracker*. Gambar 3.4 dibawah ini merupakan rangkaian *control system dari solar tracker singlel axis* yang digunakan.



Tegangan Terbuka, tegangan tertutup (terpakai), Arus Tertutup (terpakai), Daya tertutup (terpakai), Suhu Solar Panel
 LCD menampilkan Data Realtime, SD Card Menyimpan Data Logger dengan kurun waktu 5 menit
 Solar Tracker Menggunakan Motor Stepper Nema 17 dan Stepper Motor Driver.
 Solar Cell Menggunakan Panel 10Watt POLYCRYSTAL

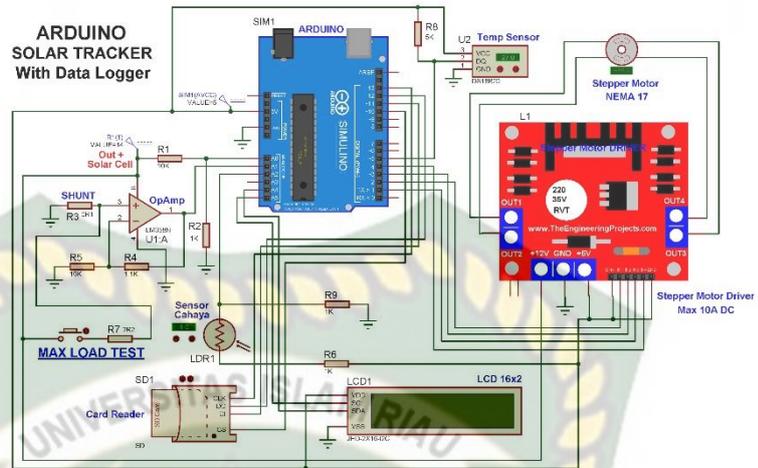
Gambar 3.4 Control System Solar Tracker Single Axis



Gambar 3.5 Alat Solar Tracker Single Axis Secara Keseluruhan

3. Data Logger

Berfungsi untuk membantu pencatatan data secara otomatis sehingga kinerja solar cell dapat terpantau secara real time.



Tegangan Terbuka, tegangan tertutup (terpakai), Arus Tertutup (terpakai), Daya tertutup (terpakai), Suhu Solar Panel
 LCD menampilkan Data Realtime, SD Card Menyimpan Data Logger dengan kurun waktu 5 menit
 Solar Tracker Menggunakan Motor Stepper Nema 17 dan Stepper Motor Driver.
 Solar Cell Menggunakan Panel 10Watt POLYCRYSTAL

Gambar 3.6 Data Logger Solar Cell Berbasis Arduino-Nano

4. Pyranometer

Pyranometer merupakan peralatan yang berfungsi untuk mengukur iradiasi matahari pada bidang datar, *pyranometer* juga dilengkapi dengan *photometer* yang berfungsi untuk membantu menghitung daya yang dihasilkan oleh iradiasi matahari dalam satuan W/m^2 .



Gambar 3.7 Pyranometer

5. *Photometer*

Merupakan peralatan yang berfungsi untuk mengukur daya yang dihasilkan oleh iradiasi sinar matahari dalam satuan W/m^2 , biasanya *photometer* selalu berdampingan dengan *pyranometer*, karena *photometer* bertugas membantu *pyranometer* dalam menerjemahkan hasil yang di dapatkan.



Gambar 3.8 *Photometer*

6. 3D Printer

Sebuah mesin yang berfungsi untuk membuat kedudukan bagi *motor stepper* DC, bingkai bagi lensa fresnel serta kedudukan bagi reflektor, dimana masing-masing peralatan pendukung tersebut di pasang pada *solar tracker*.



Gambar 3.9 Printer 3D

7. Termometer Digital

Berfungsi untuk mengukur suhu permukaan yang dihasilkan oleh *solar cell*.



Gambar 3.10 Termometer Digital

8. Lensa Fresnel

Merupakan lensa yang berfungsi untuk menghasilkan sinar keluaran yang lurus dan sejajar, dengan ukuran panjang 18 cm dan lebar 12 cm. Lensa fresnel yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 4 buah.



Gambar 3.11 Lensa Fresnel

9. Reflektor

Pada penelitian ini jenis reflektor yang digunakan adalah cermin datar, reflektor yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 8 buah. Reflektor jenis ini memiliki fungsi memanfaatkan sudut pantul untuk mengoptimalkan cahaya, besar sudut pantul sama dengan besar sinar yang datang, dengan sifat pemantulan seperti itu maka cermin datar dapat dimanfaatkan untuk membuat cahaya yang di terima sel surya lebih optimal. Ukuran reflektor cermin datar ini yaitu: panjang 36 cm, lebar 26 cm dan tinggi 7 cm.



Gambar 3.12 Reflektor Berjenis Cermin Datar

3.3.2 Bahan

Sesuai dengan cara pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, untuk penggunaan bahan *spesifik* tidak ada, tetapi hanya berupa bahan habis pakai yaitu kabel yang berfungsi sebagai media penghantar listrik agar dapat terhubung antar komponen yang telah di rancang ketika melakukan perakitan pembuatan rangkaian *solar tracker single axis* dan rangkaian *data logger*. Dan lem berfungsi sebagai perekat ketika akan melakukan

pemasangan pada rangka, kedudukan rangkaian *solar tracker* yang terbuat dari bahan termoplastik untuk membantu menambahkan peralatan pendukung seperti lensa fresnel dan reflektor jenis cermin datar.

3.4 Persiapan Pengujian

Data yang konkrit di hasilkan dari persiapan yang matang sebelum melakukan pengujian, maka dari itu persiapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan *solar cell*, *solar tracker* dan data *logger* yang akan digunakan dan peralatan-peralatan yang mendukung didalam melakukan pengujian.
2. Melakukan pemeriksaan pada *solar cell*, *solar tracker* dan data *logger* supaya berada pada kondisi prima tanpa adanya *error* sedikitpun dan memastikan peralatan ini berjalan dan berfungsi secara optimal, agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan keadaan sebenarnya karena *system* ini berjalan *realtime*
3. Memasang masing-masing peralatan pendukung *solar cell* seperti *solar tracker*, lensa fresnel dan reflektor kemudian melakukan pengujian sesuai dengan prosedur pengujian yang telah di buat.
4. Mempersiapkan dan memastikan laptop tetap berada pada kondisi optimal agar dapat digunakan untuk menerjemahkan dan memantau data yang keluar dari data *logger* secara *realtime* agar dapat di olah untuk masuk pada tahap analisis data.

3.5 Prosedur Pengujian

3.5.1 Prosedur Pengujian *solar cell* tanpa menggunakan *solar tracker* dan *solar cell* dengan menggunakan *solar tracker*

1. Pengujian hari ke 1, *solar cell* tanpa menggunakan *solar tracker*
 - a) Pengujian alat I, *solar cell* tanpa menggunakan lensa fresnel dan reflektor (SC)
 - b) Pengujian alat II, *solar cell* dengan menggunakan reflektor (SCR)
2. Pengujian hari ke 2, *solar cell* tanpa menggunakan *solar tracker*
 - b) Pengujian alat II, *solar cell* dengan menggunakan reflektor (SCR)
 - c) Pengujian alat III, *solar cell* dengan menggunakan lensa fresnel (SCF)
3. Pengujian hari ke 3, *solar cell* tanpa menggunakan *solar tracker*
 - c) Pengujian alat III, *solar cell* dengan menggunakan lensa fresnel (SCF)
 - d) Pengujian alat IV, *solar cell* dengan menggunakan kombinasi reflektor dan lensa fresnel (SCFR)
4. Pengujian hari ke 4, *solar cell* tanpa menggunakan *solar tracker* dan dengan menggunakan *solar tracker*
 - d) Pengujian alat IV, *solar cell* dengan menggunakan kombinasi lensa fresnel dan reflektor (SCFR)
 - e) Pengujian alat V, *solar tracker* dengan menggunakan kombinasi lensa fresnel dan reflektor (STFR)

5. Pengujian hari ke 5, *solar cell* tanpa menggunakan *solar tracker* dan dengan menggunakan *solar tracker*
 - e) Pengujian alat V, *solar tracker* dengan kombinasi reflektor dan lensa fresnel (STFR)
 - a) Pengujian alat I, *solar cell* tanpa menggunakan lensa fresnel dan reflektor (SC)

Langkah-langkah yang dilakukan pada setiap pengujian yaitu sebagai berikut:

1. Pastikan rangkaian *solar cell* dan rangkaian data *logger* dan dalam keadaan yang optimal untuk siap dilakukan pengujian
2. Hidupkan Laptop
3. Nyalakan rangkaian *solar cell* dan data *logger*
4. Lakukan pengecekan data yang tampil di laptop yang terdiri dari data tegangan rangkaian terbuka (Voc), arus hubung singkat (Isc), tegangan maksimal (Vmax), arus maksimal (Imax), daya maksimal (Pmax), *Fill Factor* (FF), *Daya output* (Pout) dan Efisiensi sel surya (η) setelah selesai kemudian *save*.

