

TUGAS AKHIR

**INVESTIGASI TITIK DAYA MAKSIMUM *PHOTOVOLTAIC* DENGAN
PENINGKATAN DAYA GUNA CAHAYA MATAHARI SECARA
BERTAHAP MENGGUNAKAN REFLEKTOR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Program Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas*

Oleh :

UNIVERSITAS ANDALAS
DELA RIZKI YENDA

No BP. 1210953023

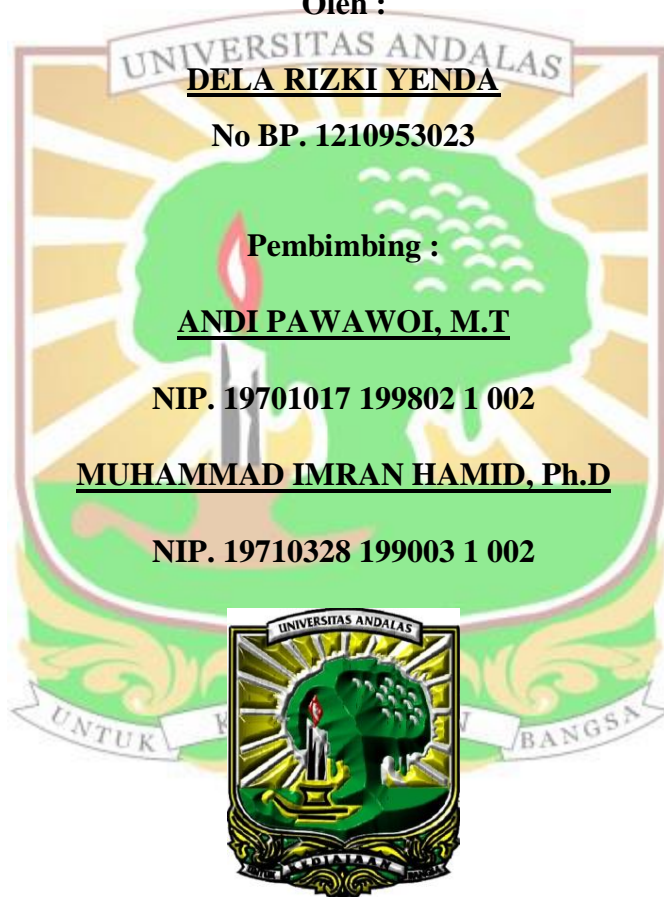
Pembimbing :

ANDI PAWAWOL, M.T

NIP. 19701017 199802 1 002

MUHAMMAD IMRAN HAMID, Ph.D

NIP. 19710328 199003 1 002



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ANDALAS

PADANG

2017

LEMBARAN PENGESAHAN

**INVESTIGASI TITIK DAYA MAKSIMUM *PHOTOVOLTAIC* DENGAN
PENINGKATAN DAYA GUNA CAHAYA MATAHARI SECARA
BERTAHAP MENGGUNAKAN REFLEKTOR**

Oleh :

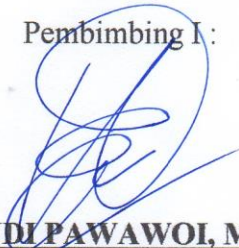
DELA RIZKI YENDA

No. BP : 1210953023

Lulus Sidang Tugas Akhir Tanggal 27 Januari 2017

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I :



ANDI PAWAWOL, M.T
NIP. 19701017 199802 1 002

Pembimbing II :



MUHAMMAD IMRAN HAMID, Ph.D
NIP. 19710328 199003 1 002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

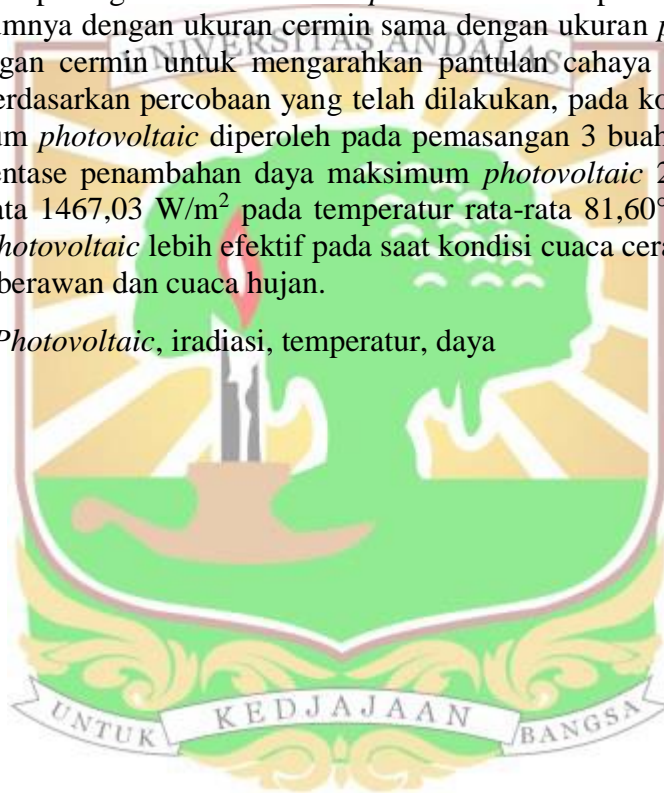


Dr. Eng ARIADI HAZMI
NIP. 19750314 199903 1 003

ABSTRAK

Photovoltaic adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah besar dioda *p-n junction*, dimana dalam hadirnya cahaya matahari mampu menghasilkan energi listrik yang berguna. Untuk menghasilkan daya listrik dalam jumlah besar dibutuhkan *photovoltaic* yang tidak sedikit, sedangkan harganya dipasaran saat ini relatif mahal. Alternatif lain yang dapat dipilih untuk meningkatkan daya keluaran matahari adalah dengan menambah intensitas cahaya yang diterima *photovoltaic* dengan menggunakan reflektor. Namun apabila intensitas ditambah secara terus menerus akan menyebabkan keadaan jenuh akibat kenaikan temperatur yang ikut seiring dengan peningkatan intensitas cahaya, sehingga akan mempengaruhi penurunan daya keluaran *photovoltaic*. Pada penelitian ini, dipasang n cermin di sisi *photovoltaic* sampai menemukan titik daya maksimumnya dengan ukuran cermin sama dengan ukuran *photovoltaic* dan sudut kemiringan cermin untuk mengarahkan pantulan cahaya ke *photovoltaic* adalah 60° . Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, pada kondisi cerah titik daya maksimum *photovoltaic* diperoleh pada pemasangan 3 buah cermin dengan rata-rata persentase penambahan daya maksimum *photovoltaic* 25,91 % dengan iradiasi rata-rata $1467,03 \text{ W/m}^2$ pada temperatur rata-rata $81,60^\circ\text{C}$. Penambahan cermin pada *photovoltaic* lebih efektif pada saat kondisi cuaca cerah dibandingkan dengan cuaca berawan dan cuaca hujan.

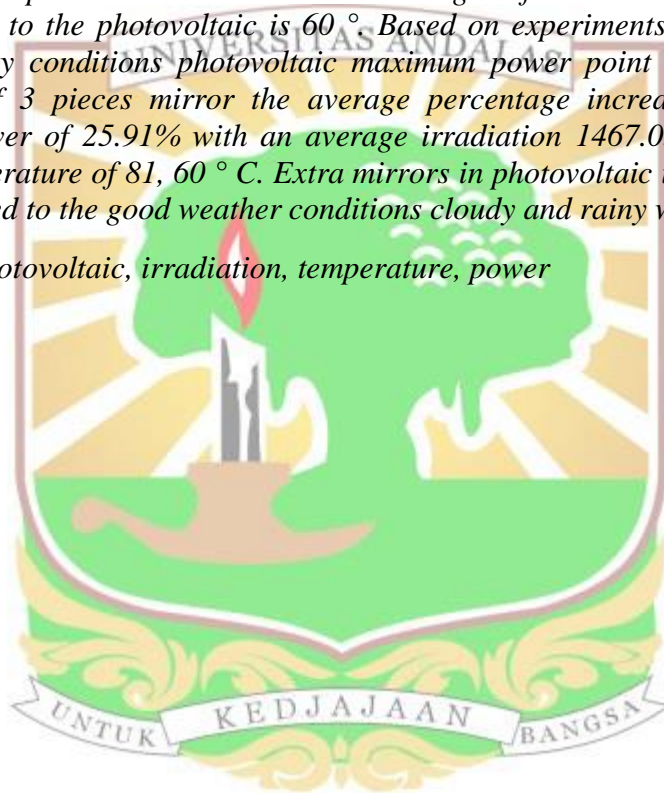
Kata kunci : *Photovoltaic*, iradiasi, temperatur, daya



ABSTRACT

Photovoltaic is a semiconductor device that consists of a large area p-n junction diode, which in the presence of sunlight is able to produce useful electrical energy. To generate large amounts of electricity required no small photovoltaic, whereas the current market price is relatively expensive. Another alternative that can be selected to increase the output power of the sun is to increase the intensity of light received photovoltaic using reflector. However, if the intensity added continuously will cause the state of saturation due to the temperature rise come along with increasing light intensity, so it will affect the decline in the output of photovoltaic power. In this study, the installed photovoltaic n mirror side to find the point of maximum power with a size equal to the size of the photovoltaic mirror and the angle of the mirror to direct the reflected light to the photovoltaic is 60° . Based on experiments that have been done, in sunny conditions photovoltaic maximum power point obtained in the installation of 3 pieces mirror the average percentage increase photovoltaic maximum power of 25.91% with an average irradiation 1467.03 W / m^2 at an average temperature of $81, 60^\circ \text{ C}$. Extra mirrors in photovoltaic is more effective when compared to the good weather conditions cloudy and rainy weather.

Keywords: *Photovoltaic, irradiation, temperature, power*



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil Aalamiin, dengan mengucapkan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan petunjuk. Rahmat, hidayah, dan segala nikmat-Nya kepada seluruh hamba-Nya. Tidak lupa shalawat serta salam dihaturkan kepada Rasullullah Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul **“Investigasi Titik Daya Maksimum *Photovoltaic* dengan Peningkatan Daya Guna Cahaya Matahari Secara Bertahap menggunakan Reflektor”**, yang bertujuan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada fakultas Teknik Universitas Andalas.

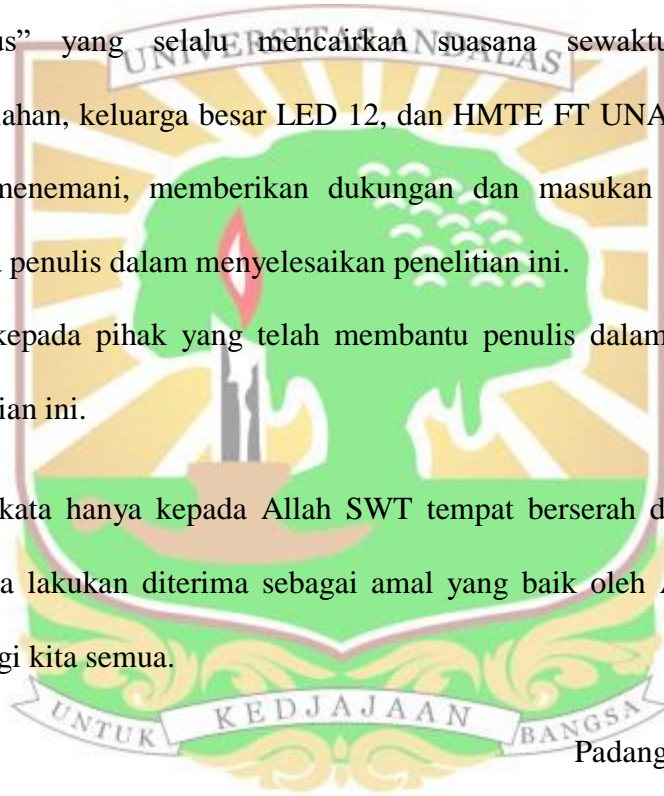
Dalam penulisan tugas akhir ini, tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta (Ayahanda Peltu Purn Dailami Ismail dan Ibunda Marta Yenti Taher,S. Pd) serta kedua adik kandung yang telah memberikan kasih sayang, dukungan moril dan materil serta doa yang senantiasa menyertai penulis selama menempuh pendidikan ini.
2. Bapak Andi Pawawoi,M. T dan Bapak Muhammad Imran Hamid,Ph. D selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabaran untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Ariadi Hazmi selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, seluruh dosen-dosen dan staff administrasi Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Andalas yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah mengajari dan membantu menulis selama menempuh perkuliahan.

4. Kepada Ummu Fadhella Edlis yang telah setia menemani/membantu penulis, Dandi Pamungkas rekan satu tim dalam penelitian yang telah berjasa, Afdal Damra,S. T, Ardy Juni Putra, Jeny Kembar, Nanda Apriyanto,S. T, dan Jihad Patra selaku sahabat se-kontrakan “Teroris Kampus” yang selalu mencairkan suasana sewaktu lelah dalam perkuliahan, keluarga besar LED 12, dan HMTE FT UNAND yang selalu setia menemani, memberikan dukungan dan masukan serta semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
5. Serta kepada pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Akhir kata hanya kepada Allah SWT tempat berserah diri, semoga apa yang telah kita lakukan diterima sebagai amal yang baik oleh Allah SWT dan bermanfaat bagi kita semua.



Padang, 3 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

COVER

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematikan Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Usaha, Energi, dan Daya.....	6
2.2 Sel Surya / Photovoltaic.....	8
2.3 Cahaya.....	21
2.4 Cermin.....	24
2.5 Radiasi.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Flow Chart.....	28

3.2 <i>Setup</i> Penelitian (PLTS).....	29
3.3 Pengambilan Data.....	33
BAB IV PEMBAHASAN	37
4.1 Titik daya maksimum panel surya akibat peningkatan intensitas cahaya menggunakan cermin dengan cara bertahap hingga mendapatkan titik maksimumnya.....	37
4.1.1 Tabel Penelitian.....	38
4.1.2 Pengaruh jumlah cermin terhadap cuaca cerah, berawan, dan hujan.....	42
4.1.3 Grafik pergeseran titik MPP pada <i>photovoltaic</i> akibat penambahan cermin.....	49
4.2 Persentase peningkatan daya output <i>photovoltaic</i> akibat penambahan cermin untuk meningkatkan intensitas cahaya pada panel surya terhadap kondisi normal.....	51
4.2.1 Grafik persentase kenaikan daya maksimum <i>photovoltaic</i> dari setiap kondisi.....	54
4.3 Hasil pengukuran nilai R_f pada penelitian.....	56
BAB V PENUTUP	58
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	61
Lampiran 1. Gambar Spesifikasi alat <i>photovoltaic</i>	61

Lampiran 2. Gambar luxmeter sebagai alat pengukur intensitas cahaya..... 62

Lampiran 3. Gambar infrared thermometer sebagai alat pengukur temperatur..... 63

Lampiran 4. Gambar tegangan dan arus terukur pada penelitian..... 64

Lampiran 5. Gambar pengukuran Rf pada penelitian..... 65



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Karakteristik terhadap variasi perubahan sudut a°	32
Tabel 4.1 Data cuaca cerah di hari yang berbeda.....	38
Tabel 4.2 Data cuaca berawan.....	39
Tabel 4.3 Data cuaca hujan.....	41
Tabel 4.4 Peningkatan daya maksimum pada cuaca cerah.....	43
Tabel 4.5 Rata-rata peningkatan daya maksimum pada cuaca cerah.....	45
Tabel 4.6 Peningkatan daya maksimum pada berbagai kondisi cuaca.....	47
Tabel 4.7 Persentase peningkatan daya maksimum pada cuaca cerah.....	52
Tabel 4.8 Persentase peningkatan daya maksimum pada berbagai kondisi cuaca.....	53
Tabel 4.9 Data pengukuran R_f	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus kerja <i>photovoltaics</i>	10
Gambar 2.2 Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya.....	11
Gambar 2.3 Struktur pita sebuah semikonduktor.....	12
Gambar 2.4 Tingkat energi yang dihasilkan oleh sambungan p-n Semikonduktor.....	12
Gambar 2.5 Grafik arus terhadap tegangan dan daya terhadap tegangan sebagai karakteristik sel surya.....	15
Gambar 2.6 karakteristik kurva V-I terhadap perubahan <i>irradiance</i>	16
Gambar 2.7 Karakteristik P-V terhadap perubahan <i>irradiance</i>	17
Gambar 2.8 Karakteristik V-I terhadap perubahan temperatur.....	18
Gambar 2.9 Karakteristik P-V terhadap perubahan temperatur.....	18
Gambar 2.10 Hukum pemantulan cahaya snellius.....	22
Gambar 2.11 Arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang panel sel surya.....	23
Gambar 2.12 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi.....	26
Gambar 2.13 Grafik besar radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi.....	27
Gambar 3.1 Rangkaian <i>photovoltaic</i> tanpa penambahan cermin.....	30
Gambar 3.2 Rangkaian <i>photovoltaic</i> dengan penambahan cermin.....	31
Gambar 3.3 Ilustrasi sudut kemiringan cermin terhadap <i>photovoltaic</i>	32
Gambar 4.1 Grafik keadaan jenuh <i>photovoltaic</i>	47

Gambar 4.2 Grafik pergeseran titik <i>MPP</i> pada cuaca cerah.....	49
Gambar 4.3 Grafik pergeseran titik <i>MPP</i> pada cuaca berawan.....	50
Gambar 4.4 Grafik pergeseran titik <i>MPP</i> pada cuaca hujan.....	51
Gambar 4.5 Grafik persentase kenaikan daya maksimum pada cuaca cerah.....	54
Gambar 4.6 Grafik persentase kenaikan daya maksimum pada berbagai kondisi cuaca.....	56



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era modern seperti sekarang, listrik sudah menjadi salah satu kebutuhan pokok manusia. Ketergantungan manusia terhadap listrik sangat besar [1]. Bahkan beberapa teknologi konvensional saat ini, sudah ditinggalkan dan beralih ke teknologi yang menggunakan listrik dalam pengoperasiannya, seperti teknologi yang dahulunya menggunakan minyak sebagai sumber penggerak, namun dewasa ini sudah mulai diubah menggunakan listrik, sehingga kebutuhan dunia akan listrik semakin besar. Untuk mengimbangi konsumsi energi tersebut dibutuhkan alat yang mampu menghasilkan energi listrik yang besar pula.

