# EFEK PENEMPATAN PANEL SURYA TERHADAP PRODUKSI ENERGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA CIRATA 1 MW

# EFFECT OF SOLAR PANEL PLACE ON ENERGY PRODUCTION OF SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANT CIRATA 1 MW

**Fuad Fauzi Wibowo, Mamat Rokhmat [1], Aripriantoni[2]**

[1,2,3]Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro
[1]fuadfw20@gmail.com,[2]mamatrokhmat76@gmail.com

**Abstrak**

**Energi alternatif selalu bertumbuh dengan pesat dikarenakan pertumbuhan dan permintaan energi di dunia terus berkembang. Dengan kebutuhan energi yang semakin meningkat bahan fosil lama kelamaan akan menipis dan habis, maka untuk memenuhi kebutuhan tersebut perlu memanfaatkan energi terbarukan, salah satunya adalah energi matahari yang dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya ( *solar photovoltaic panel* ). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Cirata merupakan pembankit listrik terbesar di pulau Jawa dengan kapasitas 1 MWp, dengan luas kurang lebih 1 hektar. Panel surya yang digunakan yaitu jenis *thin film* dengan tipe CIS (*Copper Indium Selenium*). Ada tiga penempatan instalasi panel surya di PLTS Cirata yaitu sistem di atas tanah (*ground mounted*), *rooftop*, dan *parking shade* dipasang menghadap ke arah terbit matahari dengan sudut kemiringan 10° dari atas tanah. Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data produksi harian dengan intensitas data base per-30 menit, data iradiasi, data temperatur panel surya serta faktor lingkungan. Sehinga didapatkan hasil perbandingan produksi energi panel surya dengan kapasitas masing-masing percobaan sebesar 20kW, terjadi perbedaan output produksi yaitu energi maksimal sebesar 87,9 kWh pada *ground mounted*, 83,81 kWh pada *parkingshade*, dan 81,39 kWh pada *rooftop*.. Sehingga panel surya yang terpasang diatas tanah menghasilkan energy yang lebih optimal di Pembangkit Listrik Tenaga Surya Cirata 1 MWp.**

**Kata Kunci : Panel Surya, PLTS.**

**Abstract**

***Alternative energy is always growing rapidly because of the growth and demand of energy in the world continues to grow. With the increasing energy needs of fossil materials over time will be depleted and depleted, then to meet these needs it is necessary to use renewable energy, one of which is solar energy that is used as electrical energy using solar panels (solar photovoltaic panels). Cirata Solar Power Plant (PLTS) is the largest electricity bank in Java with a capacity of 1 MWp, with an area of approximately 1 hectare. The solar panels used are thin film with type CIS (Copper Indium Selenium). There are three solar panel installations in Cirata PLTS, namely a ground mounted, rooftop, and parking shade system mounted facing the rising sun with a slope of 10° from the ground. The data used in this study are daily production data with intensity data bases per 30 minutes, irradiation data, solar panel temperature data and environmental factors. So that the results of the comparison of solar panel energy production with the capacity of each experiment is 20kW, there is a difference in production output, namely maximum energy of 87.9 kWh on ground mounted, 83.81 kWh on parking shade, and 81.39 kWh on rooftop. solar panels installed on the ground produce more optimal energy in the Cirata 1 MWp Solar Power Plant.***

***Keywords: Solar Panel, PLTS.***

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Pencarian energi alternatif selalu bertumbuh dengan pesat dikarenakan pertumbuhan dan permintaan energi di dunia terus berkembang. Dengan kebutuhan energi yang begitu banyak bahan yang bersumberkan minyak, gas, dan batubara bumi lama kelamaan akan menipis dan habis, maka untuk memenuhi kebutuhan tersebut perlu memanfaatkan energi terbarukan yaitu energi yang berlimpah, salah satunya adalah energi matahari.

Energi matahari mempunyai potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi terbarukan. Potensi tersebut dapat dilihat dari tersedianya energi matahari setiap hari sepanjang tahun di daerah iklim tropis seperti Indonesia yang dilewati oleh garis khatulistiwa. Salah satu peralatan semikonduktor yang berfungsi untuk mengkonversi cahaya menjadi listrik yaitu sel surya. Daya listrik yang dihasilkan sel surya berbanding lurus dengan iradiasi yang diterima sel surya. Semakin besar iradiasi yang diterima oleh sel surya maka semakin besar output daya yang dihasilkan. Iradiasi adalah energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari yang dapat diserap oleh panel surya yang mempunyai rentang dari 0,3 sampe 3 µm.