3.6 Jadwal kegiatan Penelitian

Agar penelitian tentang analisa pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap kinerja *solar cell* ini dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan, maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Pembuatan Proposal	■	■										
2	Studi Literatur	■	■										
3	Persiapan alat dan bahan		■										
4	Pengujian dan pengumpulan data			■	■	■	■	■	■				
5	Analisa data									■		■	
6	Hasil akhir dan presentasi												■

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)

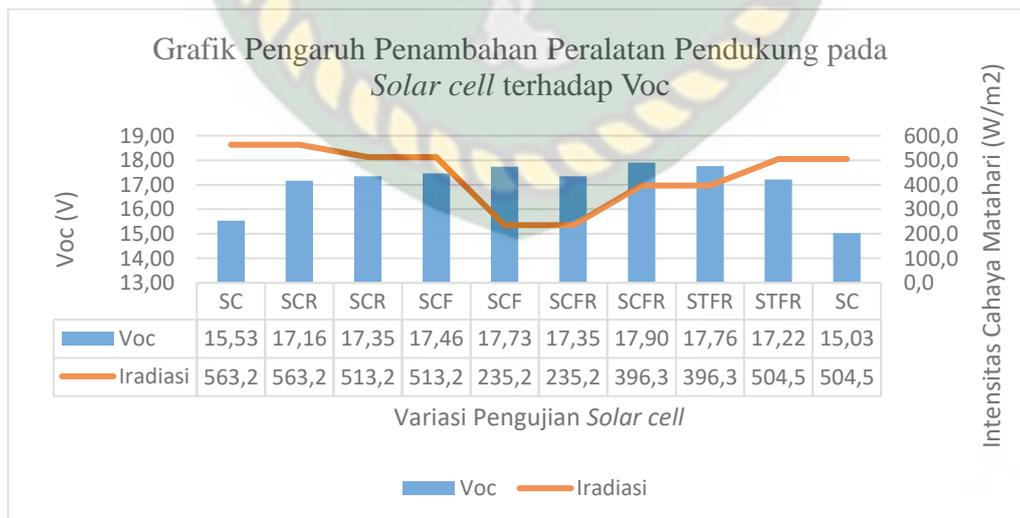
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap tegangan rangkaian terbuka (Voc). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Voc terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada peralatan pendukung *solar cell* dengan tambahan reflektor dan lensa fresnel (SCRF) pada hari ke 4, alat ke IV dengan nilai Voc sebesar 17,90 volt, dan nilai terendah Voc dihasilkan oleh *solar cell* tanpa menggunakan peralatan pendukung (SC) pada hari ke 1, pengujian ke I dengan nilai Voc sebesar 15,53 volt. Hal tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Voc

Hari	Alat	Variasi Peralatan Pendukung	Voc (V)	Iradiasi (W/m^2)
1	I	SC	15,53	563,2
	II	SCR	17,16	
2	II	SCR	17,35	513,2
	III	SCF	17,46	
3	III	SCF	17,73	235,2

	IV	SCFR	17,35	
4	IV	SCFR	17,90	396,3
	V	STFR	17,76	
5	V	STFR	17,72	504,5
	I	SC	15,03	

Pada tabel 4.1, untuk parameter kinerja *solar cell* yaitu tegangan rangkaian terbuka (Voc) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan seiring dengan semakin lengkapnya peralatan pendukung yang ditambahkan. Intensitas cahaya matahari yang menurun tidak membuat parameter nilai Voc menurun pula, melainkan sebaliknya, semakin meningkat. Peningkatan nilai parameter Voc disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada *Solar cell* Terhadap Voc

Dari gambar 4.1 diatas menunjukkan bahwa tegangan rangkaian terbuka (Voc) yang dihasilkan tiap masing-masing peralatan pendukung memiliki nilai yang berbeda - beda, terlihat bahwa peningkatan intensitas sinar matahari tidak menunjukkan hasil yang signifikan terhadap Voc, melainkan dengan semakin lengkapnya penambahan peralatan pendukung, nilai Voc justru semakin meningkat. Itu dibuktikan dengan nilai tegangan rangkaian terbuka (Voc) tertinggi ada pada hari ke 4 pengujian alat ke IV yaitu *solar cell* yang dilengkapi dengan peralatan pendukung berupa lensa fresnel dan reflektor (SCFR), dengan nilai tegangan rangkaian terbuka (Voc) yang dihasilkan sebesar 17,90 *volt*. Hal ini dikarenakan lensa fresnel dan reflektor pada *solar cell*, bekerja dengan cara mengkonsentrasikan sejumlah intensitas cahaya matahari yang diterima oleh *solar cell* untuk menjadi lebih terpusat / terkonsentrasi sepenuhnya hanya pada *solar cell* serta dengan memanfaatkan reflektansi yang berdekatan terhadap permukaan *solar cell*, cahaya matahari yang menuju *solar cell* dengan sudut pemasangan yang telah ditetapkan berhasil bekerja dengan memantulkan cahaya yang sebelumnya tidak diterima oleh *solar cell* tepat menuju *solar cell* dan membuat cahaya matahari terkonsentrasi hanya pada hanya pada 1 objek, sehingga hal ini berdampak pada kenaikan Voc.

Lensa fresnel membuat cahaya matahari yang diterima *solar cell* tidak terpantul kembali ke atas yang disebabkan oleh permukaan *solar cell*, lensa fresnel membuat cahaya matahari tetap berada di dalam *solar cell*, sinar matahari keluaran yang dihasilkan oleh lensa fresnel berbentuk lurus dan sejajar, tidak menyebabkan pemusatan pada objek, sinar matahari yang dihasilkan cenderung stabil dan ideal, reflektor menambah kuantitas cahaya matahari yang diterima oleh *solar cell*

sehingga menjadi lebih banyak. Pengkonsentrasian cahaya matahari menggunakan 2 peralatan pendukung ini cenderung menguji seberapa efektif *absorber solar cell* dalam bekerja, tentu hal ini akan berpengaruh kepada peningkatan suhu *solar cell* yang berakibat pada efisiensi dari *solar cell* kedepannya.

Solar cell pada saat itu menerima cahaya matahari yang lebih banyak dari pada *solar cell* tanpa menggunakan peralatan pendukung, prinsip yang digunakan pada penelitian ini adalah semakin banyak cahaya matahari (foton) yang diterima *solar cell* maka akan menyebabkan timbulnya beda potensial yang lebih besar pada *solar cell*, artinya hal itu akan menyebabkan semakin banyaknya elektron di dalam bahan semikonduktor (*silicon*) yang berikatan (ikatan kovalen) berpotensi untuk dapat terputus, dan mengalir menjadi energi listrik arus DC. SCFR merupakan kombinasi yang dapat saling menyeimbangkan nilai arus dan tegangan pada *solar cell*, karena masing-masing dari peralatan pendukung tersebut bekerja dengan cara meningkatkan kedua parameter kinerja *solar cell*, Sehingga dengan itu menyebabkan pengujian SCFR dengan intensitas yang lebih tinggi mengalami sedikit peningkatan. dan itu menyebabkan beda potensial pada muatan (tegangan) yang dihasilkan oleh *solar cell* menjadi sedikit lebih besar. kelebihan adalah 2 kombinasi ini saling melengkapi satu dan yang lain, dengan memanfaatkan cara tersebut, terbukti berpengaruh terhadap tingginya nilai parameter V_{oc} ,

Kemudian untuk nilai V_{oc} terendah ada pada pengujian hari 5 alat ke I dengan nilai V_{oc} yang dihasilkan sebesar 15,03 *volt*. Hal ini disebabkan karena nilai parameter kinerja *solar cell* tanpa peralatan pendukung berupa V_{oc} cenderung *linear* terhadap peningkatan dan penurunan intensitas sinar matahari, hanya saja

pada intensitas sinar matahari saat itu, nilai parameter Voc menurun secara drastis, dan itu biasanya disebabkan karena tidak adanya peralatan pendukung yang ditambahkan untuk menekan laju kecepatan peningkatan suhu yang terjadi pada permukaan *solar cell*, karena nilai Voc sangat di pengaruhi oleh suhu permukaan yang dihasilkan oleh *solar cell*.

4.2 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Arus Hubung Singkat (Isc)

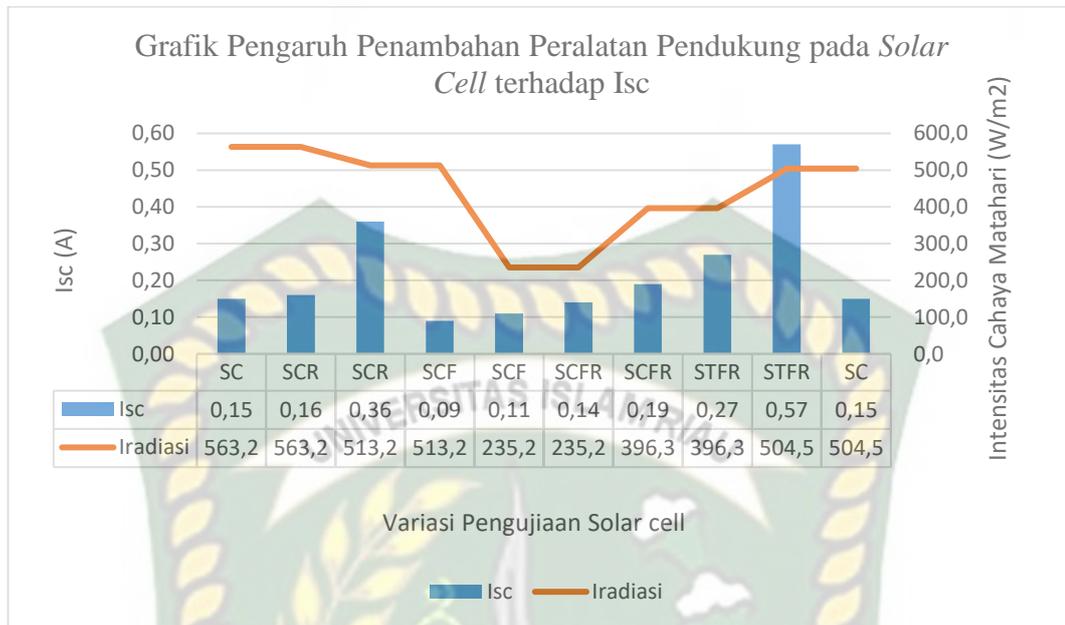
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap arus hubung singkat (Isc). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Isc terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada peralatan pendukung *solar tracker* dengan tambahan reflektor dan lensa fresnel (STRF) pada hari ke 5 pengujian ke V dengan nilai Isc sebesar 0,57 *ampere*, dan nilai terendah Isc dihasilkan oleh *solar cell* dengan menggunakan peralatan pendukung lensa fresnel (SCF) pada hari ke 2, pengujian ke III dengan nilai Isc sebesar 0,09 *ampere*. Hal tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Isc