Saat ini dunia sedang mengembangkan teknologi PLTS dalam pemanfaatan energi cahaya matahari yang *dikonversikan* menjadi energi listrik. Berdasarkan letak astronomi Indonesia yang terletak di garis Khatulistiwa, maka sangat layak jika Indonesia mengembangkan PLTS sebagai teknologi dalam mengimbangi tuntutan manusia terhadap ketergantungan akan listrik. Indonesia juga memiliki iklim tropis (terdiri dari 2 musim, panas dan hujan), sehingga penyinaran matahari di wilayah Indonesia (± 12 jam) cukup untuk menjadikan PLTS sebagai solusi untuk tuntutan kebutuhan akan listrik. Salah satu teknologi yang digunakan dalam PLTS tersebut adalah panel surya. Panel surya mampu mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik secara langsung. Panel surya sering disebut dengan sel *photovoltaic*. *Photovoltaic* dapat diartikan sebagai peralatan yang dapat membangkitkan listrik dari energi *photon* yang terdapat pada cahaya

matahari. Sel surya atau sel *Photovoltaic* bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan, sehingga besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan tergantung terhadap besarnya intensitas cahaya matahari yang diterima panel [2].

Untuk memperbesar energi listrik yang dapat dihasilkan dari panel surya biasanya beberapa panel dipasang secara seri [3]. Namun untuk merealisasikan hal tersebut dibutuhkan panel surya yang tidak sedikit, sedangkan harga panel surya dipasaran saat ini relatif mahal, sehingga membutuhkan investasi yang sangat besar. Alternatif lain yang dapat dipilih untuk meningkatkan daya keluaran matahari adalah dengan menambah intensitas cahaya yang diterima panel dengan menggunakan reflektor, cahaya matahari dipantulkan dengan cermin ke panel, sehingga intensitas cahaya yang diterima panel bisa meningkat [4].

Peningkatan intensitas cahaya pada panel surya dengan menggunakan reflektor, selain dapat menambah daya keluaran panel surya, juga pada titik tertentu akan menyebabkan meningkatnya temperatur, sehingga daya keluaran akan cenderung berkurang. Oleh karena itu perlu diinvestigasi titik-titik dimana modul-modul *photovoltaic* memberikan daya optimum dalam kondisi bertambahnya intensitas cahaya akibat reflektor dan menurunnya daya keluaran akibat pertambahan panas yang juga diakibatkan oleh reflektor.

1.2 Rumusan Masalah

Secara teori semakin besar intensitas cahaya yang diterima panel maka semakin besar daya outputnya [4]. Namun jika intensitas ditingkatkan terus secara

bertahap panel surya pasti akan mencapai titik jenuhnya, sehingga tidak lagi efektif meningkatkan daya output. Titik jenuh tersebut perlu diinvestigasi untuk mendapat titik optimum panel surya dalam mengkonversi energi matahari menjadi listrik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui titik daya maksimum panel surya akibat peningkatan intensitas cahaya menggunakan cermin dengan cara bertahap hingga mendapatkan titik maksimumnya.
2. Mendapatkan nilai persentase peningkatan daya output *photovoltaic* akibat penambahan cermin untuk meningkatkan intensitas cahaya pada panel surya terhadap kondisi normal.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, diantaranya adalah :

1. Dalam peningkatan intensitas cahaya, hanya sampai mendapatkan titik daya maksimum panel surya.
2. Tidak menganalisa perubahan temperatur.
3. Ukuran cermin sama dengan ukuran *photovoltaic* dan sudut kemiringan cermin untuk mengarahkan pantulan cahaya ke panel surya adalah 60° .
4. Photovoltaic dengan :
 - Jenis : mono-kristal

- Ukuran : (77,5 x 65,5) cm
- Daya : 60 watt
- Voc : 22 volt
- Isc : 3,9 ampere

Lokasi pengambilan data di sekitaran daerah Air Tawar, Padang.

5. Peningkatan intensitas cahaya dilakukan secara bertahap sesuai dengan pantulan cahaya yang bisa diberikan oleh reflektor.

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini, penulis mengharapkan bahwa :

1. Dapat meningkatkan efektifitas panel surya.
2. Mengurangi biaya investasi dari PLTS.
3. Mampu meningkatkan produksi daya oleh PLTS.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori tentang “usaha, energi, dan daya”, “sel surya atau photovoltaic”, “cahaya”, “cermin”, dan “radiasi”, serta

teori-teori pendukung lainnya yang digunakan untuk membantu dalam perencanaan dan pembuatan tugas akhir.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

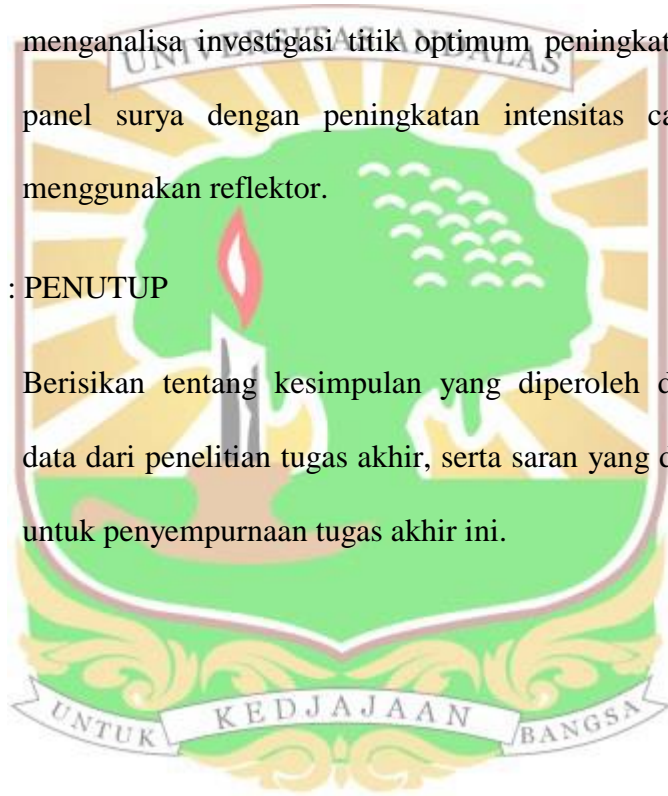
Membahas Langkah-langkah dan komponen-komponen yang digunakan dalam literatur dan pengolahan data hasil pengukuran.

BAB IV : ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang hasil dari penelitian panel surya dalam menganalisa investigasi titik optimum peningkatan daya output panel surya dengan peningkatan intensitas cahaya matahari menggunakan reflektor.

BAB V : PENUTUP

Berisikan tentang kesimpulan yang diperoleh dari pengolahan data dari penelitian tugas akhir, serta saran yang dapat digunakan untuk penyempurnaan tugas akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Usaha, Energi, dan Daya

Usaha, energi, dan daya adalah tiga hal yang saling terikat satu sama lain. Usaha menurut KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia) adalah kegiatan dengan mengerahkan tenaga, pikiran, atau badan untuk mencapai suatu maksud [7]. Dengan kata lain, usaha adalah suatu kegiatan atau pengoperasian kerja yang memerlukan tenaga (energi) dalam proses pengerjaannya untuk mendapatkan tujuan tertentu. Energi berasal dari bahasa Yunani yaitu "*En*" yang berarti dalam/di dalam dan "*Ergon*" yang berarti kerja. Energi adalah jumlah gaya atau daya yang jika diterapkan dapat memindahkan satu obyek dari satu posisi ke posisi lain atau Energi didefinisikan sebagai kapasitas sistem untuk melakukan kerja [6]. Sedangkan daya adalah kecepatan melakukan kerja. Daya sama dengan jumlah energi yang dihabiskan per satuan waktu [9].

Energi dapat memiliki banyak bentuk: kinetik, potensial, cahaya, suara, gravitasi, elastis, elektromagnetik atau nuklir. Menurut hukum kekekalan energi, bentuk energi dapat diubah menjadi bentuk lain dan total energi akan tetap sama. Energi secara luas diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu energi terbarukan dan energi tidak terbarukan [6]. Dalam penelitian ini, akan diteliti mengenai jenis energi terbarukan. Objek yang diteliti adalah cahaya matahari. Seperti yang kita ketahui bahwa energi matahari dapat menghasilkan listrik.

Dalam sistem kerja PLTS, energi matahari akan dikonversikan menjadi energi listrik melalui suatu alat yang dinamakan dengan “*photovoltaic*” [3].

Dalam ilmu ke-elektroan, ketika suatu muatan melewati elemen rangkaian tertutup, maka medan listrik akan bekerja pada rangkaian tersebut. Beda potensial atau *voltage* adalah kerja yang dilakukan untuk memindahkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal keterminal lainnya [5], secara matematis yaitu:

$$V = \frac{dw}{dq} \dots\dots\dots (2.1)$$

Jika arus merupakan perubahan kecepatan muatan terhadap waktu atau muatan yang mengalir dalam satuan waktu dengan simbol I (dari kata Perancis : *intensite*) [5].

$$I = \frac{dq}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

I = arus (ampere)

dQ = banyaknya muatan yang lewat (coulomb)

dt = waktu sesaat (second)

Maka usaha yang bekerja pada muatan tersebut sebanding dengan tegangan dan arus pada selang waktu tertentu, atau secara matematis ditulis yaitu [4] :

$$dW = V.I.dt \dots\dots\dots (2.3)$$

Hubungan lain antara arus dengan tegangan adalah hukum ohm yang berbunyi besarnya tegangan rangkaian sebanding dengan besarnya hambatan dan arus yang mengalir pada rangkaian tersebut [5], secara matematis dituliskan

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots (2.4)$$

Dalam kelistrikan usaha adalah energi listrik yang ditransfer ke dalam elemen rangkaian dalam selang waktu tertentu dan satuan usaha adalah joule. Transfer energi pada waktu tertentu atau sesaat disebut daya yang dilambangkan dengan P dengan satuan joule per detik atau watt. Maka berdasarkan rumus 2.3 didapatkan rumus daya yaitu [4]:

$$P = \frac{dW}{dt} = V \cdot I \dots\dots\dots (2.5)$$

- P = daya (watt atau J/s)
- dt = waktu sesaat (second)
- dw = usaha (watt atau J/s)
- V = Tegangan (volt)
- I = Arus (ampere)



2.2 Sel Surya / Photovoltaic

Sel surya atau sel photovoltaic, adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah besar dioda p-n *junction*, dimana dalam hadirnya cahaya matahari mampu menghasilkan energi listrik yang berguna. Pengubahan ini disebut dengan efek photovoltaic. Bidang riset yang berhubungan dengan sel

surya dikenal sebagai *photovoltaics*. Sel surya memiliki banyak aplikasi, terutama cocok untuk digunakan bila tenaga listrik dari grid tidak tersedia, seperti wilayah terpencil, satelit pengorbit bumi, kalkulator genggam, pompa air, dan lain-lain. Sel surya (dalam bentuk modul atau panel surya) dapat dipasang di atap gedung dimana terhubung dengan inverter ke grid listrik dalam sebuah pengaturan net-metering. Banyak bahan semikonduktor yang dapat dipakai untuk membuat sel surya diantaranya Silikon, Titanium Oksida, Germanium, dan lain-lain [10].

Sel surya terdiri dari dua jenis, yaitu terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p (positif) dan n (negatif) (p-n junction semiconductor) yang apabila terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik [1].

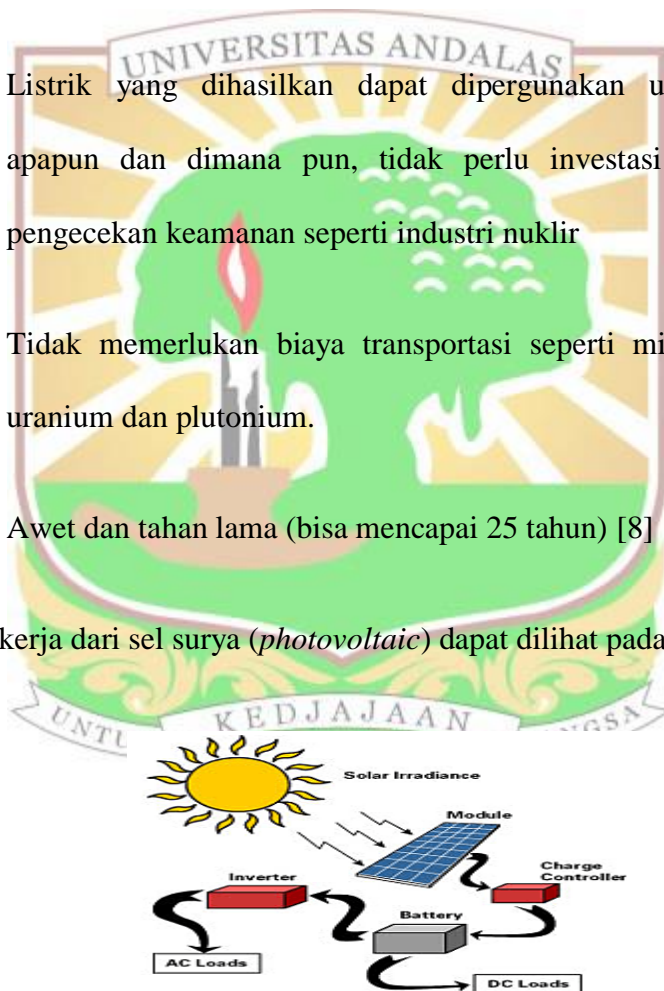
Cara Kerja Solar Panel:

1. Cara kerja sistem pembangkit listrik tenaga surya menggunakan grid connected panel sel surya photovoltaic
2. Modul sel surya photovoltaic mengubah energi surya menjadi arus listrik DC. Arus listrik DC yang dihasilkan ini akan dialirkan melalui inverter (konversi daya) yang mengubahnya menjadi arus listrik AC, yang secara otomatis juga akan mengatur seluruh sistem
3. Listrik AC akan didistribusikan melalui panel distribusi indoor yang akan mengalirkan listrik sesuai kebutuhan alat elektronik (televisi, radio, AC, dan lain-lain). Besar dan biaya konsumsi listrik yang dipakai akan diukur dalam Watt-Hour-Meters

Kelebihan Sel Surya :

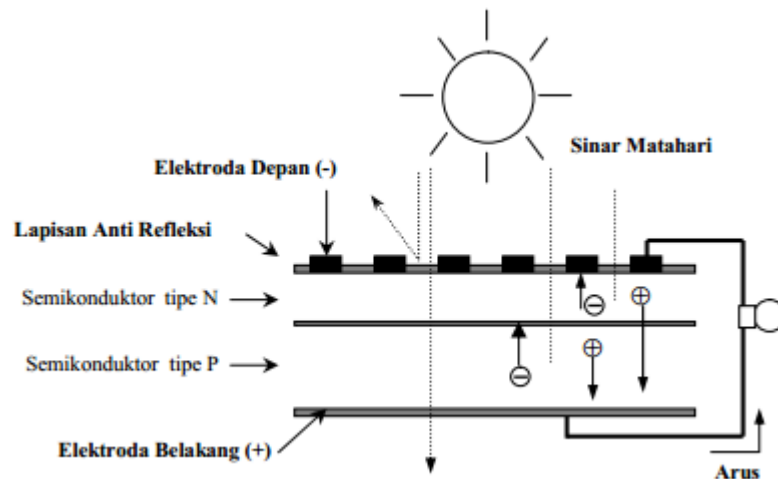
1. Bersih dan bebas polusi
2. Beroperasi tanpa ada bagian yang perlu dibongkar pasang
3. Minim perawatan
4. Listrik yang dihasilkan dapat dipergunakan untuk keperluan apapun dan dimana pun, tidak perlu investasi besar ataupun pengecekan keamanan seperti industri nuklir
5. Tidak memerlukan biaya transportasi seperti minyak, batubara, uranium dan plutonium.
6. Awet dan tahan lama (bisa mencapai 25 tahun) [8]

Siklus kerja dari sel surya (*photovoltaic*) dapat dilihat pada gambar 2.1



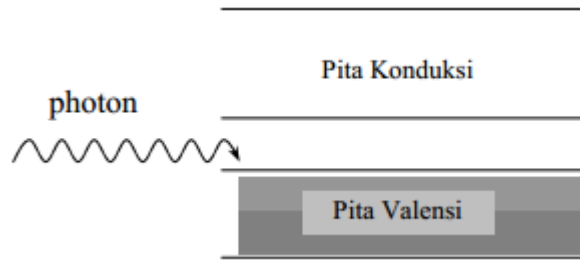
Gambar 2.1. Siklus kerja *photovoltaics* [4]

Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam gambar 2.2



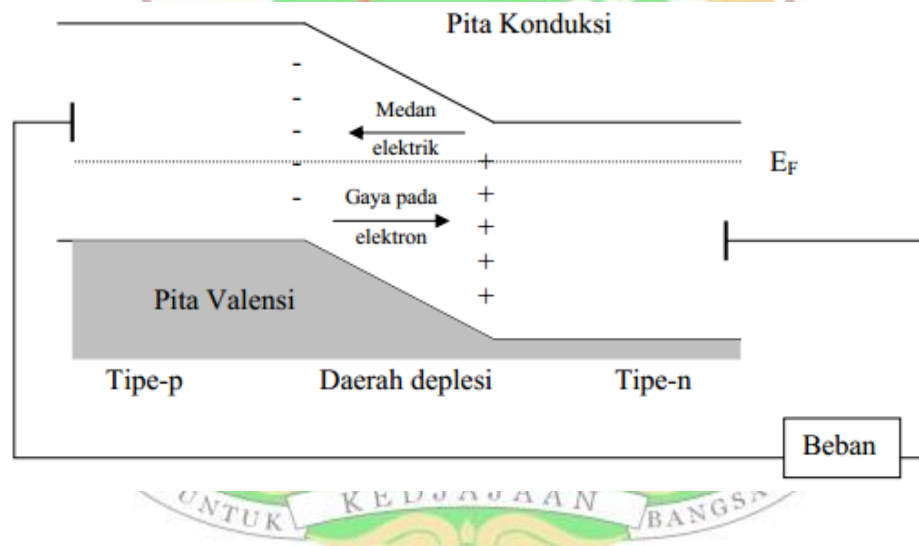
Gambar 2.2 Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya [1]

Proses yang terjadi pada gambar 2.2 yaitu pada bagian utama pengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah penyerap (absorber), meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari sel surya. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik, oleh karena itu penyerap disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi sinar yang berasal dari cahaya matahari. Lebih detail lagi bisa dijelaskan bahwa semikonduktor adalah bahan yang memiliki struktur seperti isolator akan tetapi memiliki celah energi kecil (1 eV atau kurang) sehingga memungkinkan elektron bisa melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan pita-pita energi seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur pita sebuah semikonduktor [1]

Elektron dari pita konduksi dapat meloncat ke pita valensi ketika sambungan tersebut dikenai photon dengan energi tertentu. Tingkat energi yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tingkat energi yang dihasilkan oleh sambungan p-n Semikonduktor [1]

Ketika sinar matahari yang terdiri dari photon-photon jatuh pada permukaan bahan sel surya (absorber), akan diserap, dipantulkan, atau dilewatkan begitu saja seperti terlihat pada gambar 2.2, dan hanya foton dengan tingkat energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalirlah arus listrik. Tingkat energi ini disebut energi band-gap

yang didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan kovalennya sehingga terjadilah aliran arus listrik. Elektron dari pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi. Elektron menjadi pembawa n dan meninggalkan hole. Pembawa p akan bergerak menuju persambungan demikian juga pembawa n akan bergerak ke persambungan, perpindahan tersebut menghasilkan beda potensial. Arus dan daya yang dihasilkan *photovoltaic* ini dapat dialirkan ke rangkaian luar. Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalennya, energi foton (hc) harus sedikit lebih besar atau diatas daripada energi band-gap. Jika energi foton terlalu besar dari pada energi band-gap, maka ekstra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada sel surya. Karenanya sangatlah penting pada sel surya untuk mengatur bahan yang dipergunakan, yaitu dengan memodifikasi struktur molekul dari semikonduktor yang dipergunakan.

Agar efisiensi sel surya bisa tinggi maka foton yang berasal dari sinar matahari harus bisa diserap yang sebanyak-banyaknya, kemudian memperkecil refleksi dan rekombinasi serta memperbesar konduktivitas dari bahannya. Agar foton bisa diserap sebanyak-banyaknya, maka penyerap harus memiliki energi band-gap dengan jangkauan yang lebar, sehingga memungkinkan untuk bisa menyerap sinar matahari yang mempunyai energi sangat bermacam-macam tersebut. Salah satu bahan yang sedang banyak diteliti adalah $CuInSe_2$ yang dikenal merupakan salah satu dari *direct semiconductor*.

Untuk mendapatkan keluaran yang besar maka perlu penggabungan dari beberapa sel surya yang disebut dengan modul sel surya. Pada modul,

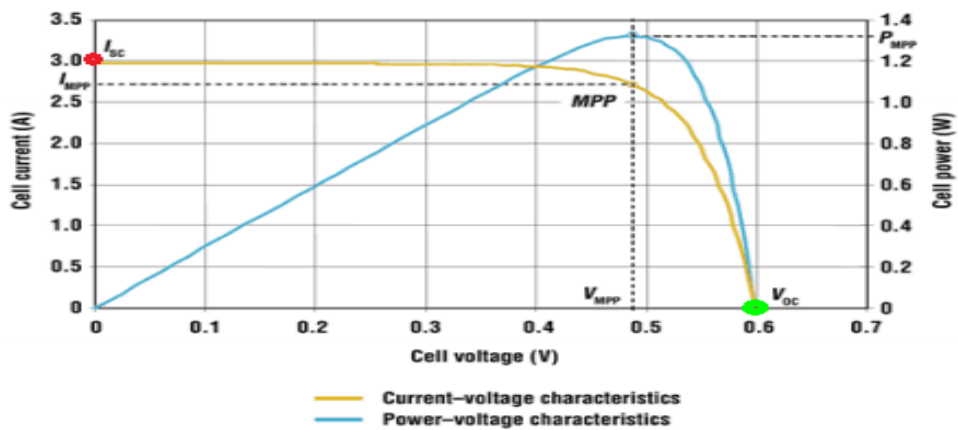
sel surya dihubungkan secara seri atau parallel untuk menghasilkan tegangan, arus, atau daya yang tinggi. Permukaan modul ditutup dengan kaca atau materi transparan lain untuk proteksi terhadap lingkungan.

Karakteristik Sel Surya

Sel surya merupakan sebuah piranti yang mampu merubah secara langsung energi cahaya menjadi energi listrik, proses pengubahan ini terjadi melalui efek fotolistrik. Efek fotolistrik adalah peristiwa terpelepasnya sejumlah elektron pada permukaan sebuah logam ketika disinari seberkas cahaya. Saat sel surya disinari oleh matahari, maka sel surya dapat menghasilkan tegangan dan arus apa bila di rangkaian dengan rangkaian tertutup. Karakteristik tegangan- arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut.

Arus Hubungan Singkat (I_{sc}) pada Sel Surya

I_{sc} adalah arus yang mengalir pada saat tegangan sama dengan nol. I_{sc} bergantung linear terhadap *irradiance*, temperatur dan dipengaruhi beberapa hal lain, yaitu luas area sel, spektrum cahaya dan parameter optik lain. Sel surya komersial memiliki I_{sc} yang bervariasi antara 28 mA/cm^2 sampai 35 mA/cm^2 [2]. Nilai I_{sc} dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini pada titik merah.



Gambar 2.5 Grafik arus terhadap tegangan dan daya terhadap tegangan sebagai karakteristik sel surya [1]

Tegangan Terbuka (V_{oc}) Pada Sel Surya

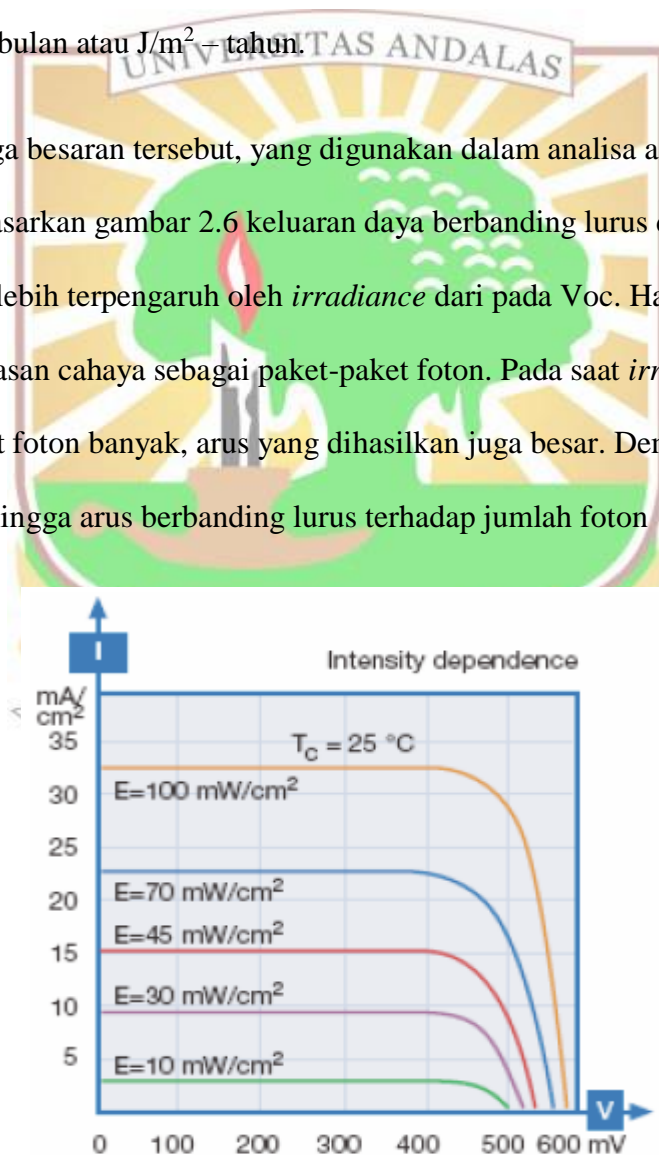
V_{oc} adalah tegangan maksimum dari sel surya dan ini terjadi pada saat arus sel sama dengan nol, seperti yang terlihat pada gambar 2.5 pada warna titik hijau. Seperti halnya I_{sc} , V_{oc} juga berpengaruh terhadap nilai *irradiance* dan temperatur [2].

Pengaruh *Irradiance* Terhadap Sel Surya.

Radiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa *range* panjang gelombang, mulai dari 300 nm sampai dengan 4 mikron. Sebagian radiasi mengalami refleksi di atmosfer (diffuse radiation) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (direct radiation). Kedua radiasi ini dipakai untuk mengukur besaran radiasi yang diterima sel surya. Besaran-besarnya penting untuk mengukur tersebut adalah [2] :

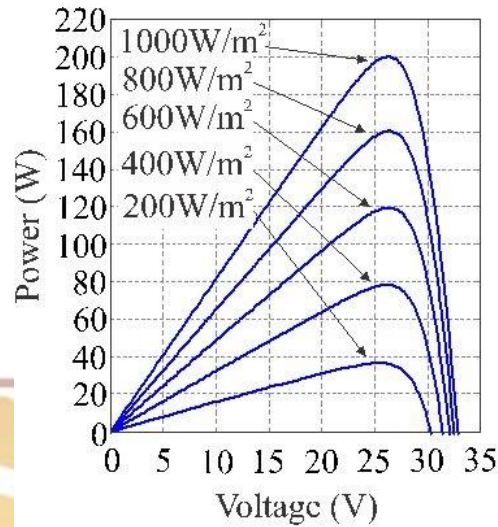
- *Spectral irradiance* – daya yang diterima oleh satu unit area dalam bentuk differensial panjang gelombang $d\lambda$, satuan: $W/m^2 \mu m$.
- *Irradiance* – Integral dari *spectral irradiance* untuk keseluruhan panjang gelombang, satuan: W/m^2 .
- Radiasi – Integral waktu dari *irradiance* untuk jangka waktu tertentu oleh sebab itu, satuannya adalah sama dengan satuan energi, yaitu J/m^2 – hari, J/m^2 – bulan atau J/m^2 – tahun.

Di antara ketiga besaran tersebut, yang digunakan dalam analisa adalah *Irradiance* (W/m^2). Berdasarkan gambar 2.6 keluaran daya berbanding lurus dengan *irradiance*. I_{sc} lebih terpengaruh oleh *irradiance* dari pada V_{oc} . Hal ini sesuai dengan penjelasan cahaya sebagai paket-paket foton. Pada saat *irradiance* tinggi, yaitu pada saat foton banyak, arus yang dihasilkan juga besar. Demikian pula sebaliknya, sehingga arus berbanding lurus terhadap jumlah foton [2].



Gambar 2.6 karakteristik kurva V-I terhadap perubahan *irradiance* [2].

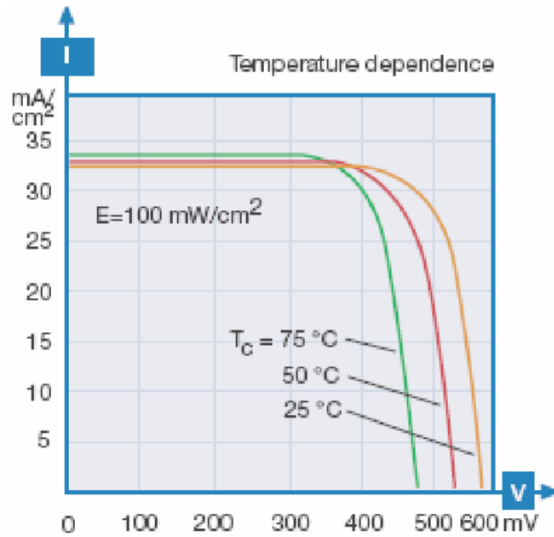
Sehingga keluaran dari sel surya berbanding lurus dengan nilai *irradiance* seperti yang di tunjukan oleh gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.7 Karakteristik P-V terhadap perubahan *irradiance* [11].

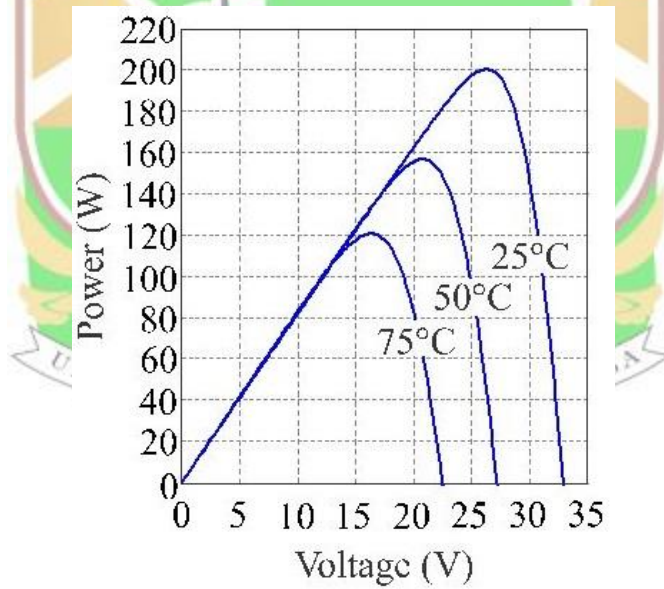
Pengaruh Temperatur Terhadap Sel Surya

Irradiance bukan satu-satunya parameter eksternal yang memiliki pengaruh penting terhadap kurva daya sel surya, ada juga pengaruh suhu. Komponen semikonduktore seperti dioda sensitif terhadap perubahan suhu, begitu pula dengan sel surya. Pada gambar 2.8 terlihat perubahan suhu berpengaruh besar terhadap V_{oc} , hal ini berlawanan dengan pengaruh *irradiance*. Kenaikan *irradiance* berbanding lurus dengan kenaikan suhu [2].



Gambar 2.8 karakteristik V-I terhadap perubahan temperatur [2].

Sehingga daya keluaran dari sel surya seperti yang di tunjukan oleh gambar 2.9 berikut ini



Gambar 2. 9 Karakteristik P-V terhadap perubahan temperatur [11].

Maksimum Power Point (MPP).

Perkalian antara tegangan dan arus yang menghasilkan daya tertinggi diantara perkalian V-I lainnya pada *irradiance* yang sama, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.5 di atas. Tegangan titik daya maksimum atau V_{MPP} biasanya kurang dari tegangan rangkaian terbuka dan arusnya, I_{MPP} lebih rendah dibandingkan dengan arus rangkaian pendek.

Seperti yang terlihat pada gambar 2.5 bila sel surya bekerja pada tegangan 0.2 volt, maka daya yang dihasilkan hanya 0.6 watt. Sedangkan apabila sel surya bekerja pada tegangan 0.49 maka dapat menghasilkan daya sekitar 1.3 watt (MPP).

Efisiensi Sel Surya

Untuk melihat performa dari satu modul sel surya dengan sel surya yang lain umumnya dengan melihat efisiensinya. Efisiensi dalam sel surya didefinisikan sebagai perbandingan daya keluaran dengan daya yang diterima. Daya yang diterima dalam sel surya adalah *irradiance* yang diterima oleh permukaan sel surya [2] :

Sesuai dengan persamaan 2.6 :

$$P_{in} = I_r A \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

- P_{in} = daya input akibat radiasi matahari (watt)
- I_r = Intensitas radiasi matahari (watt/m²)
- A = Luas permukaan photovoltaic module (m²)

Sedangkan untuk besarnya daya keluaran pada *solar sell* (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [4]:

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

- P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh sel surya (Watt)
- V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada sel surya (Volt)
- I_{sc} = Arus hubungan singkat pada sel surya (Ampere)
- FF = *Fill factor*

dengan FF adalah *fill factor*, yaitu parameter yang menyatakan seberapa jauh $I_{sc} \cdot V_{oc}$ dari daya maksimal $V_m \cdot I_m$ yang dihasilkan sel surya [2].