Prinsip kerja sel surya pertama kali ditemukan oleh Alexander Edmond Becquerel pada tahun 1839 yang disebut efek *photovoltaic*. Baru pada tahun 1876, William Grylls Adams bersama muridnya Richard Evans Day menemukan bahwa material padat selenium dapat menghasilkan listrik ketika terkena paparan sinar. Saat ini panel surya telah berkembang menjadi 3 tahapan generasi berdasarkan bahan dasar pembuatan sel surya. Generasi pertama yaitu menggunakan bahan silikon, generasi kedua yaitu dengan menggunakan film tipis (*thin film*), dan generasi ketiga menggunakan bahan organik.

Listrik dari energi matahari dibangkitkan oleh Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu pembangkit energi terbarukan yang paling berpotensi dalam beberapa tahun terakhir ini. Teknologi yang semakin maju dan biaya yang semakin kompetitif menjadi alasan utama pendongkrak pamor PLTS.

Salah satu PLTS yang ada di Indonesia adalah PLTS Cirata, yang mempunyai kapasitas 1 MW dengan luasan kurang lebih 1 hektar. Panel surya yang ada di PLTS Cirata 1 MW menggunakan panel surya generasi kedua yaitu film tipis dengan tipe CIS (Copper Indium Selenium). Lokasi instalasi di area PLTS 1MW Cirata dibagi menjadi 3 lokasi penempatan yaitu sistem di atas tanah (*ground mounted*), *rooftop*, dan *parking shade*. Salah satu faktor yang menyebabkan perbedaan output energi adalah lokasi penempatan di suatu area.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa output produksi PLTS Cirata 1MW yang lokasi penempatan nya di atas tanah (*grounded system*), *rooftop*, dan *parking shade*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

Bagaimana output produksi PLTS Cirata 1 MW yang lokasi penempatannya di atas tanah (ground mounted), rooftop, dan parking shade?

1. Bagaimana output produksi PLTS Cirata 1 MW yang lokasi penempatannya di atas tanah (*ground mounted*), *rooftop*, dan *parking shade*?

2. Bagaimana analisis penyebab perbedaan output produksi produksi PLTS Cirata 1 MW yang lokasi penempatan nya di atas tanah (*ground mounted*), *rooftop*, dan *parking shade*?

3. Bagaimana opsi terbaik instalasi PLTS dalam suatu area dengan tingkat iradiasi rata rata yang sama agar output produksi energi maksimal?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka adanya tujuan yang ingin dicapai antara lain:

1. Mengetahui output produksi PLTS Cirata 1 MW yang lokasi penempatan nya di atas tanah (ground mounted), rooftop, dan parking shade.
2. Mengetahui penyebab perbedaan output produksi PLTS Cirata 1MW yang lokasi penempatan nya di atas tanah (ground mounted), rooftop, dan parking shade.
3. Mengetahui opsi terbaik penginstalan PLTS dalam suatu area dengan tingkat iradiasi rata rata yang sama agar output produksi energi maksimal.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini antar lain:

1. Penelitian dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Cirata 1 MW.
2. Panel surya dipasang menghadap ke arah timur dengan sudut kemiringan 10 derajat dari tanah.
3. Penelitian ini menggunakan teknologi panel surya dengan jenis *thin film* CIS (Copper Indium Selenide) dengan kapasitas per modul surya sebesar 170Wp dengan effisiensi 13,8%,
4. Penelitian ini menggunakan 3 unit *string inverter* dengan kapasitas 20 kW .

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu data yang didapat dapat digunakan sebagai acuan dalam pemasangan panel surya pada suatu tempat, dan dapat mengetahui pilihan terbaik untuk mendapatkan produksi optimal pada panel surya.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Sel Surya

Sel surya atau sel photovoltaik berasal dari kata foto yang berarti "cahaya" dan volta berarti "listrik" yang bisa langsung mengkonversi sinar matahari menjadi listrik. Sel surya juga merupakan sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energy surya menjadi energy listrik dengan prinsip fotovolaik.