Hari	Alat	Variasi Peralatan Pendukung	Isc (A)	Iradiasi (W/m^2)
1	I	SC	0,15	563,2
	II	SCR	0,16	
2	II	SCR	0,36	513,2

	III	SCF	0,09	
3	III	SCF	0,11	235,2
	IV	SCFR	0,14	
4	IV	SCFR	0,19	396,3
	V	STFR	0,27	
5	V	STFR	0,57	504,5
	I	SC	0,15	

Pada tabel 4.2, untuk parameter kinerja *solar cell* yaitu arus hubung singkat (I_{sc}) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan seiring dengan semakin lengkapnya peralatan pendukung yang ditambahkan. Intensitas cahaya matahari yang menurun, secara keseluruhan tidak membuat parameter nilai I_{sc} menurun pula, melainkan sebaliknya, semakin meningkat. Meskipun *solar cell* dengan peralatan pendukung berupa lensa fresnel masih belum mampu untuk meningkatkan nilai parameter I_{sc} dikarenakan pada saat pengujian intensitas sinar matahari mengalami penurunan yang cukup drastis, namun itu tidak membuat nilai parameter I_{sc} peralatan pendukung tersebut dapat dijadikan acuan untuk pengujian dengan peralatan pendukung lainnya, melainkan sebaliknya, penurunan intensitas sinar matahari di beberapa pengujian dengan peralatan pendukung yang berbeda membuat nilai I_{sc} cenderung mengalami peningkatan yang signifikan. Peningkatan dan penurunan nilai parameter I_{sc} disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada Solar Cell Terhadap Isc

Dari gambar 4.2 diatas menunjukkan bahwa nilai arus hubung singkat (Isc) yang dihasilkan tiap masing-masing peralatan pendukung memiliki nilai yang berbeda - beda, terlihat bahwa peningkatan intensitas sinar matahari tidak menunjukkan hasil yang signifikan terhadap Isc, melainkan dengan semakin lengkapnya penambahan peralatan pendukung, nilai Isc justru semakin meningkat. Itu dibuktikan dengan nilai arus hubung singkat (Isc) tertinggi ada pada hari ke 5 pengujian alat ke V yaitu solar cell yang dilengkapi dengan peralatan pendukung berupa lensa fresnel dan reflektor (STFR), dengan nilai arus hubung singkat (Isc) yang dihasilkan sebesar 0,57 ampere. Hal ini disebabkan karena Isc berbanding lurus terhadap intensitas cahaya matahari, penambahan peralatan pendukung optik sangat berpengaruh terhadap nilai Isc yang dihasilkan oleh solar cell. lensa fresnel

dan reflektor yang dilengkapi dengan sistem pelacak matahari yaitu *solar tracker*, bekerja dengan cara membuat *solar cell* dapat secara otomatis melacak pergerakan terkuat dari cahaya matahari, *solar cell* akan selalu berhadapan dengan sumber cahaya matahari terkuat, sehingga cahaya matahari yang diterima jauh lebih maksimal dan optimal kemudian dengan tambahan lensa fresnel dan reflektor, sistem *solar tracker* mampu memaksimalkan sejumlah intensitas cahaya matahari yang diterima oleh *solar cell* untuk menjadi lebih terpusat / terkonsentrasi sepenuhnya hanya pada *solar cell* serta dengan bantuan reflektor yang bekerja dengan cara memanfaatkan reflektansi berdekatan terhadap permukaan *solar cell*, cahaya matahari yang menuju *solar cell* dengan sudut pemasangan yang telah ditetapkan berhasil bekerja dengan memantulkan cahaya yang sebelumnya tidak diterima oleh *solar cell* tepat menuju *solar cell* dan membuat cahaya matahari terkonsentrasi hanya pada hanya pada 1 objek , dalam hal ini terdapat 3 kerja peralatan pendukung yang bekerja dengan sangat efektif sehingga hal ini berdampak pada kenaikan Isc.

Sistem *solar tracker* membuat *solar cell* terhindar dari adanya efek bayangan (*shading effect*), yang biasanya cenderung menimpa *solar cell* dengan posisi pemasangan konstan terhadap permukaan bumi, resiko yang akan dialami dengan pemasangan seperti itu mengakibatkan terpotongnya tegangan pada bagian *solar cell* yang tertutupi bayangan, efek tersebut jika semakin lama terjadi maka akan berpengaruh kepada kinerja *solar cell* secara keseluruhan. dengan adanya sistem ini maka efek tersebut dapat dihindarkan, sehingga menjadikan *solar cell*

yang dilengkapi dengan sistem ini menjadi lebih ideal di bandingkan dengan seluruh peralatan pendukung yang digunakan.

Kemudian untuk nilai I_{sc} terendah ada pada pengujian hari 2 alat ke III dengan nilai I_{sc} yang dihasilkan sebesar 0,09 *ampere*. Hal ini disebabkan karena nilai parameter kinerja *solar cell* dengan peralatan pendukung lensa fresnel berupa I_{sc} cenderung *linear* terhadap peningkatan dan penurunan intensitas sinar matahari, hanya saja pada intensitas sinar matahari saat itu, nilai parameter I_{sc} menurun secara drastis, dan itu biasanya disebabkan oleh intensitas sinar matahari pada hari itu cukup rendah, lensa fresnel bekerja dengan cara mengkonsentrasikan radiasi sinar matahari yang diterima oleh *solar cell*, yang menjadi masalah ialah ketika lensa fresnel menerima sinar matahari, sinar keluaran yang dihasilkan tidak semaksimal radiasi normal pada umumnya, akan ada pengurangan kualitas sinar keluaran, dikarenakan fungsi lensa fresnel bukan hanya membuat sinar keluaran lurus, sejajar dan terkonsentrasi, melainkan lensa ini bekerja dengan cara tidak membuat sinar terfokus pada satu titik sehingga ini dapat menekan laju kecepatan suhu pada *solar cell*, efeknya adalah kualitas sinar keluaran yang diterima oleh *solar cell* tidak maksimal dibandingkan radiasi sinar matahari normal pada umumnya, sehingga inilah yang menyebabkan pengujian *solar cell* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dengan nilai iradiasi sinar matahari sebesar $513,2 \text{ W/m}^2$ tetap mengalami penurunan, kemudian ditambah dengan pemasangan *solar cell* pada posisi yang tetap, membuat efek bayangan (*shading effect*) / *partial shading* pada bagian *solar cell* yang tertutupi menjadi semakin lebih besar, apabila bayangan menutupi sebagian atau keseluruhan permukaan *solar cell*, maka ini akan

menyebabkan tegangan maupun arus yang dihasilkan oleh *solar cell* menjadi *drop* total.

4.3 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Daya Maksimum (P_{max})

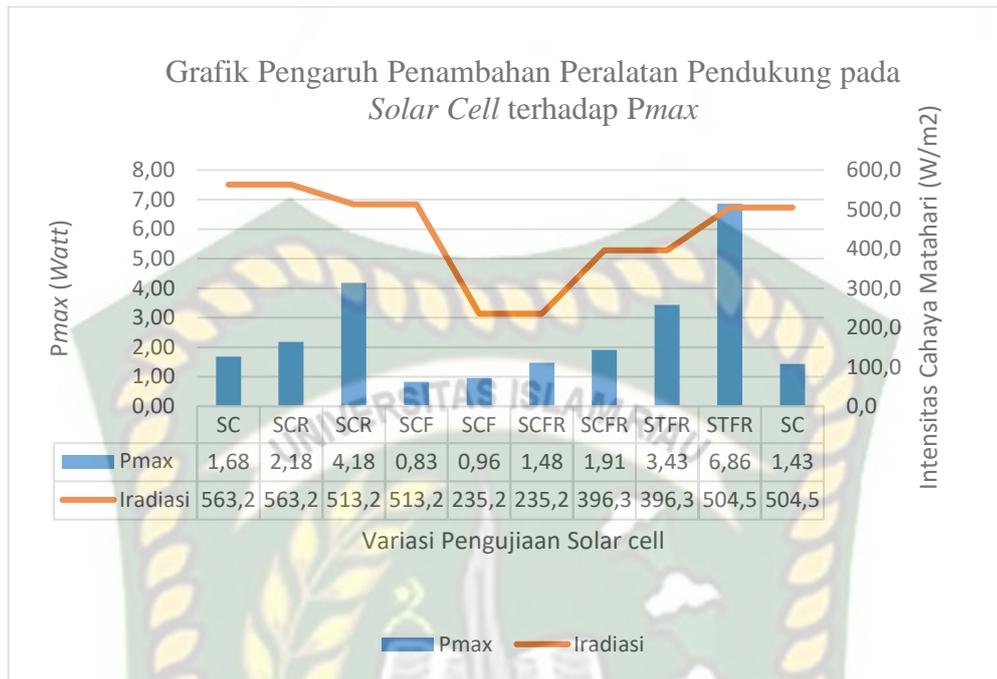
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap daya maksimum (P_{max}). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai P_{max} terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada peralatan pendukung *solar tracker* dengan tambahan reflektor dan lensa fresnel (STRF) pada hari ke 5, pengujian ke V dengan nilai P_{max} sebesar 6,86 watt, dan nilai terendah P_{max} dihasilkan oleh *solar cell* dengan menggunakan peralatan pendukung lensa fresnel (SCF) pada hari ke 2, pengujian ke III dengan nilai P_{max} sebesar 0,83 watt. Hal tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap P_{max}

Hari	Alat	Variasi Peralatan Pendukung	P_{max} (W)	Iradiasi (W/m^2)
1	I	SC	1,68	563,2
	II	SCR	2,18	
2	II	SCR	4,18	513,2
	III	SCF	0,83	
3	III	SCF	0,96	235,2
	IV	SCFR	1,48	