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Efisiensi yang terjadi pada sel surya merupakan perbandingan daya yang didapat dibandingkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari radiasi matahari [4]. Berikut merupakan rumus efisiensi:

$$\mu = \frac{P_{out}}{P_{inp}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.9)$$

2.3 Cahaya

Cahaya adalah radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang kasat mata maupun yang tidak. Selain itu, cahaya adalah paket partikel yang disebut foton. Sedangkan intensitas adalah keadaan tingkatan atau ukuran

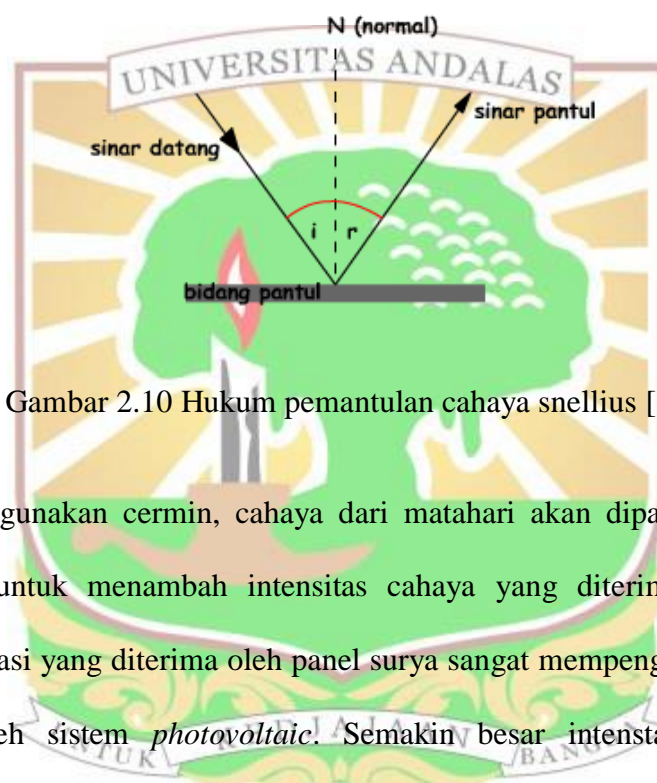
instensnya. Intensitas cahaya adalah besaran pokok fisika untuk mengukur daya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya pada arah tertentu per satuan sudut. Cahaya digambarkan sebagai garis lurus yang disebut berkas cahaya. Sedangkan berkas cahaya adalah kelompok sinar-sinar cahaya. Berkas cahaya dikelompokkan menjadi tiga macam berdasarkan arah datang, yaitu berkas cahaya sejajar, berkas cahaya divergen (menyebar), Berkas cahaya konvergen (mengumpul). Berkas cahaya sejajar biasa dilihat dari sinar cahaya yang dipancarkan oleh lampu senter. Untuk berkas cahaya divergen (menyebar) seperti sinar dari lampu penerang ruangan atau sinar hasil pembiasan oleh lensa cekung. Sedangkan berkas cahaya konvergen (mengumpul) seperti halnya pembiasan cahaya oleh cermin cekung atau oleh lensa cembung.

Sifat-sifat cahaya :

1. Cahaya merambat lurus
2. Cahaya dapat dipantulkan
3. Cahaya dapat dibiaskan
4. Cahaya dapat diuraikan
5. Cahaya dapat menembus benda bening

Pada penelitian ini, akan memanfaatkan salah satu sifat dari cahaya yaitu cahaya dapat dipantulkan. Apabila cahaya mengenai suatu permukaan maka cahaya akan dipantulkan. Arah dari pantulan ini akan membentuk sudut terhadap garis normalnya, dimana garis normal itu sendiri merupakan garis

tegak lurus terhadap bidang pantul, serta sudut dari sumber cahaya akan mempengaruhi sudut dari cahaya yang dipantulkan. Fenomena ini telah ditemukan oleh Snellius seorang matematikawan asal Belanda. Yang dikenal dengan hukum pemantulan cahaya snellius, yang berbunyi: “sinar datang, sinar pantul dan garis normal terletak pada satu bidang datar. sudut datang (i) sama dengan sudut pantul (r)”

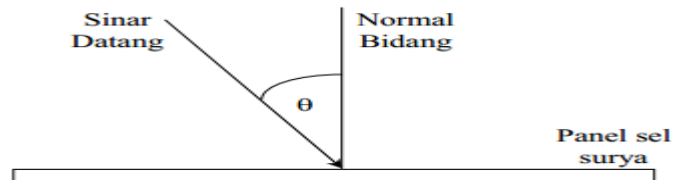


Gambar 2.10 Hukum pemantulan cahaya snellius [1]

Dengan menggunakan cermin, cahaya dari matahari akan dipantulkan ke arah *photovoltaic* untuk menambah intensitas cahaya yang diterima *photovoltaic*. Intensitas radiasi yang diterima oleh panel surya sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh sistem *photovoltaic*. Semakin besar intensitas radiasi yang diterima, maka daya yang dapat dihasilkan oleh sistem juga semakin besar karena energi matahari merupakan sumber energi utama dari pembangkitan menggunakan *photovoltaic*.

Pengaruh Sudut Datang Cahaya terhadap Radiasi yang diterima

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel.



Gambar 2.11 Arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang panel sel surya [1]

Panel akan mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat arah matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut q seperti gambar 2.10 maka panel akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor $\cos q$.

$$I_r = I_{r_0} \cos \theta \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

I_r : Iradiasi yang diserap panel

I_{r_0} : Iradiasi yang mengenai panel

θ : Sudut antara sinar datang dengan normal bidang panel

Hubungan antara W/m^2 dan lux

Untuk mengukur intensitas cahaya digunakan sebuah alat yang bernama lux meter. Lux meter adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya atau tingkat pencahayaan. Pengukuran intensitas cahaya menggunakan luxmeter yang menghasilkan nilai intensitas cahaya dengan satuan lux. Tidak ada konversi langsung antara lux dan W/m^2 , itu tergantung pada panjang gelombang atau warna cahaya. Sehingga untuk mendapatkan konversi antara lux dan W/m^2 perlu dilakukan percobaan. Namun, ada perkiraan konversi 0,0079 W/m^2 per Lux. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut [12]:

$$1 \text{ lux} = 0.0079 \text{ W/m}^2 \dots\dots\dots(2. 11)$$

2.4 Cermin

Cermin merupakan benda yang dapat memantulkan cahaya, dengan permukaan yang licin dan dapat menciptakan pantulan bayangan benda dengan sempurna. Sedangkan cermin datar ialah cermin yang mempunyai bidang pantul berupa bidang datar. Sifat-sifat bayangan pada cermin datar, antara lain :

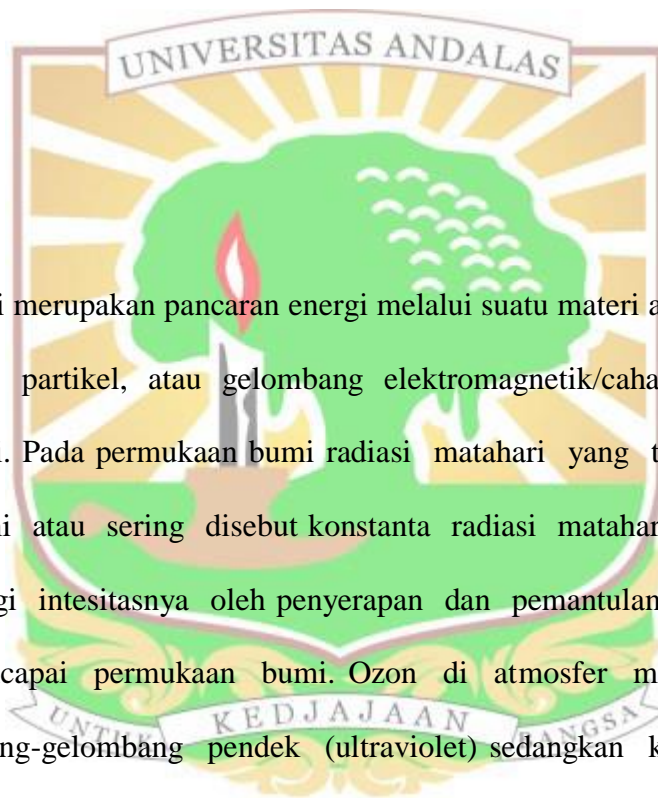
- 1) Jarak bayangan pada cermin sama dengan jarak benda pada cermin
- 2) Bayangan bersifat maya
- 3) Ukuran bayangan yang terbentuk sama dengan ukuran benda
- 4) Bayangan bersifat simetris (berlawanan) dengan benda
- 5) Bayangan yang terbentuk sama persis dengan benda bentuk bendanya

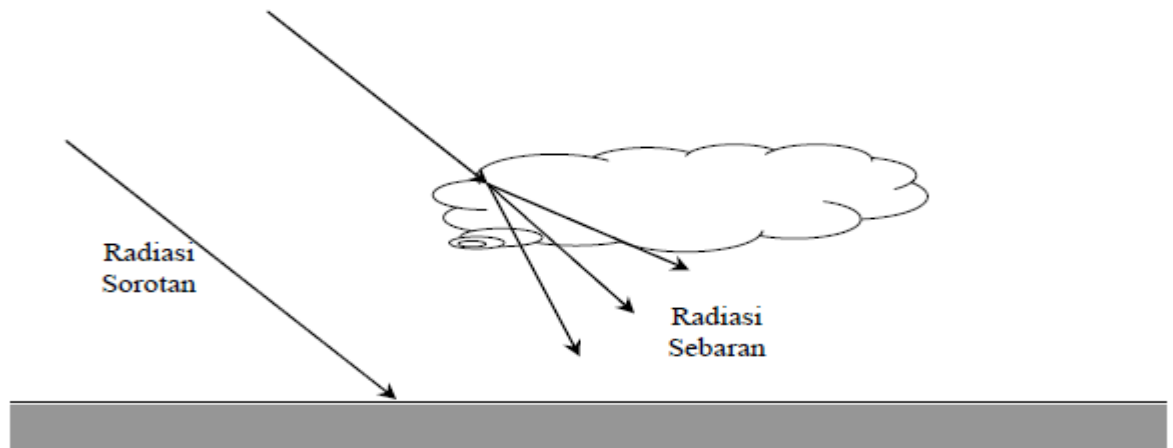
2.4.1 Pengaruh cermin terhadap *MPP*

Daya listrik yang dihasilkan oleh photovoltaic dipengaruhi oleh iradiasi dan temperatur. Pengaruh dari semakin tingginya iradiasi matahari adalah semakin besarnya arus listrik yang dapat dihasilkan oleh *photovoltaic*. Semakin besar arus yang dihasilkan maka semakin besar daya yang dapat dibangkitkan [2]. Untuk menambah iradiasi yang diterima panel surya, akan dimanfaatkan pemantulan cahaya ke arah *photovoltaic* dengan menggunakan cermin, sehingga dapat meningkatkan daya keluaran yang dihasilkan *photovoltaic* [4].

2.5 Radiasi

Radiasi merupakan pancaran energi melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel, atau gelombang elektromagnetik/cahaya (foton) dari sumber radiasi. Pada permukaan bumi radiasi matahari yang tersedia di luar atmosfer bumi atau sering disebut konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang-gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipencarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran seperti terlihat pada gambar 2.12.

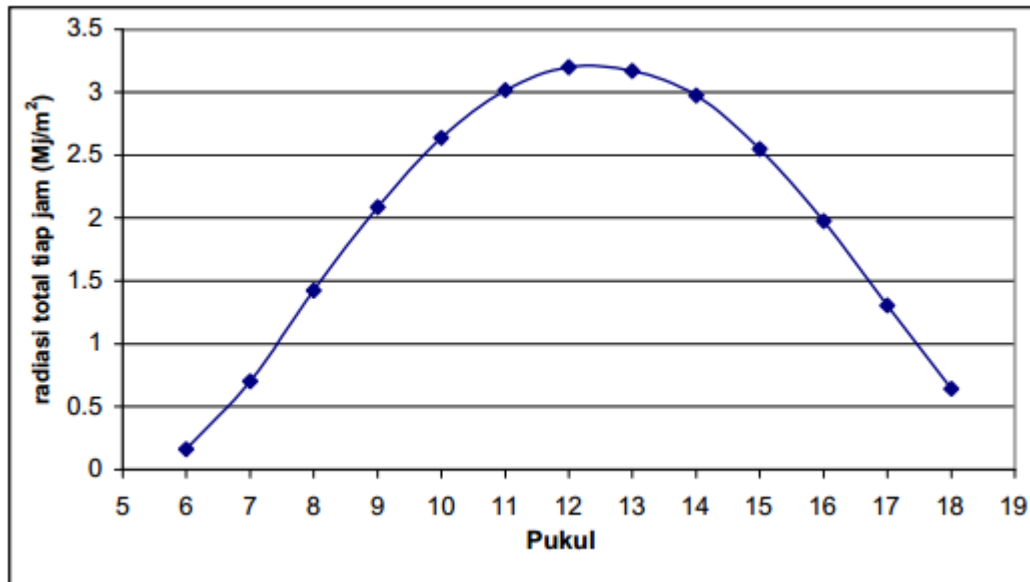




Gambar 2.12 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi

[1]

Dengan adanya faktor-faktor diatas menyebabkan radiasi yang diterima permukaan bumi memiliki intensitas yang berbeda-beda setiap saat. Besarnya radiasi harian yang diterima permukaan bumi ditunjukkan pada grafik gambar 2.13. Pada waktu pagi dan sore radiasi yang sampai permukaan bumi intensitasnya kecil. Hal ini disebabkan arah sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi (membentuk sudut tertentu) sehingga sinar matahari mengalami peristiwa difusi oleh atmosfer bumi.



Gambar 2.13 Grafik besar radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi [1]

Ada tiga macam cara radiasi matahari sampai ke permukaan bumi :

1. Radiasi langsung (direct radiation)

Adalah radiasi yang langsung mencapai permukaan bumi tanpa perubahan arah atau radiasi yang diterima oleh bumi dalam arah sejajar sinar datang

2. Radiasi hambur (diffuse radiation)

Adalah radiasi yang mengalami perubahan akibat pemantulan dan penghamburan. Radiasi hambur bisa disebabkan oleh adanya partikel kecil yang berada di bumi, bisa disebabkan oleh adanya debu halus, asap, dan molekul-molekul kecil seperti uap air, dan lain-lain.

3. Radiasi total (global radiation)

Adalah penjumlahan radiasi langsung dan radiasi hambur.