Prinsip kerja sel surya yaitu melalui proses absorpsi (penyerapan) cahaya, kemudian proses konversi dari keadaan tereksitasi menjadi pasangan elektron – hole, dan proses penjalaran elektron dan hole ke anoda dan katoda, sehingga mengahasilkan listrik. Berikut merupakan komponen sel surya diantaranya:[3]

1. Substrat/metal back (Al, Mo, ITO, FTO) untuk kontak positif sel surya
2. Material semikonduktor (x-Si, film tipis CIGS, CdTe, a-Si, CZTS, Cu2O,..) Untuk absorbsi cahaya matahari
3. Kontak metal/metal grid (transparan) sebagai kontak negative
4. Lapisan anti refleksi (indeks refraktif optik diantara semikonduktor dan udara)
5. Enkapsulasi (cover glass) untuk melindungi dari kotoran/ hujan

Energi surya adalah energi yang dihasilkan dari matahari, energi surya terbagi menjadi dua berdasarkan cara pemanfaatan nya yaitu dengan penyerapan cahaya dan penyerapan panas menjadi energi listrik. Sumber energi sel surya adalah foton atau gabungan partikel-gelombang. Matahari memancarkan radiasi cahaya mulai dari ultraviolet, cahaya tampak sampai inframerah. Radiasi paling kuat ada pada panjang gelombang cahaya tampak diantara 300 sampai 800 nm. Standar pengukuran pada sel surya adalah AM1,5 dengan energy 1000W/m2. Besar aktual radiasi yang diterima dipermukaan bumi berbeda-beda sesuai musim dan variasi posisi matahari dan orientasi bumi.[1]

Efek photovoltaic pertama kali ditemukan oleh oleh Alexander Edmond Beequerel pada tahun 1839. William Grylls Adams bersama muridnya, Richard Evans Day menemukan bahwa material padat selenium dapat menghasilkan listrik ketika terkena paparan sinar. Sel surya pertama kali dikeluarkan sebagai tenaga listrik bagi pesawat ruang angkasa dan sistem komunikasi satelit diakhir 1950-an, dikarenakan perangkat ini tidak membutuhkan pemeliharaan atau perawatan selama jangka waktu (5 sampai 10 tahun). Sel surya silikon yang digunakan untuk memasok daya listrik disatelit Vanguard dan Terrestrial yang dimasukkan ke dalam orbit pada tahun 1958. Selama dua dekade sel surya menjadi primadona sebagai pemasok tenaga listrik untuk pesawat ruang angkasa.[2]

### 2.2 Karakteristik Sel Surya

Sel surya dapat beroperasi secara maksimal jika temperatur sel tetap normal pada 25 derajat celsius. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan Voc. Setiap kenaikan temperatur sel surya 10 derajat celcius dari 25 derajat celsius akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 derajat celsius.[2]

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariabel dan sangat tergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Insolasion matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terhadap tegangan (V).

Keadaan atmosfir bumi yang berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat berpengaruh untuk menentukan hasil maksimal arus listrik dari sel surya.

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya sangat membantu terhadap pendinginan temperatur permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga dikisaran 25 derajat celsius.

Orientasi dari rangkaian panel ke arah matahari secara optimal memiliki efek yang sangat besar untuk menghasilkan energi yang maksimum. Selain arah orientasi sudut, orientasi (*tiltengle*) dari panel juga sangat mempengaruhi hasil energi yang maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara latitude, maka panel sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu juga yang letaknya di belahan selatan latitude, maka panel sebaiknya diorientasikan ke utara. Ketika panel diorientasikan ke barat atau ke timur sebenarnya akan tetap menghasilkan energi, namun energi yang dihasilkan tidak akan maksimal.[2]

1. *Short Circuit Current (Isc)*

Short Circuit Current Isc, adalah maksimum output arus dari solar cell panel yang dapat dikeluarkan (output) di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau short circuit. Pada kurva I-V diatas menunjukkan perkiraan arus 2,65 Ampere. Daya pada Isc adalah 0 watt. Short circuit current dapat diukur hanya pada saat membuat koneksi langsung terminal positif dan negatif dari modul solar cell panel.[4]

$$I = I_{sc}\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1\right) - I_L \quad \text{.....(1)}$$

2. *Open Circuit Voltage (Voc)*

Open Circuit Voltage Voc, adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus (current). Pada kurva I-V, Voc adalah 21 volt. Daya pada saat Voc adalah 0 watt. Sedangkan karakteristik tegangan keluaran ($V_{OC}$) pada saat I=0 dinyatakan dengan persamaan berikut:[4]

$$V_{oc} = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_L}{I_{sc}} + 1\right) \quad \text{.....(2)}$$