4	IV	SCFR	1,91	396,3
	V	STFR	3,43	
5	V	STFR	6,86	504,5
	I	SC	1,43	

Pada tabel 4.3, untuk paramater kinerja *solar cell* yaitu daya maksimum (P_{max}) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan seiring dengan semakin lengkapnya peralatan pendukung yang ditambahkan. Intensitas cahaya matahari yang menurun, secara keseluruhan tidak membuat parameter nilai P_{max} menurun pula, melainkan sebaliknya, semakin meningkat. Meskipun *solar cell* dengan peralatan pendukung berupa lensa fresnel masih belum mampu untuk meningkatkan nilai parameter P_{max} dikarenakan pada saat pengujian intensitas sinar matahari mengalami penurunan yang cukup drastis, namun itu tidak membuat nilai paramater P_{max} peralatan pendukung tersebut dapat dijadikan acuan untuk pengujian dengan peralatan pendukung lainnya, melainkan sebaliknya, penurunan intensitas sinar matahari di beberapa pengujian dengan peralatan pendukung yang berbeda membuat nilai P_{max} cenderung mengalami peningkatan yang signifikan. Peningkatan dan penurunan nilai parameter P_{max} disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada *Solar Cell* Terhadap *Pmax*

Dari gambar 4.3 diatas menunjukkan bahwa nilai daya maksimum (*Pmax*) yang dihasilkan tiap masing-masing peralatan pendukung memiliki nilai yang berbeda - beda, terlihat bahwa peningkatan intensitas sinar matahari tidak menunjukkan hasil yang signifikan terhadap *Pmax*, melainkan dengan semakin lengkapnya penambahan peralatan pendukung, nilai *Pmax* justru semakin meningkat. Itu dibuktikan dengan nilai daya maksimum (*Pmax*) tertinggi ada pada hari ke 5 pengujian alat ke V yaitu *solar cell* yang dilengkapi dengan peralatan pendukung berupa lensa fresnel dan reflektor (STFR), dengan daya maksimum (*Pmax*) yang dihasilkan sebesar 6,86 watt. Daya maksimum pada penelitian ini dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus listrik DC dengan beban lampu LED sebesar 5 watt, berdasarkan kurva karakteristik I-V pada *solar cell*, nilai parameter

daya maksimum mengindikasikan besarnya daya puncak MPP (*Maximum Power Point*) yang dihasilkan oleh *solar cell* pada saat pengujian. Tingginya nilai P_{max} pada hari ke 5 pengujian alat ke V yaitu STFR disebabkan karena *solar cell* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan reflektor yang dilengkapi dengan sistem pelacak matahari yaitu *solar tracker*, bekerja dengan cara membuat *solar cell* secara otomatis melacak pergerakan terkuat dari cahaya matahari, *solar cell* akan selalu berhadapan dengan sumber cahaya matahari terkuat, sehingga cahaya matahari yang di terima jauh lebih maksimal dari pada tanpa menggunakan peralatan ini kemudian dengan tambahan lensa fresnel dan reflektor, sistem *solar tracker* mampu memaksimalkan sejumlah intensitas cahaya matahari yang diterima oleh *solar cell* untuk menjadi lebih terpusat / terkonsentrasi sepenuhnya hanya pada *solar cell* serta dengan memanfaatkan reflektansi yang berdekatan terhadap permukaan *solar cell* dan dengan fungsi lensa fresnel, suhu yang dihasilkan oleh *solar cell* tidak meningkat secara drastis, melainkan lensa fresnel dapat memberikan sinar keluaran yang lurus dan sejajar, kemudian dari pada itu lensa fresnel juga menekan laju peningkatan suhu pada *solar cell* , lalu dengan sudut pemasangan reflektor yang telah ditetapkan yaitu sebesar 90° terhadap bidang datar berhasil bekerja dengan memantulkan cahaya yang sebelumnya tidak diterima oleh *solar cell* tepat menuju *solar cell* dan membuat cahaya matahari terkonsentrasi hanya pada hanya pada 1 objek, dalam hal ini terdapat 3 kerja peralatan pendukung yang bekerja dengan sangat efektif sehingga hal ini berdampak pada kenaikan P_{max} .

Sistem *solar tracker* membuat *solar cell* terhindar dari adanya efek bayangan (*shading effect*), yang biasanya cenderung menimpa *solar cell* dengan

posisi pemasangan konstan terhadap permukaan bumi, resiko yang akan dialami dengan pemasangan seperti itu mengakibatkan terpotongnya tegangan pada bagian *solar cell* yang tertutupi bayangan, efek tersebut jika semakin lama terjadi maka akan berpengaruh kepada kinerja *solar cell* secara keseluruhan. dengan adanya sistem ini maka efek tersebut dapat dihindarkan, sehingga menjadikan *solar cell* yang dilengkapi dengan sistem ini menjadi lebih ideal dan memiliki nilai P_{max} yang lebih tinggi di bandingkan dengan seluruh peralatan pendukung lain yang digunakan.

Kemudian untuk nilai P_{max} terendah ada pada pengujian hari 2 alat ke III dengan nilai P_{max} yang dihasilkan sebesar 0,83 *watt*. Hal ini disebabkan karena nilai parameter kinerja *solar cell* dengan peralatan pendukung lensa fresnel berupa P_{max} , dimana parameter ini merupakan hasil perkalian antara tegangan maksimum (V_{max}) dan arus maksimum (I_{max}), dimana kedua parameter ini adalah hasil keluaran dari beban berupa LED 5 *watt*, kedua parameter ini cenderung *linear* terhadap peningkatan dan penurunan intensitas sinar matahari, hanya saja pada intensitas sinar matahari saat itu, nilai parameter menurun secara drastis, dan itu biasanya disebabkan oleh intensitas sinar matahari pada hari itu cukup rendah, lensa fresnel pada dasarnya bekerja dengan cara mengkonsentrasikan radiasi sinar matahari yang diterima oleh *solar cell*, yang menjadi masalah ialah ketika lensa fresnel menerima sinar matahari, sinar keluaran yang dihasilkan tidak semaksimal radiasi normal pada umumnya, akan ada pengurangan kuantitas sinar keluaran, dikarenakan fungsi lensa fresnel bukan hanya membuat sinar keluaran lurus, sejajar dan terkonsentrasi, melainkan lensa ini bekerja dengan cara tidak membuat sinar

terfokus pada satu titik sehingga ini dapat menekan laju kecepatan suhu pada *solar cell*, efeknya adalah kualitas sinar keluaran yang diterima oleh *solar cell* tidak maksimal dibandingkan radiasi sinar matahari normal pada umumnya, sehingga inilah yang menyebabkan pengujian *solar cell* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dengan nilai iradiasi sinar matahari sebesar $513,2 \text{ W/m}^2$ tetap mengalami penurunan, kemudian ditambah dengan pemasangan *solar cell* pada posisi yang tetap, membuat efek bayangan (*shading effect*) / *partial shading* pada bagian *solar cell* yang tertutupi menjadi semakin lebih besar, apabila bayangan menutupi sebagian atau keseluruhan permukaan *solar cell*, maka ini akan menyebabkan tegangan maupun arus yang dihasilkan oleh *solar cell* menjadi *drop total*.

4.4 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Fill Factor (FF)

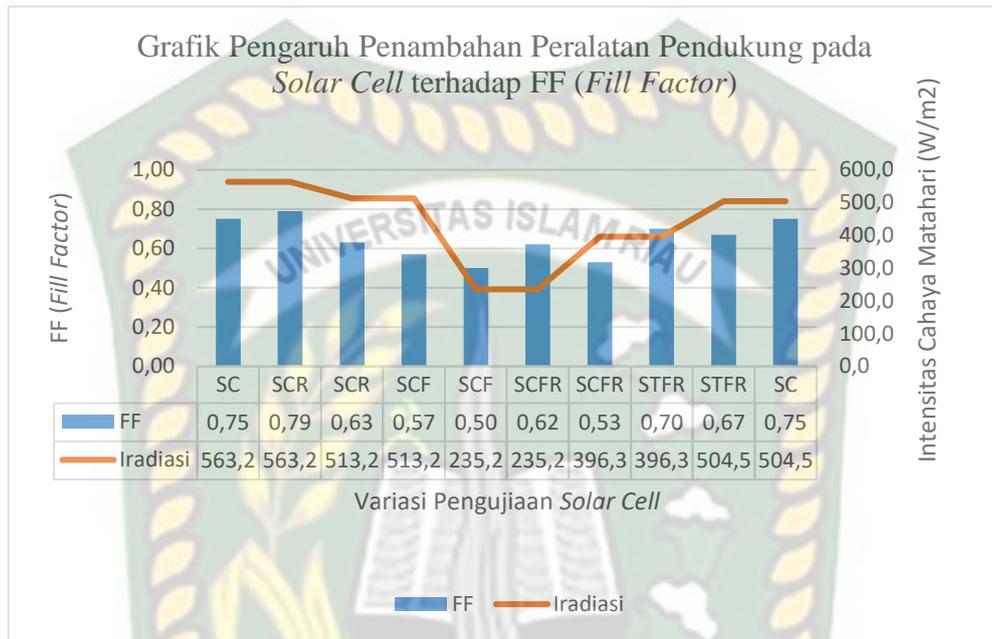
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap daya maksimum (FF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai FF terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada peralatan pendukung *solar tracker* dengan tambahan reflektor dan lensa fresnel (SCR) pada hari ke 1, pengujian ke II dengan nilai FF sebesar 0,79 yang termasuk ke dalam kategori grade A dan nilai terendah FF dihasilkan oleh *solar cell* dengan menggunakan peralatan pendukung lensa fresnel (SCF) pada hari ke 3, pengujian ke III dengan nilai FF sebesar 0,50 yang termasuk kedalam kategori *grade B*. Hal tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap FF

Hari	Alat	Variasi Peralatan Pendukung	FF	Iradiasi (W/m^2)
1	I	SC	0,75	563,2
	II	SCR	0,79	
2	II	SCR	0,63	513,2
	III	SCF	0,57	
3	III	SCF	0,50	235,2
	IV	SCFR	0,62	
4	IV	SCFR	0,53	396,3
	V	STFR	0,70	
5	V	STFR	0,67	504,5
	I	SC	0,75	