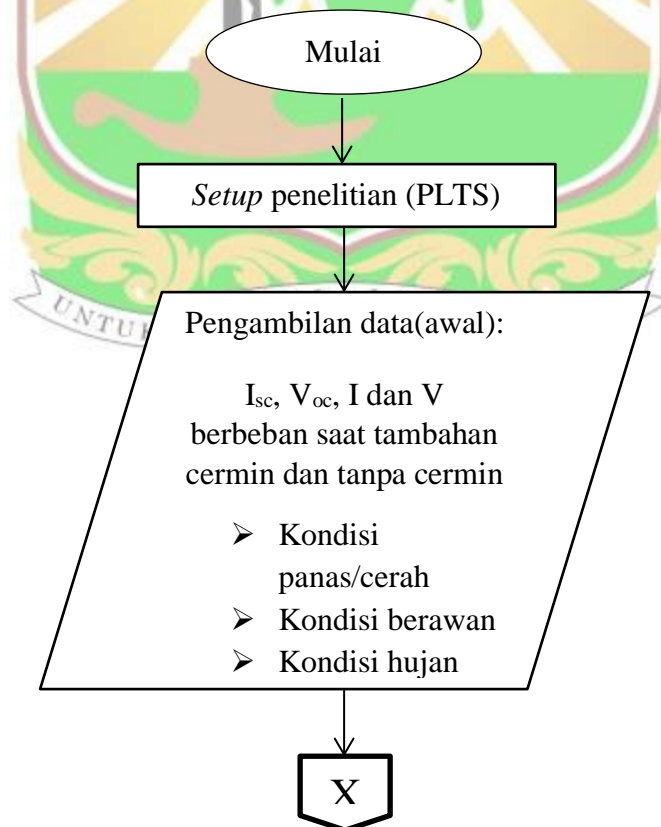
BAB III

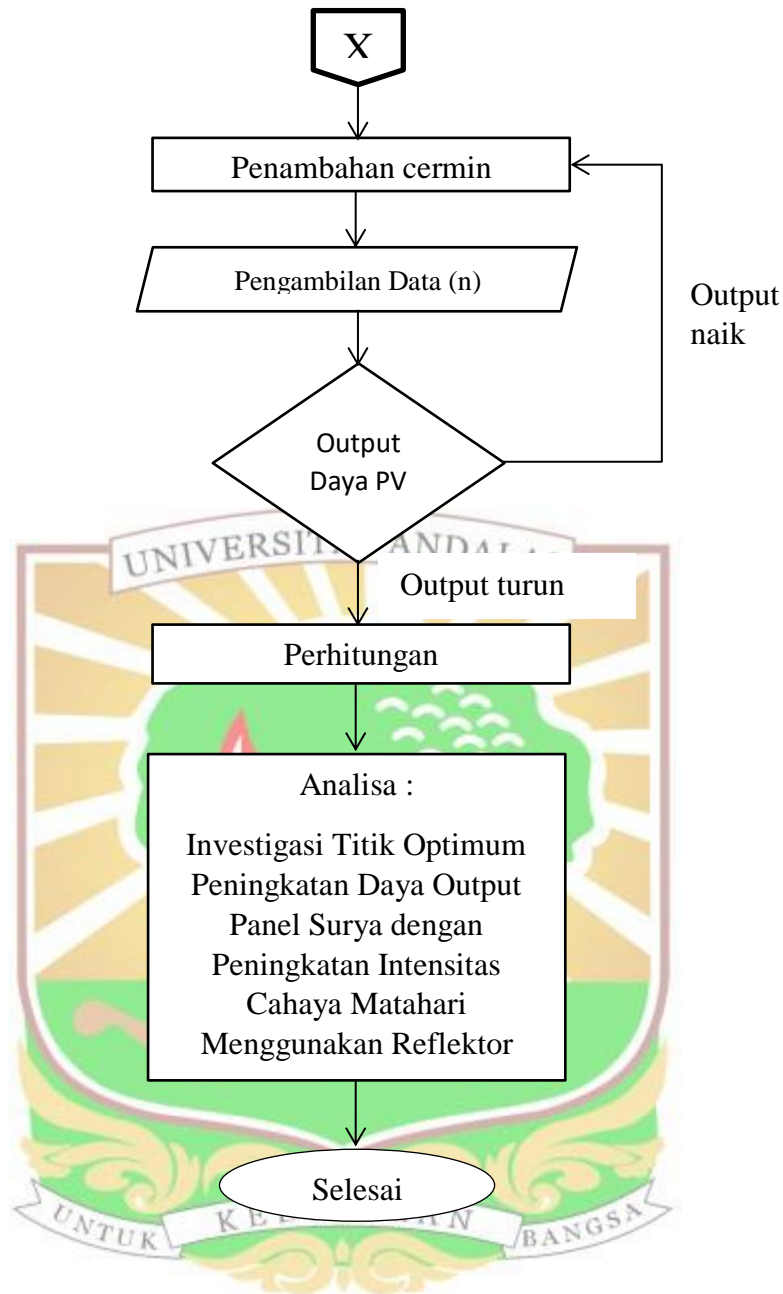
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart

Merupakan sebuah aliran dengan simbol grafis yang menyatakan aliran algoritma atau proses yang menampilkan langkah-langkah disimbolkan dalam bentuk tertentu, beserta urutannya dengan menghubungkan masing-masing langkah tersebut menggunakan tanda panah. Diagram ini bisa memberi solusi langkah demi langkah untuk menyelesaikan permasalahan yang ada di dalam proses atau algoritma tersebut.

Flow chart pada penelitian ini dapat dilihat pada dibawah ini.





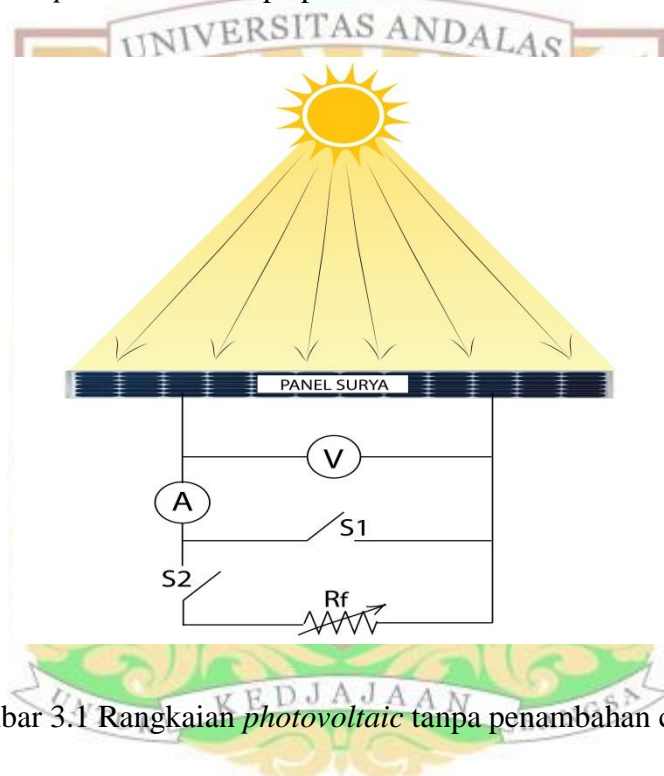
3.2 Setup Penelitian (PLTS)

Rancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya ini terdiri dari perancangan reflektor dan perancangan rangkaian sistem. Komponen penyusun ini memiliki fungsi dan kegunaan masing-masing. Berikut adalah mekanisme perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan reflektor :

Reflektor berguna untuk memantulkan cahaya matahari di sekitar sel surya agar seluruh cahaya tersebut mengarah ke sel surya. Sehingga dengan kata lain, penambahan reflektor ini dapat menambah intensitas cahaya matahari yang di terima sel surya, sehingga dengan peningkatan intensitas cahaya matahari dapat menambah daya *output* dari panel surya.

Berikut adalah sarana penelitian tugas akhir :

1. Rangkaian *photovoltaic* tanpa penambahan cermin

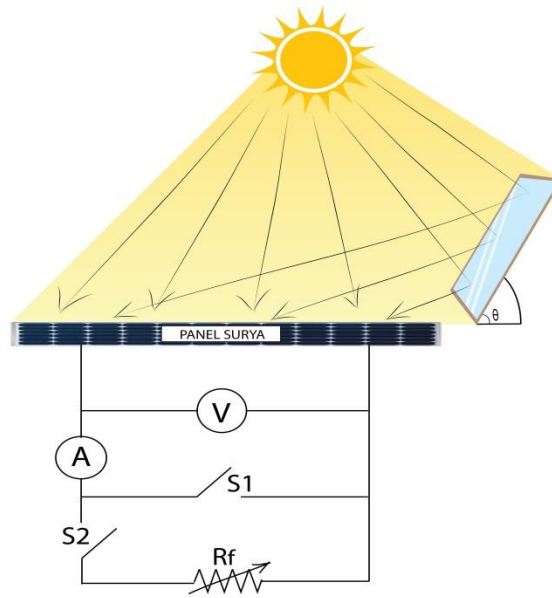


Gambar 3.1 Rangkaian *photovoltaic* tanpa penambahan cermin

Rangkaian *photovoltaic* nantinya akan diberikan cermin disekitarnya untuk meningkatkan intensitas cahaya masuk pada modul *photovoltaic*.

Dapat dilihat pada gambar 3.2 :

2. Rangkaian *photovoltaic* dengan penambahan cermin



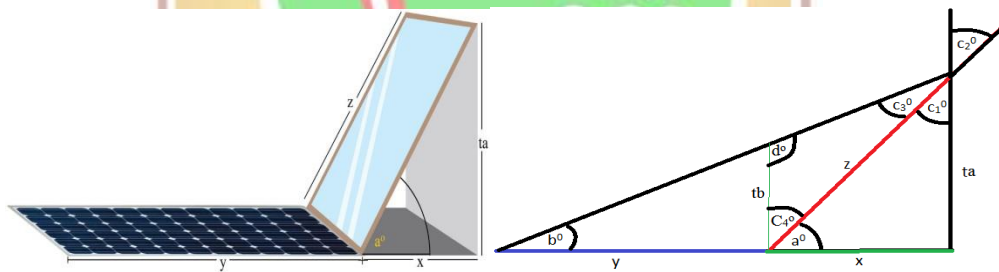
Gambar 3.2 Rangkaian *photovoltaic* dengan penambahan cermin

Penelitian dilakukan dengan 2 rangkaian, yaitu rangkaian dengan kondisi normal (tanpa penambahan cermin) seperti terlihat pada gambar 3.1 dan rangkaian dengan penambahan cermin seperti terlihat pada gambar 3.2, dimana ukuran cermin sama dengan ukuran *photovoltaic* dengan sudut kemiringan cermin 60° . Hal ini berdasarkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh rekan penelitian Tugas Akhir saya, bahwa semakin besar sudut kemiringan cermin terhadap *photovoltaic* maka akan semakin panjang cermin yang dibutuhkan, dimana untuk ukuran *photovoltaic* terdapat pada BAB I subbab 1.4. Berikut adalah karakteristik sudut kemiringan cermin terhadap *photovoltaic* yang terdapat pada tabel 3.1 :

Tabel 3. 1 karakteristik terhadap variasi perubahan sudut a°

nilai	sudut cermin terhadap photovoltaic (derajat)							
	50,00	55,00	60,00	65,00	70,00	75,00	80,00	85,00
sudut datang cahaya pantul terhadap PV (b) (derjat)	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00
sudut c (derjat)	40,00	35,00	30,00	25,00	20,00	15,00	10,00	5,00
sudut d (derjat)	100,00	110,00	120,00	130,00	140,00	150,00	160,00	170,00
tinggi tb (cm)	11,55	23,84	37,82	54,96	78,06	113,45	179,96	371,47
tinggi cermin (ta) (cm)	13,55	31,99	56,72	90,29	137,86	211,70	349,07	737,29
luas segitiga (cm ²)	65,68	267,04	619,24	1157,00	1958,36	3217,69	5538,25	11980,79
panjang pertambahan cahaya (x) (cm)	11,37	22,40	32,75	42,10	50,18	56,72	61,55	64,50
panjang photovoltaic (y) (cm)	65,50	65,50	65,50	65,50	65,50	65,50	65,50	65,50
panjang cermin (z) (cm)	17,69	39,06	65,50	99,62	146,70	219,17	354,45	740,11

Keterangan :



Gambar 3.3 Ilustrasi sudut kemiringan cermin terhadap photovoltaic

- a° = sudut antara PV dengan cermin agar cahaya pantul memenuhi PV.
- b° = sudut antara PV dengan cahaya titik terujung pantulan cermin.
- c_1° = sudut antara tinggi cermin dengan cermin.
- c_2° = sudut antara sinar datang dengan permukaan datar cermin.
- c_3° = sudut antara cermin dengan pantulan cahaya terujung cermin.
- c_4° = sudut antara bidang tegak lurus PV dan sudut cermin a° .
- d° = sudut antara bidang tegak lurus PV dan sinar datang pantulan.
- x = Panjang cahaya yang mampu dipantulkan (cm)
- y = Panjang dari photovoltaic (cm).
- z = panjang dari cermin (cm).
- ta = tinggi cermin (cm).

t_b = tinggi segitiga pada bidang tegak lurus PV dan sudut datang b° (cm).

Berdasarkan data yang terlampir pada tabel 3.1 diatas, maka ditentukan bahwa sudut kemiringan cermin terhadap *photovoltaic* adalah 60° dikarenakan bahwa pada sudut 60° , ukuran dari *photovoltaic* sama dengan ukuran cermin sehingga diharapkan pantulan cahaya yang dipantulkan cermin menutupi seluruh permukaan *photovoltaic*.

Data yang diambil meliputi: I_{sc} , V_{oc} , I dan V berbeban. Penelitian dilakukan dengan 3 kondisi cuaca:

- Kondisi cerah
- Kondisi berawan / mendung
- Kondisi hujan

3.3 Pengambilan Data

Pada tahapan ini, data yang akan diambil adalah I_{sc} , V_{oc} , I dan V berbeban saat kondisi normal (tanpa cermin) (gambar 3.1), dan adanya penambahan cermin terhadap panel surya (gambar 3.2). Berdasarkan literatur nilai V_{oc} bervariasi terhadap *irradiance* seperti gambar 2.7 dan temperatur seperti gambar 2.8.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka nilai tegangan V_{oc} tidak dapat ditentukan dengan pasti dikarenakan V_{oc} yang didapat tergantung dari intensitas cahaya yang diterima dan juga temperatur *photovoltaic*. Oleh sebab itu setiap pengambilan data nilai I_{sc} dan V_{oc} dilihat. Dimisalkan pada penelitian didapatkan nilai V_{oc} sebesar 10 Volt dan I_{sc} sebesar “y” Ampere,

V(Volt)	R(Ohm)	I(Ampere)
1	x1	y1
2	x2	y2
3	x3	y3
4	...	...
5	...	...
6	...	...
7	...	...
8	...	...
9	...	...

Maka pada V dan I berbeban, akan divariasikan nilai tegangan mulai dari 0 volt sampai dengan 9 volt. Untuk mengatur tegangan berbeban sesuai dengan yang nilai yang diinginkan akan divariasikan dengan menggunakan tahanan geser (R_f) sesuai dengan rangkaian pada gambar 3.1 gambar 3.2. Saat nilai tegangan berbeban telah sesuai dengan nilai yang diinginkan, maka akan dicatat nilai arus pada saat itu.

Untuk mendapatkan data tersebut akan dilakukan prosedur sebagai berikut :

- I_{sc} dengan cara sw 1 tertutup sedangkan sw 2 terbuka.
- V_{oc} dengan cara sw 1 dan sw 2 terbuka.
- I dan V kondisi berbeban dengan cara sw 1 terbuka dan sw 2 tertutup.

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam pengambilan data pada masing-masing point penelitian yaitu:

- a. Karakteristik *photovoltaic* pada cuaca cerah pada berbagai jumlah cermin

Pada pengujian ini, data yang diambil adalah arus I_{sc} , V_{oc} , temperatur, dan tegangan pada beberapa variasi nilai untuk dilihat keluaran arusnya. Untuk mendapatkan variasi tegangan dengan cara sw 1 dan sw 2 ditutup sesuai

dengan gambar 3.1 dan 3.2. Nilai tegangan keluaran diatur sesuai dengan nilai pada tabel 3.1. Variasi tegangan didapat dengan mengatur nilai R_f .

Awalnya akan dilakukan tanpa cermin (gambar 3.1), kemudian dengan tambahan cermin (gambar 3.2) pada intensitas cahaya yang sama. Penelitian akan dilakukan pada pukul 12.00, dimana pukul 12.00 adalah waktu dengan intensitas paling tinggi [1], sehingga diharapkan daya *output* yang dihasilkan pada penelitian lebih maksimal. Percobaan ini dilakukan dalam 3 hari dengan cuaca yang cerah seperti yang ditunjukkan tabel 3.1.

- b. Karakteristik *photovoltaic* pada cuaca berawan dan hujan pada berbagai jumlah cermin

Sama halnya dengan point a di atas, nilai yang diambil adalah I_{sc} , V_{oc} , temperatur, V dan I saat berbeban untuk keadaan dengan cermin dan tanpa cermin. Hanya saja penelitian ini dilakukan pada beberapa keadaan cuaca, seperti: berawan / mendung, dan hujan. Sedangkan waktu pengambilan data antara pukul 11.00 hingga 13.00 tergantung keadaan cuaca memenuhi kriteria penelitian. Point data yang akan diambil ini dapat dilihat pada tabel 3.2.

Penambahan Cermin

Seperti pada gambar 3.2, penambahan cermin akan dilakukan sampai n-cermin secara bertahap dan terus menerus hingga daya output yang dihasilkan panel surya mengalami penurunan, sehingga apabila telah terjadi penurunan maka penelitian akan dicukupkan dan akan dilanjutkan ke tahap analisa. Hal ini

bertujuan untuk mendapatkan titik daya maksimum panel surya akibat penambahan intensitas cahaya dengan menggunakan reflektor (cermin).

Dalam melihat persentase peningkatan daya maksimumnya dapat dihitung dengan persamaan 3.1 :

$$\%P = \frac{P_{0+n} - P_0}{P_0}$$

Keterangan :

$\%P$ = Persentase peningkatan daya maksimum

P_{0+n} = Daya maksimum pada saat penambahan cermin ke-n (Watt)

P_0 = Daya maksimum pada saat tanpa cermin (Watt)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Titik daya maksimum panel surya akibat peningkatan intensitas cahaya menggunakan cermin dengan cara bertahap hingga mendapatkan titik maksimumnya

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada *range* waktu 16 November 2016 – 13 Desember 2016, maka didapatkan tegangan, arus, intensitas cahaya, serta temperaturnya pada masing-masing kondisi. Hanya saja pada pengukuran belum diketahui berapa besarnya daya yang dihasilkan. Untuk mengetahui berapa besarnya daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus perhitungan yang terdapat pada persamaan 2.5 [4] :

Setelah dilakukan perhitungan, barulah daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dapat diketahui. Untuk menentukan daya maksimumnya (*MPP*) akan dilakukan perbandingan semua nilai daya yang dihasilkan dari pemvariasian tegangan dengan menggunakan Rf. Nilai daya yang akan dijadikan *MPP*, ditentukan dari nilai daya tertinggi yang didapat pada masing-masing kondisi, dimulai pada *photovoltaic* dengan kondisi normal (tanpa cermin) sampai dengan *photovoltaic* yang ditambah cermin untuk menambah intensitas cahaya dalam meningkatkan *MPP* yang didapat [2].