3. Daya Panel Surya

Daya listrik sering diartikan sebagai laju hantaran energi listrik pada sirkuit listrik. Satuan standar internasional daya

listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir dalam satuan waktu (joule/detik). Daya listrik dilambangkan huruf P. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan hukum Joule. Daya pada sumber DC dinyatakan sebagai berikut:[4]

$$P_{th} = V_{OC} I_{SC} \quad (3)$$

Daya panel surya jika dipengaruhi dengan temperature dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = G_T \tau_{pc} \eta_{T_{ref}} A[1 - 0.0045(T_c - 25)] \quad (4)$$

Prediksi kinerja modul PV dalam hal *output* daya listrik di lapangan, dimana P = Tegangan Listrik (W) , $G_T$ = Fluks Radiasi pada Bidang Modul (W/m2 ), $\tau$ solar transmittance of glazing, $\eta$ = Efisiensi Sesaat, dimana $\eta_{T_{ref}}$ = 0:125, A = luas permukaan bukaan modul PV ($m^2$), $T_c$ = suhu operasi sel / modul (K). [8]

4. Daya Maksimum Panel Surya

Daya keluaran maksimumnya Pmp adalah :

$$P_{mp} = V_{mp} I_{mp} \quad (5)$$

Kondisi daya maksimum dapat tercapai ketika perbandingan daya dengan tegangan nya sama dengan nol.[4]

dimana $P = VI = VI_{SC}\left(e^{\beta V} - 1\right) - I_L$ ……(6)

dengan $\beta = \frac{q}{kT}$ maka diperoleh

$$\left(1 + \beta V_{mp}\right) e^{\beta V_{mp}} = 1 + \frac{I_L}{I_{SC}} \quad (7)$$

5. Faktor Pengisian (*fill factor*) Sel Surya

Faktor pengisian sel surya merupakan daya yang tersedia pada maximum power point (Pm) dibagi dengan tegangan rangkaian terbuka (VOC) dan arus hubungan pendek (ISC): dapat dinyatakan sebagai berikut :[4]

$$ff = \frac{P_{mp}}{P_{th}} = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{OC} V_{SC}} \quad (8)$$

6. Efisiensi sel surya

Efisiensi sel surya adalah rasio antara output listrik dengan input cahaya dan luas permuakaan sel surya. Efisiensi konversi energi (η) dari sel surya adalah persentase energi surya untuk yang sel terkena tidak diubah informasi menjadi energi listrik. Ini dihitung adalah dengan membagi output daya sel (dalam watt) pada maksimum power (Pm) oleh cahaya masukan (E, dalam W / m2) dan luas permukaan sel surya (Ac di m2).[4]

$$\eta = Pm / (E \times Ac) \quad (9)$$

berikut adalah efisiensi panel surya terhadap temperatur:

$$\eta_c = \eta_{T_{ref}}[1 - \beta_{ref}\left(T_c - T_{ref}\right) + y \log_{10} G_{T]} \quad (10)$$

$\eta$ = Efisiensi Sesaat, dimana $\beta$ sebagai koefisien suhu ($K^{-1}$) dan *ref* sebagai nilai referensi jadi $\beta_{ref} = 0.0044\ ^\circ C^{-1}, \eta_{T_{ref}} = 0.125$. *Tref* merupakan temperatur referensi *Tref* = 25°C, $T_c$ merupakan temperature operasi modul surya, [8]

### 2.3 Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah tegangan dan arus DC (*Direct Current*) menjadi tegangan dan arus AC (*Alternating Current*). Output suatu inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus (*sine wave*), gelombang kotak (*square wave*) dan sinus modifikasi (*sine wave modified*). Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan battery, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Ada dua jenis inverter yang digunakan di Pembangkit Listrik Tenaga Surya yaitu satu buah *central inverter* dengan kapasitas 500 kW dan 25 buah *string inverter* dengan kapasitas 20kW dengan total daya 500 kW.[7]

### 2.4 Balance Of System

*Balance of system* adalah seluruh komponen yang diperlukan agar PLTS dapat beroperasi. *Balance of system* dapat terdiri dari peralatan proteksi, switchgear, kabel daya, trafo, panel listrik, peralatan monitoring dan kontrol, sensor dan data logger,peralatan komunikasi dan server, struktur sipil.