Pada tabel 4.4, untuk paramater kinerja *solar cell* yaitu *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan, peralatan pendukung berupa reflektor (SCR) yang ditambahkan mampu meningkatkan *fill factor* pada *solar cell*. Namun jika lihat secara keseluruhan intensitas cahaya matahari yang menurun membuat parameter nilai *fill factor* ikut menurun pula, Meskipun beberapa peralatan pendukung telah mampu bekerja dengan baik dan optimal, tetap saja *fill factor* yang dihasilkan mengalami penurunan dibandingkan dengan *solar cell* tanpa menggunakan peralatan pendukung. Peningkatan dan

penurunan nilai parameter *fill factor* (FF) disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada *Solar cell* Terhadap *Fill Factor*

Dari gambar 4.4 diatas menunjukkan bahwa *fill factor* (FF) yang dihasilkan tiap masing-masing peralatan pendukung memiliki nilai yang berbeda - beda, secara keseluruhan intensitas cahaya matahari yang menurun membuat parameter nilai *fill factor* ikut menurun pula, Meskipun beberapa peralatan pendukung telah mampu bekerja dengan baik dan optimal, tetap saja *fill factor* yang dihasilkan mengalami penurunan dibandingkan dengan *solar cell* tanpa menggunakan peralatan pendukung. peningkatan intensitas sinar matahari pada beberapa peralatan pendukung tidak menunjukkan hasil yang signifikan terhadap FF, kecuali pada peralatan pendukung yang dilengkapi reflektor nilai FF tertinggi ada pada hari ke 1

pengujian alat ke II yaitu *solar cell* yang dilengkapi dengan peralatan pendukung berupa reflektor. Hal ini disebabkan karena reflektor surya bekerja dengan cara memaksimalkan penyerapan cahaya pada *solar cell*, yaitu dengan memanfaatkan reflektansi yang berdekatan terhadap permukaan *solar cell*, cahaya matahari yang menuju *solar cell* dengan sudut pemasangan yang telah ditetapkan berhasil bekerja dengan memantulkan cahaya yang sebelumnya tidak diterima oleh *solar cell* tepat menuju *solar cell*, sehingga *solar cell* pada saat itu menerima cahaya matahari yang lebih banyak dari pada *solar cell* tanpa menggunakan peralatan pendukung, pengkonsentrasian cahaya pada satu objek akan membuat *fluks* energi menjadi lebih besar, prinsip yang ditekankan adalah dengan semakin banyak cahaya matahari (foton) yang diterima *solar cell* maka akan menyebabkan timbulnya beda potensial yang lebih besar pada *solar cell*, artinya hal itu akan menyebabkan semakin banyaknya elektron di dalam bahan semikonduktor (*silicon*) yang berikatan (ikatan kovalen) berpotensi untuk dapat terputus, dan mengalir menjadi energi listrik. Sehingga hal itu menyebabkan foton yang mempunyai tingkat energi yang melebihi batas *threshold (band-gap)* 1eV, lebih banyak memutuskan ikatan valensi atom *silicon*, dan dengan itu akan semakin banyak elektron yang dilepaskan, yang sebelumnya berada di pita valensi menuju pita konduksi. Dengan memanfaatkan cara tersebut, terbukti berpengaruh terhadap nilai parameter FF yang dihasilkan.

Kemudian untuk nilai FF terendah ada pada pengujian hari pada hari ke 3, pengujian ke III dengan nilai FF sebesar 0,50 yang termasuk kedalam kategori grade B. Hal ini disebabkan karena nilai parameter kinerja *solar cell* dengan peralatan pendukung lensa fresnel berupa FF, dimana parameter ini merupakan

hasil perkalian dan pembagian antara tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) arus hubung singkat (I_{sc}) dan daya maksimum (P_{max}), dimana ketiga parameter ini adalah hasil keluaran dari beban berupa LED 5 volt, kedua parameter ini cenderung *linear* terhadap peningkatan dan penurunan intensitas sinar matahari, hanya saja pada intensitas sinar matahari saat itu, nilai parameter menurun secara drastis, dan itu biasanya disebabkan oleh intensitas sinar matahari pada hari itu cukup rendah, lensa fresnel pada dasarnya bekerja dengan cara mengkonsentrasikan radiasi sinar matahari yang diterima oleh *solar cell*, yang menjadi masalah ialah ketika lensa fresnel menerima sinar matahari, sinar keluaran yang dihasilkan tidak semaksimal radiasi normal pada umumnya, akan ada pengurangan kuantitas sinar keluaran, dikarenakan fungsi lensa fresnel bukan hanya membuat sinar keluaran lurus, sejajar dan terkonsentrasi, melainkan lensa ini bekerja dengan cara tidak membuat sinar terfokus pada satu titik sehingga ini dapat menekan laju kecepatan suhu pada *solar cell*, efeknya adalah kualitas sinar keluaran yang diterima oleh *solar cell* tidak maksimal dibandingkan radiasi sinar matahari normal pada umumnya, sehingga inilah yang menyebabkan pengujian *solar cell* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dengan nilai iradiasi sinar matahari sebesar $513,2 \text{ W/m}^2$ tetap mengalami penurunan, kemudian ditambah dengan pemasangan *solar cell* pada posisi yang tetap, membuat efek bayangan (*shading effect*) / *partial shading* pada bagian *solar cell* yang tertutupi menjadi semakin lebih besar, apabila bayangan menutupi sebagian atau keseluruhan permukaan *solar cell*, artinya hal itu akan menyebabkan semakin sulit elektron di dalam bahan semikonduktor (*silicon*) yang berikatan (ikatan kovalen) berpotensi untuk dapat terputus, dan mengalir menjadi energi

listrik. Sehingga hal itu menyebabkan foton yang mempunyai tingkat energi yang melebihi batas *threshold (band-gap)* 1eV, terhambat dalam memutus ikatan valensi atom *silicon*, dan dengan itu akan menyebabkan berkurangnya elektron yang dilepaskan yang sebelumnya berada di pita valensi menuju pita konduksi. maka ini akan menyebabkan tegangan maupun arus yang dihasilkan oleh *solar cell* menjadi *drop* total sehingga penurunan demi penurunan ini akan membuat nilai grade untuk menentukan rentang FF pada SCF menjadi berkurang.

4.5 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Daya Keluaran (*Pout*)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap daya keluaran (*Pout*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *Pout* terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada peralatan pendukung *solar tracker* dengan tambahan reflektor dan lensa fresnel (STRF) pada hari ke 5, pengujian ke V dengan nilai *Pout* sebesar 6,86 *watt*, dan nilai terendah *Pout* dihasilkan oleh *solar cell* dengan menggunakan peralatan pendukung lensa fresnel (SCF) pada hari ke 2, pengujian ke III dengan nilai sebesar 0,83 *watt*. Hal tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.5 dibawah ini.

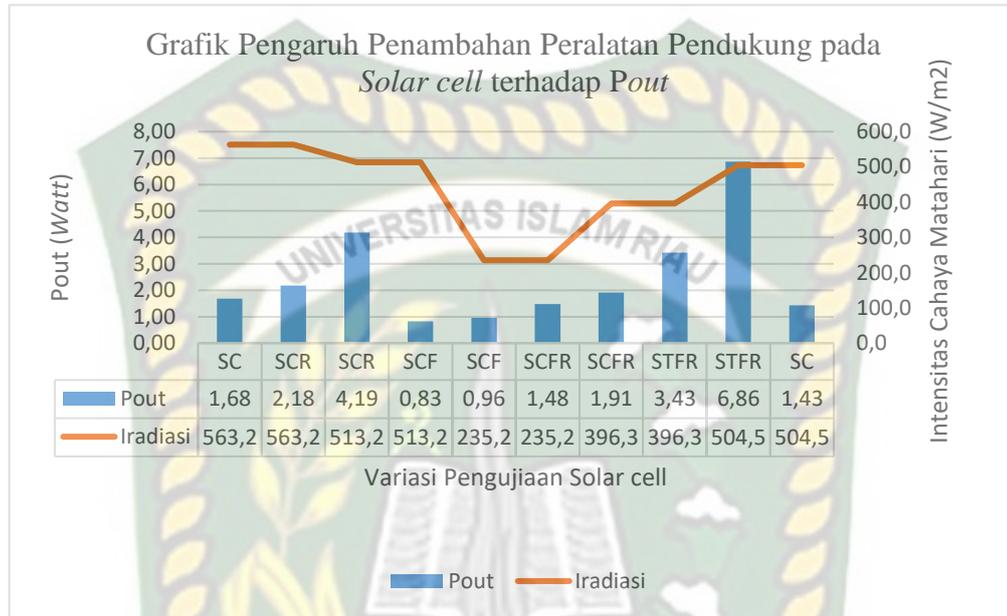
Tabel 4.5 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap *Pout*

Hari	Alat	Variasi Peralatan Pendukung	<i>Pout</i> (W)	Iradiasi (W/m^2)
1	I	SC	1,68	563,2

	II	SCR	2,18	
2	II	SCR	4,19	513,2
	III	SCF	0,83	
3	III	SCF	0,96	235,2
	IV	SCFR	1,48	
4	IV	SCFR	1,91	396,3
	V	STFR	3,43	
5	V	STFR	6,86	504,5
	I	SC	1,43	

Pada tabel 4.5, untuk parameter kinerja *solar cell* yaitu daya keluaran (*Pout*) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan seiring dengan semakin variatifnya peralatan pendukung yang ditambahkan. Intensitas cahaya matahari yang menurun, secara keseluruhan tidak membuat parameter nilai *Pout* menurun pula, melainkan sebaliknya, semakin meningkat. Meskipun *solar cell* dengan peralatan pendukung berupa lensa fresnel masih belum mampu untuk meningkatkan nilai parameter *Pout* dikarenakan pada saat pengujian intensitas sinar matahari mengalami penurunan yang cukup drastis, namun itu tidak membuat nilai parameter *Pout* peralatan pendukung tersebut dapat dijadikan acuan untuk pengujian dengan peralatan pendukung lainnya, melainkan sebaliknya, penurunan intensitas sinar matahari di beberapa pengujian dengan peralatan pendukung yang berbeda membuat nilai *Pout* cenderung mengalami peningkatan yang signifikan.