Berikut adalah data dari penelitian yang telah dilakukan, yang terdapat pada *subbab* 4.1.1 :

4.1.1 Tabel Penelitian

4.1.1.1 Karakteristik *photovoltaic* pada cuaca cerah pada berbagai jumlah cermin

Tabel 4.1 Data cuaca cerah di hari yang berbeda

Kondisi Cermin	Pukul 12 (WIB)														
	Hari ke-1					Hari ke-2					Hari ke-3				
	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	T(°C)	Ir (W/m ²)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	T(°C)	Ir (W/m ²)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	T(°C)	Ir (W/m ²)
0	0,00	3,87	0,00			0,00	4,09	0,00			0,00	4,76	0,00		
	2,00	3,85	7,70			2,00	4,06	8,12			2,00	4,74	9,48		
	4,00	3,92	15,68			4,00	4,04	16,16			4,00	3,97	15,88		
	6,00	3,89	23,34			6,00	4,02	24,12			6,00	3,96	23,76		
	8,00	3,81	30,48			8,00	3,97	31,76			8,00	3,90	31,20		
	10,00	3,62	36,20	60,30	709,42	10,00	3,78	37,80	57,70	750,50	10,00	3,72	37,20	69,80	723,64
	12,00	3,08	36,96			12,00	3,30	39,60			12,00	3,16	37,92		
	14,00	2,33	32,62			14,00	2,48	34,72			14,00	2,39	33,46		
	16,00	1,39	22,24			16,00	1,49	23,84			16,00	1,34	21,44		
	18,00	0,17	3,06			18,00	0,34	6,12			18,00	0,10	1,80		
	18,39	0,00	0,00			18,60	0,00	0,00			18,03	0,00	0,00		
1	0,00	5,26	0,00			0,00	5,36	0,00			0,00	5,04	0,00		
	2,00	5,24	10,48			2,00	5,37	10,74			2,00	4,94	9,88		
	4,00	5,20	20,80			4,00	5,35	21,40			4,00	4,84	19,36		
	6,00	5,18	31,08			6,00	5,28	31,68			6,00	4,60	27,60		
	8,00	5,02	40,16			8,00	5,01	40,08			8,00	4,51	36,08		
	10,00	4,53	45,30	66,60	1216,60	10,00	4,51	45,10	60,40	1134,44	10,00	4,28	42,80	70,80	1203,17
	12,00	3,82	45,84			12,00	3,80	45,60			12,00	3,56	42,72		
	14,00	2,81	39,34			14,00	2,72	38,08			14,00	2,67	37,38		
	16,00	1,63	26,08			16,00	1,71	27,36			16,00	1,51	24,16		
	18,00	0,36	6,48			18,00	0,43	7,74			18,00	0,33	5,94		
	18,53	0,00	0,00			18,67	0,00	0,00			18,12	0,00	0,00		
2	0,00	5,90	0,00			0,00	5,10	0,00			0,00	5,17	0,00		
	2,00	5,87	11,74			2,00	5,08	10,16			2,00	5,14	10,28		
	4,00	5,84	23,36			4,00	5,12	20,48			4,00	5,03	20,12		
	6,00	5,65	33,90			6,00	4,88	29,28			6,00	4,88	29,28		
	8,00	5,50	44,00			8,00	4,52	36,16			8,00	4,73	37,84		
	10,00	4,69	46,90	71,00	1395,93	10,00	4,32	43,20	67,40	1199,22	10,00	4,43	44,30	71,50	1385,66
	12,00	3,68	44,16			12,00	3,57	42,84			12,00	3,63	43,56		
	14,00	2,58	36,12			14,00	2,56	35,84			14,00	2,57	35,98		
	16,00	1,34	21,44			16,00	1,39	22,24			16,00	1,34	21,44		
	18,00	0,15	2,70			18,00	0,34	6,12			18,00	0,33	5,94		
	18,19	0,00	0,00			18,33	0,00	0,00			18,40	0,00	0,00		
3	0,00	7,26	0,00			0,00	5,48	0,00			0,00	7,00	0,00		
	2,00	7,20	14,40			2,00	5,44	10,88			2,00	6,40	12,80		
	4,00	7,04	28,16			4,00	5,40	21,60			4,00	6,30	25,20		
	6,00	6,69	40,14			6,00	5,17	31,02			6,00	5,20	31,20		
	8,00	5,79	46,32			8,00	5,25	42,00			8,00	5,10	40,80		
	10,00	4,89	48,90	82,70	1470,19	10,00	4,81	48,10	80,30	1467,03	10,00	4,70	47,00	81,80	1463,87
	12,00	3,72	44,64			12,00	3,78	45,36			12,00	3,90	46,80		
	14,00	2,51	35,14			14,00	2,61	36,54			14,00	2,60	36,40		
	16,00	1,26	20,16			16,00	1,39	22,24			16,00	1,10	17,60		
	17,97	0,00	0,00			17,97	0,00	0,00			17,80	0,00	0,00		
	18,00	0,00	0,00			18,00	0,00	0,00			18,00	0,00	0,00		

4	0,00	6,35	0,00	83,70	1567,36	0,00	5,39	0,00	82,90	1563,41	0,00	6,00	0,00	86,10	1574,47
	2,00	6,30	12,60			2,00	5,27	10,54			2,00	5,80	11,60		
	4,00	6,27	25,08			4,00	5,25	21,00			4,00	5,70	22,80		
	6,00	6,29	37,74			6,00	5,38	32,28			6,00	5,30	31,80		
	8,00	5,68	45,44			8,00	5,32	42,56			8,00	5,30	42,40		
	10,00	4,63	46,30			10,00	4,75	47,50			10,00	4,47	44,73		
	12,00	3,48	41,76			12,00	3,68	44,16			12,00	3,80	45,60		
	14,00	2,21	30,94			14,00	2,52	35,28			14,00	2,50	35,00		
	16,00	0,86	13,76			16,00	1,25	20,00			16,00	0,90	14,40		
	17,47	0,38	6,64			17,47	0,00	0,00			17,46	0,00	0,00		
	18,00	0	0,00			18,00	0	0,00			18,00	0	0,00		

4.1.1.2 Karakteristik *photovoltaic* pada cuaca berawan dan hujan pada berbagai jumlah cermin

a. Cuaca berawan

Tabel 4.2 Data cuaca berawan

Kondisi Cermin	Waktu (WIB)				
	12.00				
	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	T (°C)	Ir (W/m ²)
0	0,00	1,23	0,00	33,00	205,40
	2,00	1,21	2,42		
	4,00	1,20	4,80		
	6,00	1,16	6,96		
	8,00	1,16	9,28		
	10,00	1,15	11,50		
	12,00	1,13	13,56		
	14,00	1,10	15,40		
	16,00	0,93	14,88		
	18,00	0,48	8,64		
	19,39	0,00	0,00		
1	0,00	1,16	0,00	33,90	210,14
	2,00	1,15	2,30		
	4,00	1,14	4,56		
	6,00	1,15	6,90		
	8,00	1,16	9,28		
	10,00	1,16	11,60		
	12,00	1,15	13,80		
	14,00	1,14	15,96		
	16,00	0,98	15,68		
	18,00	0,50	9,00		
	19,36	0,00	0,00		

2	0,00	1,58	0,00	34,80	272,55
	2,00	1,50	3,00		
	4,00	1,39	5,56		
	6,00	1,35	8,10		
	8,00	1,31	10,48		
	10,00	1,27	12,70		
	12,00	1,26	15,12		
	14,00	1,40	19,60		
	16,00	0,96	15,36		
	18,00	0,57	10,26		
	19,25	0,00	0,00		
3	0,00	1,48	0,00	37,50	326,27
	2,00	1,50	3,00		
	4,00	1,48	5,92		
	6,00	1,45	8,70		
	8,00	1,45	11,60		
	10,00	1,44	14,40		
	12,00	1,44	17,28		
	14,00	1,41	19,74		
	16,00	1,19	19,04		
	18,00	0,60	10,80		
	19,26	0,00	0,00		
4	0,00	1,58	0,00	37,70	329,43
	2,00	1,58	3,16		
	4,00	1,61	6,44		
	6,00	1,62	9,72		
	8,00	1,65	13,20		
	10,00	1,53	15,30		
	12,00	1,50	18,00		
	14,00	1,42	19,88		
	16,00	1,09	17,44		
	18,00	0,47	8,46		
	19,10	0,00	0,00		

b. Cuaca hujan

Tabel 4.3 Data cuaca hujan

Kondisi Cermin	Waktu (WIB)				
	12.00				
	V (Volt)	I (A)	P (Watt)	T (°C)	Ir (W/m ²)
0	0	0,39	0,00	25,00	18,80
	2	0,41	0,82		
	4	0,41	1,64		
	6	0,41	2,46		
	8	0,52	4,16		
	10	0,58	5,80		
	12	0,6	7,20		
	14	0,57	7,98		
	16	0,49	7,84		
	18	0,17	3,06		
18,98	0	0,00			
1	0	0,48	0,00	26,10	18,96
	2	0,46	0,92		
	4	0,45	1,80		
	6	0,45	2,70		
	8	0,46	3,68		
	10	0,46	4,60		
	12	0,49	5,88		
	14	0,49	6,86		
	16	0,6	9,60		
	18	0,34	6,12		
19,41	0	0,00			
2	0	0,93	0,00	26,00	20,62
	2	0,91	1,82		
	4	0,86	3,44		
	6	0,82	4,92		
	8	0,85	6,80		
	10	0,84	8,40		
	12	0,86	10,32		
	14	0,84	11,76		
	16	0,75	12,00		
	18	0,42	7,56		
19,15	0	0,00			

3	0	0,78	0,00	25,90	10,67
	2	0,76	1,52		
	4	0,73	2,92		
	6	0,63	3,78		
	8	0,42	3,36		
	10	0,35	3,50		
	12	0,29	3,48		
	14	0,14	1,96		
	16	0,12	1,92		
	18	0,06	1,08		
	17,73	0	0,00		
4	0	0,51	0,00	26,70	19,59
	2	0,51	1,02		
	4	0,53	2,12		
	6	0,56	3,36		
	8	0,62	4,96		
	10	0,65	6,50		
	12	0,7	8,40		
	14	0,69	9,66		
	16	0,6	9,60		
	18	0,34	6,12		
	19,42	0	0,00		

4.1.2 Pengaruh jumlah cermin terhadap cuaca cerah, berawan, dan hujan

Berdasarkan data yang terdapat pada BAB III, maka dilihatlah seberapa besar peningkatan daya maksimum *photovoltaic* dengan penambahan cermin dibandingkan tanpa cermin.


a. Cuaca cerah

Berikut adalah tabel 4.4 yang memaparkan data peningkatan titik daya maksimum (*MPP photovoltaic*) akibat adanya peningkatan intensitas cahaya dengan menggunakan cermin pada cuaca cerah :

Tabel 4.4 Peningkatan daya maksimum pada cuaca cerah

Kondisi Cermin	Pukul 12.00 (WIB)								
	Hari ke-1			Hari ke-2			Hari ke-3		
	Ir(W/m ²)	T(°C)	MPP(W)	Ir(W/m ²)	T(°C)	MPP(W)	Ir(W/m ²)	T(°C)	MPP(W)
0	709,42	60,30	36,96	750,50	57,70	39,60	723,64	69,80	37,92
1	1216,60	66,60	45,84	1134,44	60,40	45,60	1203,17	70,80	42,80
2	1395,93	71,00	46,90	1199,22	67,40	43,20	1385,66	71,50	44,30
3	1470,19	82,70	48,90	1467,03	80,30	48,10	1463,87	81,80	47,00
4	1567,36	83,70	46,30	1563,41	82,90	47,50	1574,47	86,10	45,60

Keterangan :

 = MPP tertinggi

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa secara umum peningkatan daya maksimum berbanding lurus dengan peningkatan intensitas cahaya (iradiasi) akibat penambahan cermin. Hal ini sesuai dengan literatur yang ada, bahwa daya maksimum yang dihasilkan akan mengalami peningkatan seiring dengan penambahan iradiasi sampai kepada keadaan jenuhnya [2].

Photovoltaic mempunyai batas dalam mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Hal itu tampak pada tabel 4.4, bahwa penambahan intensitas cahaya pada *photovoltaic* tidak selalu ikut meningkatkan nilai daya maksimum yang dihasilkan. Hal tersebut terkait dengan peningkatan temperatur pada *photovoltaic*. Sesuai dengan literatur yang terdapat pada BAB II, bahwa kenaikan temperatur

pada *photovoltaic* akan mengurangi daya maksimum yang dihasilkan oleh *photovoltaic* [11].

Pada data tabel 4.4, dapat dilihat bahwa temperatur pada *photovoltaic* akan bertambah besar seiring dengan peningkatan iradiasi akibat pemantulan intensitas cahaya oleh cermin pada *photovoltaic*. Maka dapat dikatakan bahwa penelitian ini benar membuktikan, bahwa peningkatan intensitas cahaya dan juga kenaikan temperatur mempengaruhi daya maksimum yang dihasilkan [11]. Memang pada dasarnya peningkatan iradiasi akan ikut meningkatkan daya maksimum yang dihasilkan, namun disisi lain peningkatan iradiasi akan menyebabkan kenaikan temperatur yang akan mengakibatkan penurunan daya maksimum yang dihasilkan. Oleh sebab itu dapat dikatakan, bahwa kenaikan daya maksimum akibat peningkatan iradiasi pada *photovoltaic* hanya akan bekerja sampai kepada keadaan jenuhnya, hal ini dikarenakan oleh kenaikan temperatur juga ikut terjadi akibat peningkatan iradiasi tersebut.

Berdasarkan tabel 4.4, dari 3 hari penelitian yang dilakukan pada cuaca cerah maka dapat dilihat bahwa rata-rata daya maksimum yang dihasilkan *photovoltaic* mengalami kenaikan mencapai 48 Watt setelah diberikan penambahan 3 cermin terhadap daya maksimum pada saat *photovoltaic* tanpa diberi tambahan cermin yang nilai daya maksimumnya rata-rata sebesar 38,16 Watt. Dapat dilihat pada tabel 4.4 tersebut bahwa kenaikan daya maksimum tertinggi yang dihasilkan *photovoltaic* terletak pada hari pertama yaitu dihasilkan sebesar 48,90 Watt pada intensitas cahaya 1.470,19 W/m². Dari pernyataan tersebut, maka dapat dikatakan bahwa titik daya maksimum *photovoltaic* dengan peningkatan intensitas cahaya matahari secara bertahap menggunakan reflektor

terletak pada cermin ke-3. Sementara pada cermin ke-4 daya maksimum yang dihasilkan sudah mengalami penurunan, sehingga dapat dikatakan bahwa keadaan jenuh *photovoltaic* berada pada penambahan cermin ke-4. Hal tersebut terdapat pengecualian pada penelitian hari ke-2 di cermin ke-2.

Pada hari ke-2 di cermin ke-2 daya maksimumnya sempat mengalami penurunan kemudian naik lagi pada cermin ke-3. Hal tersebut disebabkan pada saat menggunakan 2 cermin, matahari sempat ditutupi awan sebentar, sehingga intensitas cahaya terukur tidak mengalami peningkatan yang signifikan dari saat penggunaan 1 cermin untuk mengimbangi kenaikan temperatur yang cukup tinggi saat penggunaan 1 cermin ke penggunaan 2 cermin.

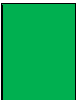
Pengaruh penambahan cermin terhadap iradiasi dan temperatur

Berikut adalah tabel 4.5 yang memaparkan rata-rata peningkatan daya maksimum pada cuaca cerah:

Tabel 4.5 Rata-rata peningkatan daya maksimum pada cuaca cerah

Kondisi Cermin	Pukul 12.00 (WIB)		
	Rata-rata		
	Ir(W/m ²)	T(°C)	MPP (W)
0	727,85	62,60	38,16
1	1184,74	65,93	44,75
2	1326,94	69,97	44,80
3	1467,03	81,60	48,00
4	1568,41	84,23	46,47

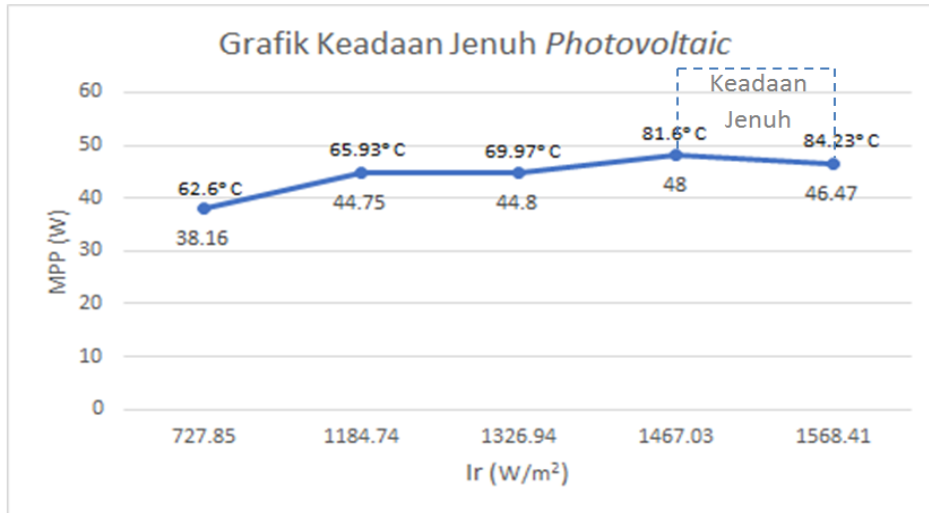
Keterangan :

 = MPP tertinggi

Dari tabel 4.5 diatas, dapat dilihat bahwa rata-rata iradiasi *photovoltaic* tanpa adanya penambahan cermin adalah $727,85 \text{ W/m}^2$ yang menghasilkan rata-rata daya sebesar $38,16 \text{ W}$ dengan rata-rata temperatur $62,6^\circ\text{C}$. Dengan adanya penambahan 1 cermin, menyebabkan iradiasi rata-rata yang diterima *photovoltaic* bertambah menjadi $1184,74 \text{ W/m}^2$, sehingga dengan meningkatnya iradiasi juga ikut meningkatkan nilai daya keluaran yang dihasilkan menjadi $44,75 \text{ W}$ dengan diikuti kenaikan temperatur menjadi $65,93^\circ\text{C}$ [2]. Penambahan cermin terus dilakukan untuk terus meningkatkan daya keluaran *photovoltaic*. Berdasarkan tabel 4.5 dapat dilihat bahwa rata-rata daya maksimum *photovoltaic* adalah 48 W didapatkan pada iradiasi $1467,03 \text{ W/m}^2$ dengan temperatur rata-rata $81,6^\circ\text{C}$, dimana iradiasi dan daya maksimum tersebut didapatkan akibat adanya penambahan 3 buah cermin terhadap *photovoltaic*. Sementara pada penambahan 4 cermin daya maksimum *photovoltaic* sudah mengalami penurunan menjadi $46,47 \text{ W}$ meskipun iradiasinya meningkat menjadi $1568,41 \text{ W/m}^2$. Hal ini dikarenakan oleh temperatur yang juga ikut meningkat menjadi $84,23^\circ\text{C}$ seiring dengan meningkatnya iradiasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa saat penambahan 4 cermin *photovoltaic* sudah kepada keadaan jenuhnya.