Berikut komponen dasar ( *balance of system* ) pada *system photovoltaic* di PLTS Cirata 1MW:

1) Peralatan Proteksi

Peralatan proteksi PLTS Cirata 1MW dibagi menjadi dua bagian yaitu:

a. Proteksi DC PLTS Cirata
   - ***Blade Fuse Blade*** sekering (juga disebut sekop atau sekrup *plug-in*), dengan bodi plastik dan dua cabang yang sesuai dengan soket
   - ***Arrester*** adalah suatu alat pelindung bagi peralatan system tenaga listrik terhadap surya petir
   - ***Blocking Diode*** berfungsi lebih baik untuk sistem panel surya yang menggunakan baterai.
   - ***Bypass Diode*** membantu saat salah satu panel surya pada rangkaian sistem panel surya terkena banyangan atau tidak berfungsi optimal
b. Proteksi AC PLTS Cirata 1MW
   - **ACB (*Air Circuit Breaker*)** merupakan jenis circuit breaker dengan sarana pemadam busur api berupa udara
   - ***Circuit Breaker*** alat pemutus arus listrik otomatis, berfungsi apabila arus melebihi circuit breaker.
   - **Fuse/ *current limiting*** fungsinya untuk membatasi arus.
   - ***Switchgear*** 20kV switch dan atau circuit breaker tegangan menengah 20KV
   - ***Fuse Cut Out*** membatasi arus pada jaringan tegangan menengah
   - ***Arrester*** merupakan proteksi terhadap petir
   - ***Surge Arrester***

2) *Switch gear* 20kV berfungsi sebagai *switch* dan atau *circuit* breaker tegangan menengah 20KV

3) Kabel Daya berfungsi untuk menghubungkan aliran listrik

4) Trafo merupakan alat listrik yang berfungsi untuk menaik turunkan tegangan AC. Di PLTS Cirata terdapat dua jenis trafo yaitu Trafo 630 kVA dan Trafo 20 kVA

5) Panel listrik/*combiner box* yang berfungsi sebagai penghubung kabel dari modul surya yang dirangkai seri dan paralel dan didalamnya terdapat sistem proteksi yaitu fuse dan blocking diode.

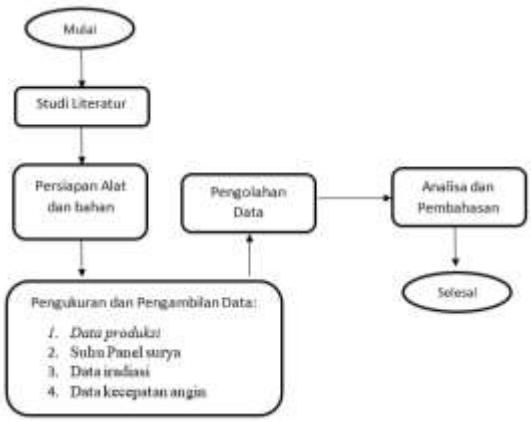
6) Peralatan Monitoring dan Kontrol terdiri dari data logger yang berfungsi memberikan informasi data dari string inverter dan webbox untuk memberikan informasi dari sensor cuaca.

7) Sensor terdapat sensor cuaca , suhu, dan kecepatan angin berfungsi untuk mengetahui data informasi lingkungan sekitar.

## 3. Metodologi Penelitian

### *3.1 Prosedur Penelitian*

Metode penelitian meliputi : pengukuran suhu panel surya dan ambient, pengujian kinerja panel yang lokasi penempatan nya di atas tanah (grounded System), *rooftop*, dan parking shade, pengambilan data serta analisa data. Pada penelitian ini akan diambil data produksi panel surya yang akan dibandingkan dengan perbedaan lokasi penempatan nya serta mencari pengaruh perbedaan produksi panel surya. Berikut diagram alir penelitian :




**Gambar 3. 1 Diagram Alir**

**3.2 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan pengumpulan data literatur dan informasi yang berhubungan dengan pembuatan tugas akhir baik melalui buku-buku referensi, internet, melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing atau dengan cara melakukan survei di PLTS Cirata kepada staf operator yang bertugas.

**3.3 Persiapan Alat dan Bahan**

Pada pengambilan data dibutuhkan peralatan dan bahan yang digunakan untuk pengambilan data. Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data adalah sebagai berikut :

*4. Flir camera handthermograph*

*Camera handthermograph* berfungsi untuk mengukur suhu panel surya.

*5. SMA Webbox*

SMA webbox berfungsi untuk monitoring dan komunikasi dari sensor. Berikut gambar SMA Webbox:

Gambar 3. 2 SMA Webbox

*6.* Data Logger (SMA CLUSTER CONTROLLER)

Data logger berfungsi untuk control, monitoring,dan komunikasi dari string inverter. Berikut gambar dari data logger :

Gambar 3. 3 Data Logger (SMA CLUSTER CONTROLLER)

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Panel Surya

**Gambar 3. 4 Modul Surya**

Modul surya yang digunakan dalam penelitian di PLTS Cirata 1MW yaitu menggunakan jenis *thinj film* SF170 seperti gambar berikut ini.