Peningkatan dan penurunan nilai parameter P_{out} disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada *Solar cell* Terhadap P_{out}

Dari gambar 4.5 diatas menunjukkan bahwa nilai daya keluaran (P_{out}) yang dihasilkan tiap masing-masing peralatan pendukung memiliki nilai yang berbeda - beda, terlihat bahwa peningkatan intensitas sinar matahari tidak menunjukkan hasil yang signifikan terhadap P_{out} , melainkan dengan semakin lengkapnya penambahan peralatan pendukung, nilai P_{out} justru semakin meningkat. Itu dibuktikan dengan nilai daya keluaran (P_{out}) tertinggi ada pada hari ke 5 pengujian alat ke V yaitu *solar tracker* yang dilengkapi dengan peralatan pendukung berupa lensa fresnel dan reflektor (STFR), dengan daya keluaran (P_{out}) yang dihasilkan sebesar 6,86 watt. Daya keluaran pada penelitian ini dihasilkan dari perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}) dan nilai *Fill Factor* (FF) dengan beban

lampu LED sebesar 5 watt, berdasarkan kurva karakteristik I-V pada *solar cell*, nilai parameter daya keluaran mengindikasikan besarnya daya keluaran DC yang dihasilkan oleh *solar cell* untuk menghidupkan lampu LED pada saat pengujian. Tingginya nilai P_{out} pada hari ke 5 pengujian alat ke V yaitu STFR disebabkan karena *solar cell* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan reflektor yang dilengkapi dengan sistem pelacak matahari yaitu *solar tracker*, bekerja dengan cara membuat *solar cell* secara otomatis melacak pergerakan terkuat dari cahaya matahari, *solar cell* akan selalu berhadapan dengan sumber cahaya matahari terkuat, sehingga cahaya matahari yang di terima jauh lebih maksimal dari pada tanpa menggunakan peralatan ini kemudian dengan tambahan lensa fresnel dan reflektor, sistem *solar tracker* mampu memaksimalkan sejumlah intensitas cahaya matahari yang diterima oleh *solar cell* untuk menjadi lebih terpusat / terkonsentrasi sepenuhnya hanya pada *solar cell* serta dengan memanfaatkan reflektansi yang berdekatan terhadap permukaan *solar cell* dan dengan fungsi lensa fresnel suhu yang dihasilkan oleh *solar cell* tidak meningkat secara drastis, melainkan lensa fresnel dapat memberikan sinar keluaran yang lurus dan sejajar, kemudian dari pada itu lensa fresnel juga menekan laju peningkatan suhu pada *solar cell* , lalu dengan sudut pemasangan reflektor yang telah ditetapkan yaitu sebesar 90° terhadap bidang datar berhasil bekerja dengan memantulkan cahaya yang sebelumnya tidak diterima oleh *solar cell* tepat menuju *solar cell* dan membuat cahaya matahari terkonsentrasi hanya pada hanya pada 1 objek, dalam hal ini terdapat 3 kerja peralatan pendukung yang bekerja dengan sangat efektif sehingga hal ini berdampak pada kenaikan P_{max} .

Sistem *solar tracker* membuat *solar cell* terhindar dari adanya efek bayangan (*shading effect*), yang biasanya cenderung menimpa *solar cell* dengan posisi pemasangan konstan terhadap permukaan bumi, resiko yang akan dialami dengan pemasangan seperti itu mengakibatkan terpotongnya tegangan pada bagian *solar cell* yang tertutupi bayangan, efek tersebut jika semakin lama terjadi maka akan berpengaruh kepada kinerja *solar cell* secara keseluruhan. dengan adanya sistem ini maka efek tersebut dapat dihindarkan, sehingga menjadikan *solar cell* yang dilengkapi dengan sistem ini menjadi lebih ideal dan memiliki nilai *Pout* yang lebih tinggi di bandingkan dengan seluruh peralatan pendukung lain yang digunakan. nilai daya keluaran yang sama dengan nilai daya maksimum mengindikasikan bahwa *solar cell* dengan peralatan pendukung berupa sistem *tracking*, lensa fresnel dan reflektor telah berfungsi dengan sangat baik, tanpa adanya rugi-rugi daya pada saat listrik DC yang dibangkitkan menuju lampu LED.

Kemudian untuk nilai *Pout* terendah ada pada pengujian hari 2 alat ke III dengan nilai *Pout* yang dihasilkan sebesar 0,83 *watt*. Hal ini disebabkan karena nilai parameter kinerja *solar cell* dengan peralatan pendukung lensa fresnel berupa *Pout*, dimana parameter ini merupakan hasil perkalian antara tegangan rangkaian terbuka (*Voc*) arus hubung singkat (*Isc*), dan *Fill Factor* (*FF*) dimana kedua parameter ini adalah hasil keluaran dari beban berupa LED 5 *volt*, kedua parameter ini cenderung *linear* terhadap peningkatan dan penurunan intensitas sinar matahari, hanya saja pada intensitas sinar matahari saat itu, nilai parameter menurun secara drastis, dan itu biasanya disebabkan oleh intensitas sinar matahari pada hari itu cukup rendah, lensa fresnel pada dasarnya bekerja dengan cara mengkonsentrasikan radiasi sinar

matahari yang diterima oleh *solar cell*, yang menjadi masalah ialah ketika lensa fresnel menerima sinar matahari, sinar keluaran yang dihasilkan tidak semaksimal radiasi normal pada umumnya, akan ada pengurangan kuantitas sinar keluaran, dikarenakan fungsi lensa fresnel bukan hanya membuat sinar keluaran lurus, sejajar dan terkonsentrasi, melainkan lensa ini bekerja dengan cara tidak membuat sinar terfokus pada satu titik sehingga ini dapat menekan laju kecepatan suhu pada *solar cell*, efeknya adalah kualitas sinar keluaran yang diterima oleh *solar cell* tidak maksimal dibandingkan radiasi sinar matahari normal pada umumnya, sehingga inilah yang menyebabkan pengujian *solar cell* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dengan nilai iradiasi sinar matahari sebesar $513,2 \text{ W/m}^2$ tetap mengalami penurunan, kemudian ditambah dengan pemasangan *solar cell* pada posisi yang tetap, membuat efek bayangan (*shading effect*) / *partial shading* pada bagian *solar cell* yang tertutupi menjadi semakin lebih besar, apabila bayangan menutupi sebagian atau keseluruhan permukaan *solar cell*, maka ini akan menyebabkan tegangan maupun arus yang dihasilkan oleh *solar cell* untuk menuju lampu LED menjadi *drop total*.

4.6 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Efisiensi (η)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap efisiensi yang dihasilkan oleh *solar cell* (η). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada peralatan pendukung *solar tracker* dengan tambahan reflektor dan lensa fresnel (STRF) pada hari ke 5, pengujian ke V dengan nilai efisiensi sebesar 15,03 %, dan nilai terendah

efisiensi dihasilkan oleh *solar cell* dengan menggunakan peralatan pendukung lensa fresnel (SCF) pada hari ke 2, pengujian ke III dengan nilai efisiensi sebesar 2,34 %.

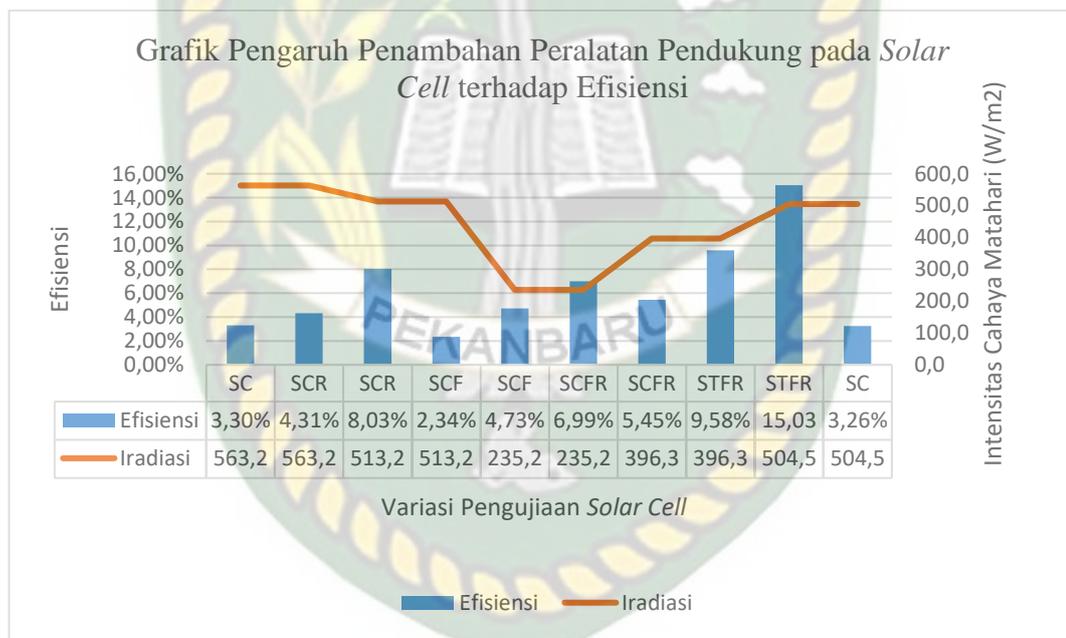
Hal tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Efisiensi