Berdasarkan tabel 4.5 diatas, maka dapat ditentukan bahwa keadaan jenuh *photovoltaic* berada diantara *range* iradiasi $1467,03 \text{ W/m}^2$ sampai dengan $1568,41 \text{ W/m}^2$ dengan *range* temperatur antara $81,60^\circ\text{C}$ sampai dengan $84,23^\circ\text{C}$.

Berikut adalah grafik keadaan jenuh *photovoltaic* yang dipaparkan pada gambar 4.1 :



Gambar 4.1 Grafik keadaan jenuh photovoltaic

b. Cuaca berawan dan hujan

Pada penelitian dengan berbagai kondisi cuaca, akan dilakukan perbandingan cuaca yang memiliki waktu yang sama. Dalam penelitian ini, akan dibandingkan cuaca cerah pukul 12.00, berawan pukul 12.00, dan hujan pukul 12.00. Untuk cuaca cerah akan diambil hari pertama, dikarenakan pada hari pertama pukul 12.00 adalah data yang jelas mengalami kenaikan daya maksimum yang teratur, juga memiliki daya maksimum yang tertinggi yaitu 48,90 Watt.

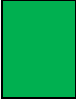
Berikut adalah tabel yang memaparkan perbandingan daya maksimum pada cuaca cerah, berawan, dan hujan :

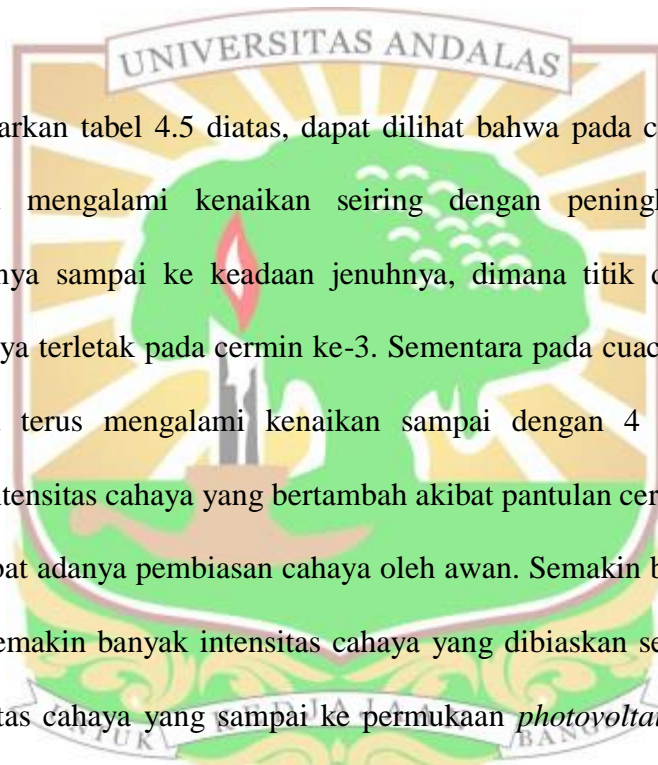
Tabel 4.6 Peningkatan daya maksimum pada berbagai kondisi cuaca

Kondisi Cermin	Pukul 12.00 (WIB)								
	Cerah			Berawan			Hujan		
	$I_r(W/m^2)$	$T(^{\circ}C)$	$MPP(W)$	$I_r(W/m^2)$	$T(^{\circ}C)$	$MPP(W)$	$I_r(W/m^2)$	$T(^{\circ}C)$	$MPP(W)$
0	709,42	60,30	36,96	205,40	33,00	15,40	18,80	25,00	7,98

1	1216,60	66,60	45,84	210,14	33,90	15,96	18,96	26,10	9,60
2	1395,93	71,00	46,90	272,55	34,80	19,60	20,62	26,00	12,00
3	1470,19	82,70	48,90	326,27	37,50	19,74	10,67	25,90	3,78
4	1567,36	83,70	46,30	329,43	37,70	19,88	19,59	26,70	9,66

Keterangan :

 = MPP tertinggi



Berdasarkan tabel 4.5 diatas, dapat dilihat bahwa pada cuaca cerah daya maksimumnya mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan intensitas cahayanya hanya sampai ke keadaan jenuhnya, dimana titik daya maksimum *photovoltaic*-nya terletak pada cermin ke-3. Sementara pada cuaca berawan, daya maksimumnya terus mengalami kenaikan sampai dengan 4 cermin, hal ini dikarenakan intensitas cahaya yang bertambah akibat pantulan cermin tidak terlalu signifikan akibat adanya pembiasan cahaya oleh awan. Semakin banyak dan tebal awan, maka semakin banyak intensitas cahaya yang dibiaskan sehingga semakin sedikit intensitas cahaya yang sampai ke permukaan *photovoltaic* [1], akibatnya pada cuaca berawan *photovoltaic* belum sampai kepada keadaan jenuhnya. Penelitian pada cuaca berawan hanya dicukupkan sampai 4 cermin meskipun daya maksimumnya masih mengalami kenaikan, hal ini karena cuaca yang menjadi acuan adalah cuaca cerah yang memiliki intensitas lebih maksimal dibandingkan cuaca berawan dan hujan. Jika pada cuaca cerah, rata-rata penambahan 4 cermin pada *photovoltaic* sudah didapatkan keadaan jenuhnya, maka untuk cuaca berawan dan hujan dirasa tidak perlu untuk dilanjutkan penambahan cermin. Pada

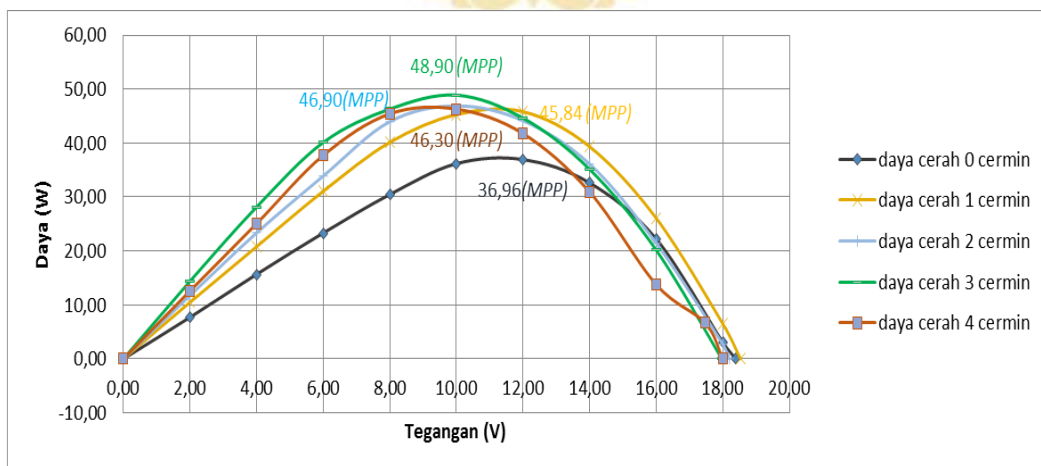
cuaca hujan, dapat dilihat bahwa daya maksimumnya *fluktuatif* pada setiap kondisi *photovoltaic*. Sama halnya dengan cuaca berawan, hal ini disebabkan oleh pengaruh *atmosfer*. Hujan terjadi pada lapisan troposfer (bagian dari lapisan atmosfer). Sehingga semakin lebat hujan, maka cahaya semakin tidak mempunyai fokus. Cahaya akan mengalami pembiasan oleh awan dan kerapatan hujan. Semakin besar intensitas hujan, maka semakin banyak cahaya yang dibiaskan, sehingga semakin sedikit intensitas yang sampai ke permukaan *photovoltaic*.

4.1.3 Grafik pergeseran titik *MPP* pada *photovoltaic* akibat penambahan cermin

a. Cuaca cerah

Untuk kurva pada cuaca cerah juga akan diambil hari pertama, dikarenakan pada hari pertama pukul 12.00 adalah data yang jelas mengalami kenaikan daya maksimum yang teratur, juga memiliki daya maksimum yang tertinggi yaitu 48,90 Watt.

Berikut adalah grafik pergeseran titik *MPP* pada cuaca cerah yang terdapat pada gambar 4.2 :

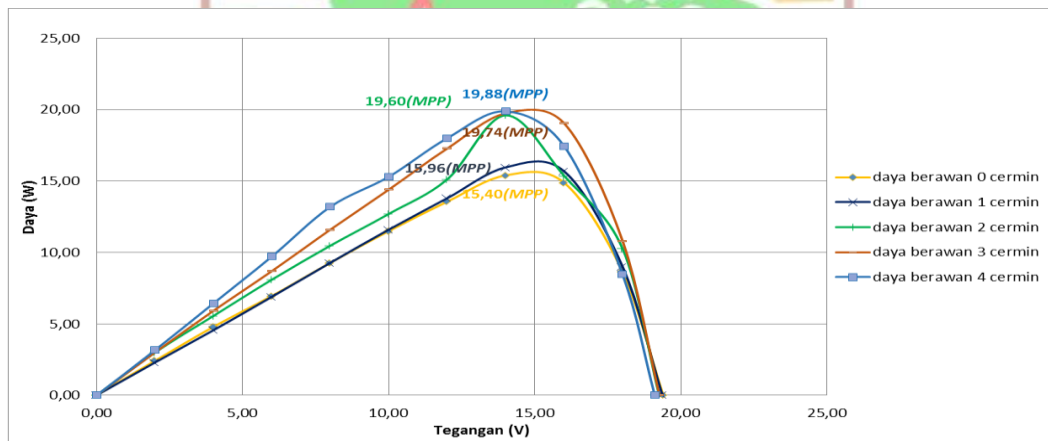


Gambar 4.2 Grafik pergeseran titik *MPP* pada cuaca cerah

Terlihat pada gambar 4.2 diatas bahwa pergeseran titik *MPP* pada cuaca cerah bergeser naik pada saat penambahan cermin yaitu puncak tertingginya adalah saat penambahan 3 buah cermin, dan mengalami penurunan pada saat penambahan 4 buah cermin dikarenakan *photovoltaic* telah mencapai keadaan jenuhnya.

b. Cuaca berawan dan hujan

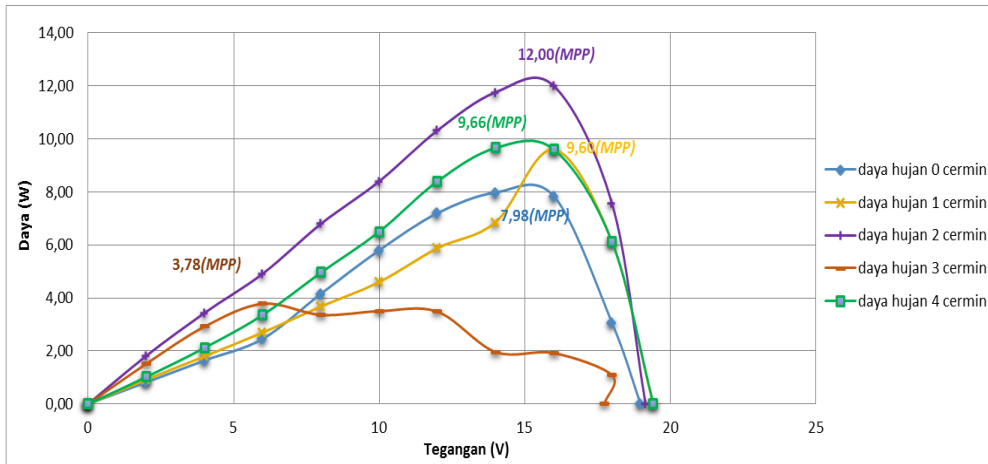
Berikut adalah grafik pergeseran titik *MPP* pada cuaca berawan yang terdapat pada gambar 4.3 :



Gambar 4.3 Grafik pergeseran titik *MPP* pada cuaca berawan

Terlihat pada gambar 4.3 bahwa pergeseran titik *MPP* pada cuaca berawan terus mengalami kenaikan sampai dengan penambahan 4 cermin. Hal ini dikarenakan bahwa *photovoltaic* belum mencapai keadaan jenuhnya.

Berikut adalah grafik pergeseran titik *MPP* pada cuaca hujan yang terdapat pada gambar 4.4 :



Gambar 4.4 Grafik pergeseran titik *MPP* pada cuaca hujan

Terlihat pada gambar 4.4 bahwa pergeseran titik *MPP* pada cuaca hujan *fluktuatif*. Hal ini dikarenakan pada cuaca hujan intensitas cahaya yang diterima *photovoltaic* selalu berubah-ubah akibat adanya pembiasan cahaya oleh awan dan kerapatan hujan.

4.2 Persentase peningkatan daya output *photovoltaic* akibat penambahan cermin untuk meningkatkan intensitas cahaya pada panel surya terhadap kondisi normal

Dalam melihat persentase peningkatan daya output *photovoltaic*, akan dilakukan perhitungan seperti persamaan 3.1, maka dapat dilihat persentase peningkatan daya maksimumnya pada masing-masing kondisi sebagai berikut :

a. Cuaca cerah

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka persentase peningkatan daya maksimum pada cuaca cerah adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7 Persentase peningkatan daya maksimum pada cuaca cerah

Kondisi Cermin	Pukul 12.00 (WIB)								
	Hari ke-1			Hari ke-2			Hari ke-3		
	MPP(W)	Ir(W/m ²)	(+)%P	MPP(W)	Ir(W/m ²)	(+)%P	MPP(W)	Ir(W/m ²)	(+)%P
0	36,96	709,42	0	39,60	750,50	0	37,92	723,64	0
1	45,84	1216,60	24,03	45,60	1134,44	15,15	42,80	1203,17	12,87
2	46,90	1395,93	26,89	43,20	1199,22	9,10	44,30	1385,66	16,82
3	48,90	1470,19	32,31	48,10	1467,03	21,46	47,00	1463,87	23,95
4	46,30	1567,36	25,27	47,50	1563,41	19,95	45,60	1574,47	20,25

Keterangan:

 = Persentase Kenaikan MPP tertinggi

Secara teorinya, waktu dengan intensitas cahaya matahari tertinggi adalah pada pukul 12.00 [1], sehingga dengan kata lain pukul 12.00 adalah waktu yang memiliki daya maksimum tertinggi karena daya maksimum *photovoltaic* sangat tergantung dari besarnya intensitas cahaya matahari yang diterima permukaan *photovoltaic*. Berdasarkan data yang terdapat pada tabel 4.6, persentase kenaikan daya maksimum yang dihasilkan selalu berbeda dari hari pertama sampai hari ke-3. Hal tersebut disebabkan oleh intensitas cahaya matahari selalu mengalami perubahan setiap saatnya, diantaranya adalah akibat pengaruh *atmosfer* di bumi.

b. Cuaca berawan dan hujan

Berikut adalah tabel 4.7 yang memaparkan nilai persentase peningkatan daya maksimum pada berbagai kondisi cuaca :

Tabel 4.8 Persentase peningkatan daya maksimum pada berbagai kondisi cuaca

Kondisi Cermin	Pukul 12.00 (WIB)								
	Cerah			Berawan			Hujan		
	MPP(W)	Ir(W/m ²)	(+)%P	MPP(W)	Ir(W/m ²)	(+)%P	MPP(W)	Ir(W/m ²)	(+)%P
0	36,96	709,42	0	15,40	205,40	0	7,98	18,80	0
1	45,84	1216,60	24,03	15,96	210,14	3,64	9,60	18,96	20,30
2	46,90	1395,93	26,89	19,60	272,55	27,27	12,00	20,62	50,38
3	48,90	1470,19	32,31	19,74	326,27	28,18	3,78	10,67	-52,63
4	46,30	1567,36	25,27	19,88	329,43	29,09	9,66	19,59	21,05

Keterangan:

 = Persentase Kenaikan MPP tertinggi

Berdasarkan pembahasan pada *sub* bab 4.1.2 *point* b diatas, maka dapat dikatakan bahwa, kondisi cuaca sangat mempengaruhi intensitas cahaya yang diterima panel. Sehingga berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa *photovoltaic* akan lebih *efisien* jika ditambahkan 3 buah cermin untuk meningkatkan intensitas cahaya yang diterimanya, dimana 3 buah cermin tersebut lebih efektif berfungsi pada cuaca cerah daripada cuaca berawan maupun hujan.