Hari	Alat	Variasi Peralatan Pendukung	Efisiensi (η)	Iradiasi (W/m^2)
1	I	SC	3,30%	563,2
	II	SCR	4,31%	
2	II	SCR	8,03%	513,2
	III	SCF	2,34%	
3	III	SCF	4,73%	235,2
	IV	SCFR	6,99%	
4	IV	SCFR	5,45%	396,3
	V	STFR	9,58%	
5	V	STFR	15,03%	504,5
	I	SC	3,26%	

Pada tabel 4.6, untuk paramater kinerja *solar cell* yaitu efisiensi (η) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan seiring dengan semakin variatifnya peralatan pendukung yang ditambahkan. Intensitas cahaya matahari yang menurun, secara keseluruhan tidak membuat parameter nilai efisiensi menurun pula, melainkan sebaliknya, semakin meningkat. Meskipun *solar cell* dengan peralatan pendukung berupa lensa fresnel masih belum mampu untuk

meningkatkan nilai parameter efisiensi dikarenakan pada saat pengujian intensitas sinar matahari mengalami penurunan yang cukup drastis, namun itu tidak membuat nilai parameter efisiensi peralatan pendukung tersebut dapat dijadikan acuan untuk pengujian dengan peralatan pendukung lainnya, melainkan sebaliknya, penurunan intensitas sinar matahari di beberapa pengujian dengan peralatan pendukung yang berbeda membuat nilai efisiensi cenderung mengalami peningkatan yang signifikan. Peningkatan dan penurunan nilai parameter efisiensi pada *solar cell* disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung pada *Solar cell* Terhadap Efisiensi

Dari gambar 4.6 diatas menunjukkan bahwa nilai daya efisiensi (η) yang dihasilkan tiap masing-masing peralatan pendukung memiliki nilai yang berbeda - berbeda, terlihat bahwa peningkatan intensitas sinar matahari tidak menunjukkan hasil

yang signifikan terhadap efisiensi, melainkan dengan semakin lengkapnya penambahan peralatan pendukung, nilai efisiensi justru semakin meningkat. Itu dibuktikan dengan nilai efisiensi (η) tertinggi ada pada hari ke 5 pengujian alat ke V yaitu *solar tracker* yang dilengkapi dengan peralatan pendukung berupa lensa fresnel dan reflektor (STFR), dengan nilai efisiensi (η) yang dihasilkan sebesar 6,86 watt. Efisiensi pada penelitian ini dihasilkan dari pembagian antara daya masuk pada *solar cell* dan daya keluaran yang dihasilkan oleh *solar cell* kemudian dikali dengan 100, dengan beban lampu LED sebesar 5 watt. Tingginya nilai P_{out} pada hari ke 5 pengujian alat ke V yaitu STFR disebabkan karena *solar cell* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan reflektor yang dilengkapi dengan sistem pelacak matahari yaitu *solar tracker*, bekerja dengan cara membuat *solar cell* secara otomatis melacak pergerakan terkuat dari cahaya matahari, *solar cell* akan selalu berhadapan dengan sumber cahaya matahari terkuat, sehingga cahaya matahari yang di terima jauh lebih maksimal dari pada tanpa menggunakan peralatan ini kemudian dengan tambahan lensa fresnel dan reflektor, sistem *solar tracker* mampu memaksimalkan sejumlah intensitas cahaya matahari yang diterima oleh *solar cell* untuk menjadi lebih terpusat / terkonsentrasi sepenuhnya hanya pada *solar cell* serta dengan memanfaatkan reflektansi yang berdekatan terhadap permukaan *solar cell* dan dengan fungsi lensa fresnel suhu yang dihasilkan oleh *solar cell* tidak meningkat secara drastis, melainkan lensa fresnel dapat memberikan sinar keluaran yang lurus dan sejajar, kemudian dari pada itu lensa fresnel juga menekan laju peningkatan suhu pada *solar cell*, lalu dengan sudut pemasangan reflektor yang telah ditetapkan yaitu sebesar 90° terhadap bidang datar berhasil

bekerja dengan memantulkan cahaya yang sebelumnya tidak diterima oleh *solar cell* tepat menuju *solar cell* dan membuat cahaya matahari terkonsentrasi hanya pada hanya pada 1 objek, dalam hal ini terdapat 3 kerja peralatan pendukung yang bekerja dengan sangat efektif sehingga hal ini berdampak pada kenaikan efisiensi.

Sistem *solar tracker* membuat *solar cell* terhindar dari adanya efek bayangan (*shading effect*), yang biasanya cenderung menimpa *solar cell* dengan posisi pemasangan konstan terhadap permukaan bumi, resiko yang akan dialami dengan pemasangan seperti itu mengakibatkan terpotongnya tegangan pada bagian *solar cell* yang tertutupi bayangan, efek tersebut jika semakin lama terjadi maka akan berpengaruh kepada kinerja *solar cell* secara keseluruhan. dengan adanya sistem ini maka efek tersebut dapat dihindarkan, sehingga menjadikan *solar cell* yang dilengkapi dengan sistem ini menjadi lebih ideal dan memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi di bandingkan dengan seluruh peralatan pendukung lain yang digunakan.

Kemudian untuk nilai efisiensi terendah ada pada pengujian hari 2 alat ke III dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 2,34 %. Hal ini disebabkan karena nilai parameter kinerja *solar cell* dengan peralatan pendukung lensa fresnel berupa *Pout*, dimana parameter ini merupakan hasil pembagian antara daya masuk pada *solar cell* dan daya keluaran yang dihasilkan oleh *solar cell* kemudian dikali dengan 100, dengan beban lampu LED sebesar 5 *watt* dimana kedua parameter ini adalah hasil keluaran dari beban berupa LED 5 *watt*, kedua parameter ini cenderung *linear* terhadap peningkatan dan penurunan intensitas sinar matahari, hanya saja pada

intensitas sinar matahari saat itu, nilai parameter menurun secara drastis, dan itu biasanya disebabkan oleh intensitas sinar matahari pada hari itu cukup rendah, lensa fresnel pada dasarnya bekerja dengan cara mengkonsentrasikan radiasi sinar matahari yang diterima oleh *solar cell*, yang menjadi masalah ialah ketika lensa fresnel menerima sinar matahari, sinar keluaran yang dihasilkan tidak semaksimal radiasi normal pada umumnya, akan ada pengurangan kuantitas sinar keluaran, dikarenakan fungsi lensa fresnel bukan hanya membuat sinar keluaran lurus, sejajar dan terkonsentrasi, melainkan lensa ini bekerja dengan cara tidak membuat sinar terfokus pada satu titik sehingga ini dapat menekan laju kecepatan suhu pada *solar cell*, efeknya adalah kualitas sinar keluaran yang diterima oleh *solar cell* tidak maksimal dibandingkan radiasi sinar matahari normal pada umumnya, sehingga inilah yang menyebabkan pengujian *solar cell* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dengan nilai iradiasi sinar matahari sebesar $513,2 \text{ W/m}^2$ tetap mengalami penurunan, kemudian ditambah dengan pemasangan *solar cell* pada posisi yang tetap, membuat efek bayangan (*shading effect*) / *partial shading* pada bagian *solar cell* yang tertutupi menjadi semakin lebih besar, apabila bayangan menutupi sebagian atau keseluruhan permukaan *solar cell*, maka ini akan menyebabkan tegangan maupun arus yang dihasilkan oleh *solar cell* untuk menuju lampu LED menjadi *drop* total. Sehingga menyebabkan efisiensi yang dihasilkan jauh berkurang.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian pengujian, perhitungan dan analisa terhadap pengaruh penambahan peralatan pendukung, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Uji kinerja *solar cell* dan analisa yang dilakukan menunjukkan bahwa ada pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap kinerja *solar cell*. dimana semakin lengkap peralatan pendukung yang ditambahkan, maka kinerja *solar cell* cenderung menjadi semakin lebih baik dari pada tanpa menggunakan peralatan pendukung. Hal ini dapat dilihat dari nilai-nilai parameter kinerja dari *solar cell*, yang nilainya bervariasi tergantung dari intensitas matahari dan peralatan pendukung yang ditambahkan.
2. Kinerja *solar cell* yang paling baik diperoleh pada peralatan pendukung di hari ke 5, alat ke V, dengan nilai efisiensi (η) sebesar 15,03 %, nilai arus hubung singkat (I_{sc}) sebesar 0,57 *ampere*, nilai daya maksimum (P_{max}) sebesar 6,86 *watt*, nilai daya keluaran (P_{out}) sebesar 6,86 *watt*, nilai *fill factor* (FF) sebesar 0,67, nilai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) sebesar 17,72 *volt* dengan menggunakan *solar tracker* yang dilengkapi dengan lensa fresnel dan reflektor cermin datar (STFR).

5.2 Saran

Analisa pengaruh penambahan peralatan pendukung pada *solar cell* terhadap *solar cell* ini perlu dikembangkan lagi. Seperti pengujian dengan beberapa variasi peralatan pendukung yang lain. Selain itu pengujian yang dilakukan dengan menambahkan metode pendinginan pada *solar cell* sangat penting untuk dilakukan, karena kinerja *solar cell* secara keseluruhan akan sangat bergantung pada suhu yang dihasilkan oleh permukaan *solar cell*, metode pendinginan sangat diperlukan apabila intensitas pada *solar cell* di tingkatkan. Kendala yang terjadi dalam melakukan penelitian ini adalah kurang bagusnya kualitas bahan pembentuk dari salah satu peralatan pendukung yaitu lensa fresnel dan pemasangan lensa fresnel yang masih kurang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhalim, Z., Ahmed, S., Marwa, S (2018). *Solar Cells and Arrays, Principles, Analysis, and Design*. United States: Elsevier book.
- Bagher, A. M., Mahmoud, M., Vahid, A., & Mohsen, M. (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, 3(5), 94–113. <https://doi.org/10.11648/j.ajop.20150305.17>
- Biodun, A. D., Kehinde, A. D., & Aminat, O. T. (2017). Experimental Evaluation of the Effect of Temperature on Polycrystalline and Monocrystalline Photovoltaic Modules. *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, 9(2), 4–10. <https://doi.org/10.9790/4861-0902020510>
- Blakers, A., Zin, N., McIntosh, K. R., & Fong, K. (2013). High Efficiency Silicon Solar Cells. *Energy Procedia*, 33(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.033>
- Cengel, A, Y. (2003). *A practical approach*. McGraw-Hill. <https://doi.org/10.5408/0022-1368-4.2-2.83>
- Deceased, J. A. D., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley.
- Deepthi, S., Ponni A, Ranjitha R, & R, D. (2008). Comparison of Efficiencies of Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount. *Certified International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 9001(2), 2319–5967. http://www.ijesit.com/Volume 2/Issue 2/IJESIT201302_66.pdf
- Dewi, A. Y. K., Priatmoko, S., & Wahyuni, S. (2012). Elektroda Solar Cell Berbasis Komposit TiO₂/SiO₂ Sebagai Energi Alternatif Terbarukan. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(2), 92–97.
- Dwidayanti, R., Gusmedi, H., & Ratna, S. (2017). Optimasi Pengisian Daya Baterai

- Pada Panel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT).
Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro, 11(1), 21–31.
- Hersch, P., & Zweibel, K. (1982). *Basic Photovoltaic Principles and Methods*.
Technical Information Office Solar Energy Research Intitute (SERI).
- Ilyas, S., & Kasim, I. (2017). Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Reflektor Parabola. *JETri*, 14(2), 67–80.
- Indriani, A., Rustandi, R., Rodiah, Y., Anggraini, I. N., Teknik, F., Bengkulu, U., Pengajar, S., Studi, P., Elektro, T., & Bengkulu, U. (2016). Solar Tracker dan Lensa Fresnel Untuk Optimasi Kinerja Output Solar Cell. *Teknosia*, 2(17), 47–51.
- Isyanto, H., Budiyanto, Fadliondi, & Chamdareno, P. G. (2017). Pendingin untuk peningkatan daya keluaran panel surya. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, November*, 1–2.
- Jwo, W.-S., Tong, C.-C., & Chao, C.-J. (2010). Firmware implementation of an adaptive solar cell maximum power point tracking based on PSoC. In *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*.
<https://doi.org/10.1109/PVSC.2010.5616803>
- Karina, A., & Satwiko, S. (2015). Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV Jateng & DIY*, 1, 163–166.
- Margana. (2019). Solar Tracking Dual-Axis Berbasis Arduino Uno Dengan Menggunakan Lensa Fresnel Guna Meningkatkan Efisiensi Pengfokusan Cahaya Matahari. *Eksergi*, 15(2), 77–80.
- Muchammad., & Setiawan, H. (2011). Peningkatan Efisiensi Modul Surya 50 WP Dengan Penambahan Reflektor. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 2, 45–50.
- Muchammad, & Elfita, Y. (2010). Pengaruh Suhu Permukaan Photovoltaic Module

50 Watt Peak Terhadap Daya Keluaran yang Dihasilkan Menggunakan Reflektor Dengan Variasi Sudut Reflektor 0,50,60,70,80. *ROTASI*, 12(4), 14–18.

Nugroho, Rismanto, A., Facta, M., & Yuning. (2014). Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari (Reflector). *Transient*, 3(3), 408–414.

Pratama, J. M. (2019). *Analisis Pengaruh Lensa Fresnel Dan Cermin Datar Untuk Meningkatkan Daya Keluaran Sel Surya*. Tidak Diterbitkan.

Radhika, & S.K.Suman. (2015). Effect of Tilt angle and Azimuth angle on Solar Output and Optimum Tilt and Azimuth angle for Chandigarh , India. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 4(6), 5104–5110. <https://doi.org/10.15662/ijareeie.2015.0406028>

Salem A, F. (2018). Mechatronics Design of Solar Tracking System. *International Journal of Engineering and Technology*, 10(2), 391–406. <https://doi.org/10.21817/ijet/2018/v10i2/181002023>

Sofronova, E. (2016). An Introduction To Solar Cell Technology. *Journal of Applied Engineering Science*, 14(4), 481–491. <https://doi.org/10.5937/jaes14-10879>

Subandi. (2016). Optimasi Performa Solar Cell Menggunakan Fresnel Lens Konsentrator. *Prosiding SNST Ke-8*, 1(1), 34–39.

Sutaya, I. W., & Ariawan, K. U. (2016). Solar Tracker Cerdas dan Murah Berbasis Mikrokontroler 8 BIT ATmega8535. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 5(1), 673–682.

Tudorache, T., & Kreindler, L. (2010). Design of a solar tracker system for PV power plants. *Acta Polytechnica Hungarica*, 7(1), 23–39.

Ullal, H. S. (2004). Polycrystalline Thin-Film Photovoltaic Technologies : Progress

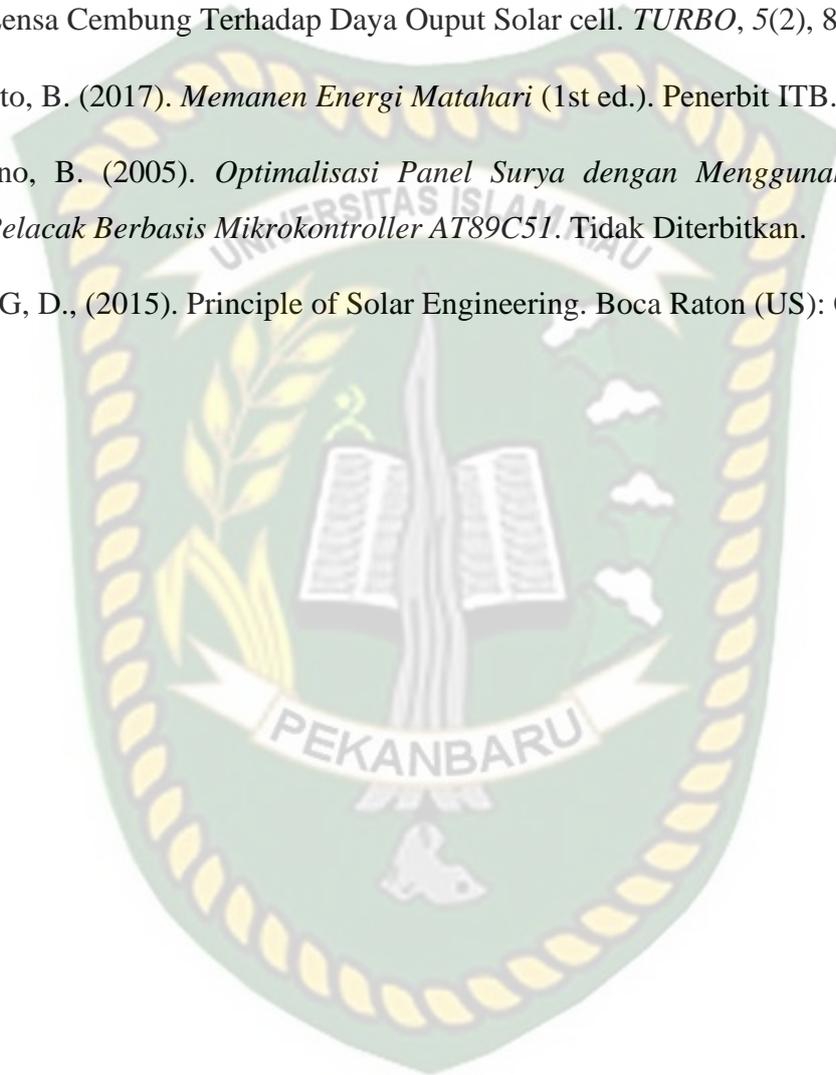
and Technical Issues. *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, August, 1–4.

Yani, A. (2016). Pengaruh Penambahan Alat Pencari Arah Sinar Matahari dan Lensa Cembung Terhadap Daya Ouput Solar cell. *TURBO*, 5(2), 82–87.

Yulianto, B. (2017). *Memanen Energi Matahari* (1st ed.). Penerbit ITB.

Yuwono, B. (2005). *Optimalisasi Panel Surya dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C51*. Tidak Diterbitkan.

Yogi, G. D., (2015). *Principle of Solar Engineering*. Boca Raton (US): CRC Press.





UNIVERSITAS ISLAM RIAU

FAKULTAS TEKNIK

الْجَامِعَةُ الْإِسْلَامِيَّةُ الرَّيُّونِيَّةُ

Alamat: Jalan Kaharuddin Nasution No.113, Marpoyan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284
Telp. +62 761 674674 Email: fakultas_teknik@uir.ac.id Website: www.eng.uir.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

Nomor: 292/A-UIR/5-T/2021

Operator Turnitin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau menerangkan bahwa Mahasiswa/i dengan identitas berikut:

Nama : **SHANDY KURNIADI**
NPM : 163310017
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang Pendidikan : Strata Satu (S1)
Judul Skripsi TA : ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN PERALATAN PENDUKUNG PADA SOLAR CELL TERHADAP KINERJA SOLAR CELL

Dinyatakan **Bebas Plagiat**, berdasarkan hasil pengecekan pada Turnitin menunjukkan angka **Similarity Index < 30%** sesuai dengan peraturan Universitas Islam Riau yang berlaku.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui,

Kaprodi. Teknik Mesin

Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., Ph.D

Pekanbaru, 13 Agustus 2021 M

5 Al-Muharrom 1443 H

Operator Turnitin F. Teknik

Ahmad Pandi, S.Kom.

163310017 - SHANDY KURNIADI - ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN PERALATAN PENDUKUNG PADA SOLAR CELL TERHADAP KINERJA SOLAR CELL

ORIGINALITY REPORT

2%

SIMILARITY INDEX

2%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

1%

2

afm.tf.itb.ac.id

Internet Source

1%

3

digilib.unila.ac.id

Internet Source

1%

4

ojs.ummetro.ac.id

Internet Source

1%

Exclude quotes

Exclude matches

< 1%

OnExclude bibliography On