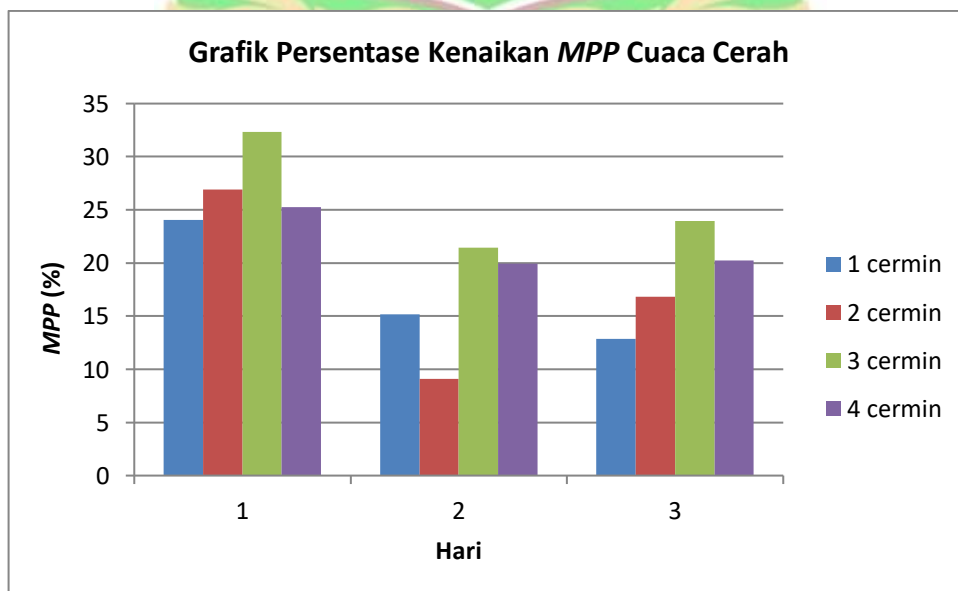
Sementara pada tabel 4.7 diatas, persentase tertinggi kenaikan daya maksimum terhadap berbagai kondisi cuaca adalah pada kondisi hujan. Hal tersebut bukan berarti bahwa pada cuaca hujan penambahan cermin untuk

meningkatkan intensitas cahaya pada *photovoltaic* berfungsi lebih baik jika dibandingkan dengan cuaca cerah maupun berawan. Pada tabel 4.7 diatas terlihat pada kondisi hujan, persentase kenaikan daya maksimumnya mencapai 50,38%. Hal tersebut dikarenakan pada kondisi hujan daya maksimum yang dihasilkan pada saat *photovoltaic* tanpa diberi penambahan cermin lebih kecil jika dibandingkan dengan daya maksimum *photovoltaic* tanpa diberi penambahan cermin pada saat kondisi cerah. Berdasarkan persamaan 4.1 diatas, maka dapat dikatakan bahwa semakin kecil nilai P_0 , maka akan semakin besar nilai %P yang didapatkan.

4.2.1 Grafik persentase kenaikan daya maksimum *photovoltaic* dari setiap kondisi

a. Grafik peningkatan *MPP* pada cuaca cerah

Berikut adalah grafik persentase kenaikan daya maksimum pada kondisi cerah yang terdapat pada gambar 4.5 :



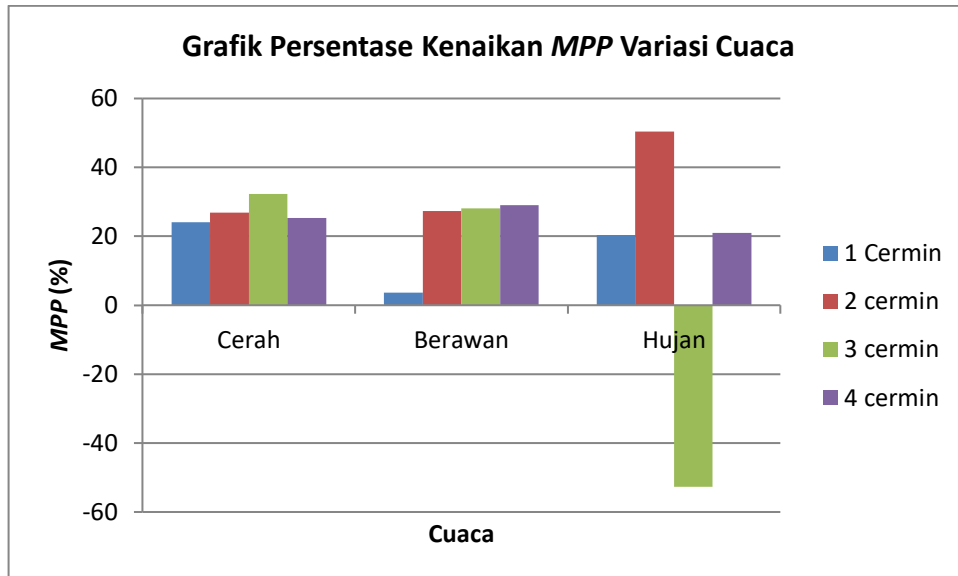
Gambar 4.5 Grafik persentase kenaikan daya maksimum pada cuaca cerah

Berdasarkan gambar 4.5, dapat dilihat bahwa grafik persentase kenaikan daya maksimum *photovoltaic* terlihat meningkat sampai dengan cermin ke-3 (kecuali pada hari ke-2, yang disebabkan oleh pengaruh awan) dan mengalami penurunan pada cermin ke-4. Hal tersebut dikarenakan pada cermin ke-4 *photovoltaic* telah mencapai keadaan jenuhnya. Pada gambar 4.5 tersebut, dapat dilihat bahwa persentase kenaikan daya maksimum paling tinggi terdapat pada hari ke-1 dengan persentase kenaikan sebesar 32,31% yang mampu meningkatkan daya maksimum yang awalnya 36,96 Watt menjadi 48,90 Watt. Sedangkan persentase kenaikan daya maksimum paling rendah terdapat pada hari ke-2 dengan persentase kenaikan sebesar 21,46% yang mampu meningkatkan daya maksimum yang awalnya 39,60 Watt menjadi 48,10 Watt.

Dari gambar 4.5 diatas terlihat bahwa persentase kenaikan daya maksimum selalu berbeda di setiap kondisi. Hal tersebut terjadi karena ada faktor teknis dan *non* teknis. Faktor teknis diantaranya adalah pemantulan cahaya oleh cermin tidak sempurna, *photovoltaic* yang tidak tegak lurus terhadap matahari, dan temperatur yang tidak sama di setiap kondisi. Sedangkan faktor *non* teknis diantaranya adalah akibat perbedaan intensitas cahaya matahari di setiap kondisinya.

b. Grafik peningkatan *MPP* pada berbagai kondisi cuaca

Berikut adalah grafik persentase kenaikan daya maksimum pada berbagai kondisi cuaca yang terdapat pada gambar 4.6 :



Gambar 4.6 Grafik persentase kenaikan daya maksimum pada berbagai kondisi cuaca

Berdasarkan gambar 4.6, dapat dilihat bahwa pada cuaca cerah titik daya maksimum *photovoltaic* terletak pada cermin ke-3. Sementara pada cuaca berawan, daya maksimumnya terus mengalami kenaikan sampai dengan 4 cermin, dikarenakan pada cuaca berawan *photovoltaic* belum mencapai keadaan jenuhnya. Sedangkan pada cuaca hujan, persentase kenaikan daya maksimumnya *fluktuatif*. Hal tersebut dikarenakan oleh faktor *non* teknis yang diantaranya disebabkan oleh faktor cuaca (pengaruh *atmosfer*).

4.3 Hasil pengukuran nilai Rf pada penelitian

Untuk mengukur nilai Rf dalam pemvariasian V dan I berbeban, maka dilakukan kembali penelitian untuk 1 hari cuaca cerah pada tanggal 15 Januari 2017, sehingga didapatkan data :

Tabel 4.9 Data pengukuran Rf

Kondisi Cermin	Pukul 12						T(°C)
	V(Volt)	I(Ampere)	R perhitungan(Ω)	R potensiometer(Ω)	P(Watt)	Ir(W/m ²)	
0	0	3,86			0	682,32	54,8
	2	3,83	0,52		7,66		
	4	3,8	1,05	0,3	15,2		
	6	3,77	1,59	0,9	22,62		
	8	3,59	2,23	1,4	28,72		
	10	3,31	3,02	2,3	33,1		
	12	2,74	4,38	3,5	32,88		
	14	1,93	7,25	6,3	27,02		
	16	1,09	14,68	13,4	17,44		
	18	0,11	163,64		1,98		
	18,2	0			0		
1	0	4,26			0	801,06	59,1
	2	4,23	0,47		8,46		
	4	4,15	0,96	0,2	16,6		
	6	4,18	1,44	0,7	25,08		
	8	4,26	1,88	1,1	34,08		
	10	4,01	2,49	1,7	40,1		
	12	3,18	3,77	3,1	38,16		
	14	2,29	6,11	5,2	32,06		
	16	1,29	12,40	11,2	20,64		
	18	0,17	105,88		3,06		
	18,43	0			0		

Berdasarkan tabel 4.9, dapat dilihat bahwa hambatan yang didapat dari perhitungan lebih besar dibandingkan dengan hambatan terukur dari potensiometer. Hal ini dikarenakan bahwa hambatan pada perhitungan adalah hambatan total dari rangkaian, sehingga bisa dikatakan hambatan pada perhitungan adalah jumlah dari hambatan terukur pada potensiometer ditambah dengan hambatan internal lainnya pada rangkaian.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Titik daya maksimum *photovoltaic* dengan peningkatan intensitas cahaya matahari secara bertahap menggunakan reflektor terdapat pada penambahan 3 cermin.

2. Persentase peningkatan daya maksimum *photovoltaic* selalu berbeda setiap kondisinya dikarenakan pengaruh dari intensitas cahaya yang berbeda setiap waktunya. Berikut adalah persentase peningkatan daya maksimum *photovoltaic* pada kondisi :

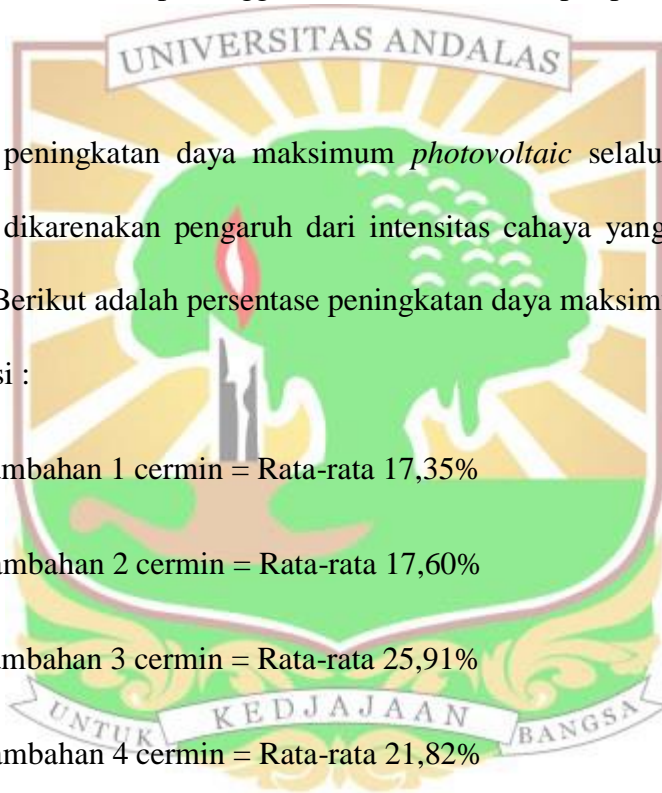
a. Penambahan 1 cermin = Rata-rata 17,35%

b. Penambahan 2 cermin = Rata-rata 17,60%

c. Penambahan 3 cermin = Rata-rata 25,91%

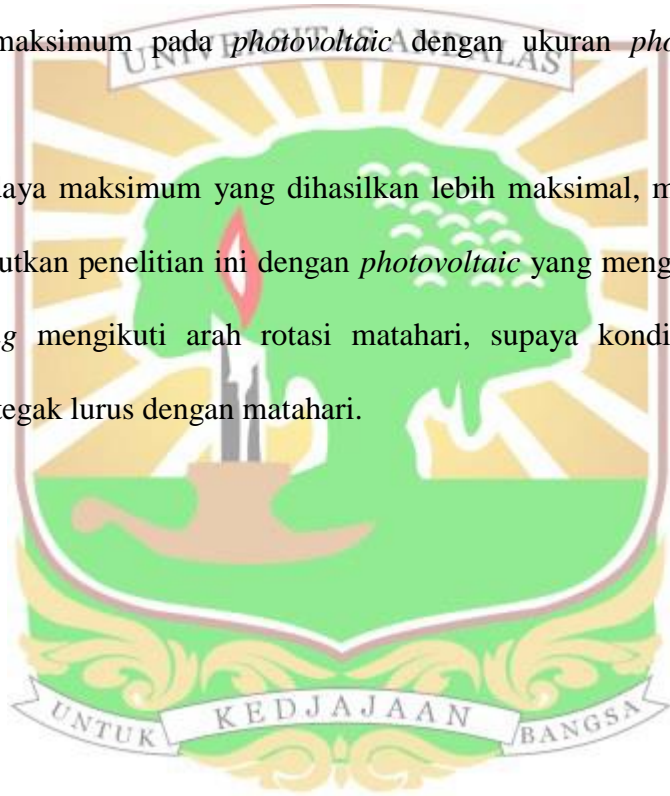
d. Penambahan 4 cermin = Rata-rata 21,82%

3. Karakteristik *photovoltaic* pada cuaca cerah pada berbagai jumlah cermin memiliki daya maksimum yang berbeda setiap harinya, meskipun berada di waktu yang sama.



5.2 Saran

1. Untuk meminimalisir terjadinya kesalahan teknis pada penelitian, disarankan untuk memberikan kedudukan pada cermin sehingga diharapkan cermin tidak bergeser dan pantulan intensitas cahayanya lebih maksimal.
2. Sehubungan dengan harga *photovoltaic* yang mahal, maka peningkatan intensitas cahaya pada *photovoltaic* sangat disarankan untuk meningkatkan daya maksimum pada *photovoltaic* dengan ukuran *photovoltaic* yang sama.
3. Agar daya maksimum yang dihasilkan lebih maksimal, maka disarankan melanjutkan penelitian ini dengan *photovoltaic* yang menggunakan sistem *tracking* mengikuti arah rotasi matahari, supaya kondisi *photovoltaic* selalu tegak lurus dengan matahari.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budi Yuwono, "Optimalisasi Panel Sel Surya Dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler T89C51", Surakarta: FMIPA UNS, 2005.
- [2] W. Diputra, "Simulator Algoritma", Jakarta: FT Universitas Indonesia, 2008.
- [3] David Tan & Ang Kian Seng, "Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems, Singapore: Energy Market Authority", 2010.
- [4] Ihsan, "Peningkatan Suhu Modul Dan Daya Keluaran Panel Surya Dengan Menggunakan Reflektor," Jurnal Teknosains, Pp. 275–283, 2013.
- [5] M. Ramdhani, "Rangkaian listrik (Revisi)", Bandung : STT Telkom, 2005.
- [6] Satu Energi. 2015. "Apakah Itu Energi?". Desember 2015. <http://www.satuenergi.com/2015/12/apakah-energi-itu.html> (diakses pada 04 Agustus 2016).
- [7] Kamus Besar Bahasa Indonesia. [Online]. Tersedia di: <https://id.wikipedia.org/wiki/Daya>. Diakses 04 Agustus 2016
- [8] Tarmizi Chandra. 2015. "Cara Kerja PV". November 2015 <http://www.energi-alam.com/artikel/cara-kerja-pv-solar-photovoltaic-system.html> (diakses pada 04 Agustus 2016).
- [9] Wikipedia. "Daya". <https://id.wikipedia.org/wiki/Daya> (diakses pada 04 Agustus 2016)
- [10] Wikipedia. "Sel Surya". https://id.wikipedia.org/wiki/Sel_surya (diakses pada 04 Agustus 2016).
- [11] k. s. gautama, "gautamakarisma wordpress," 27 november 2013. [Online]. Available: <http://gautamakarisma.wordpress.com/2013/11/27/plts-daya-dan-energi>. [Diakses 10 september 2016].
- [12] Steven Chua, "Light vs Distance", Persentasi The University of California : UC Berkeley, 2009

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1



(Gambar Spesifikasi alat *photovoltaic*)

LAMPIRAN 2



(Gambar luxmeter sebagai alat pengukur intensitas cahaya)



LAMPIRAN 3



(Gambar infrared thermometer sebagai alat pengukur temperatur)

LAMPIRAN 4



(Gambar tegangan dan arus terukur pada penelitian)

LAMPIRAN 5



(Gambar pengukuran Rf pada penelitian)