Lokasi modul surya yang diteliti adalah array 31(*ground mounted)*, array 51 (*parking shade*) dan array 50 *(rooftop).*

a. Modul surya terpasang di *ground mounted*

Gambar 3. 5 *Array 31 (*Ground Mounted*)*

b. Modul surya terpasang di *parking shade*

Gambar 3. 6 Array 51 (*Parking Shade*)

c. Modul surya terpasang di *rooftop*

Gambar 3. 7 Array 50 (*Rooftop)*

2. Inverter

Inverter yang digunakan yaitu string inverter SUNNY TRIPOWER 20000TL / 25000TL dengan kapasitas 20 kW berjumlah 3 unit ( masing-masing unit untuk *ground mounted system 20 kW, rooftop system 20kW, Parking shade 20kw)*

Gambar 3. 9 String Inverter SMA STP5000TL

**3.4 Metode Pengambilan Data**

1. Data diambil perjam dalam 1 hari untuk temperatur modul surya dari jam 09.00-15.00 WIB

2. Data produksi diambil per 30 menit dalam 1 hari dari jam 06.00-18.00 WIB
3. Data kecepatan angin dan data iradiasi diambil per 30 menit dalam sehari dari jam 06.00-18.00
4. Sumber data:
   a. Data iradiasi, data kecepatan angin berasal dari data logger yakni sunny webbox merk SMA
   b. Data produksi berasal dari data logger yakni SMA *cluster contoller* merk SMA
   c. Data temperatur modul surya berasal dari pengukuran langsung dengan menggunakan alat kamera *thermography* merk flir

### 3.5 Pengolahan Data

Membuat tabel dan grafik dari data yang didapat pada pengukuran masing-masing lokasi pemasangan dan data suhu panel surya dari modul surya yang dipasang pada rooftop dan parking shade.

### 3.6 Analisa Pembahasan

Menganalisa hasil pengolahan data produksi dan menganalisa faktor penyebab perbedaan produksi dari penempatan modul surya.

### 3.7 Lokasi Penelitian

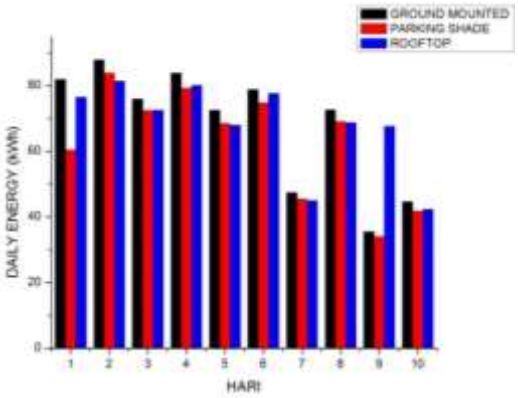
Lokasi penelitian bertempat di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) PT PJB UP Cirata berada di desa Cadas Sari, Kecamatan Tegal Waru, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat.

Gambar 3. 8 Lokasi Penelitian

## 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### *4.1 Pengambilan Data Produksi Daya Modul Surya*

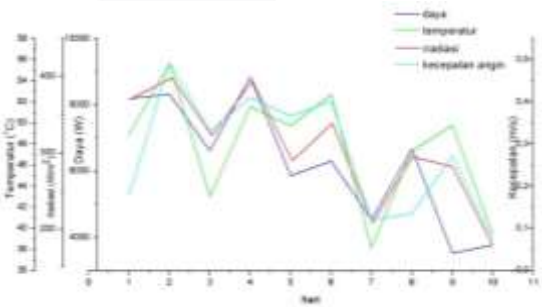
Pengambilan data ini bertujuan untuk mengetahui output produksi daya listrik panel surya yang dipasang pada tiga tempat yang berbeda yaitu pada ground mounted, rooftop, dan parking shade. Pengambilan data diambil dalam waktu 10 hari. Pengambilan data dilakukan dalam waktu 6 bulan untuk melihat output produksi dalam cuaca yang berbeda dari bulan Juli sampai dengan bulan Desember. Panel Surya dipasang dengan sudut kemiringan 10◦ dari atas tanah dan menghadap ke arah timur (arah terbit matahari). Pada masing-masing instalasi penempatn panel surya terdiri dari 120 panel surya yang disusun 8 seri per string dan 15 paralel per string dalam satu array, dalam satu array mempunyai kapasitas sebesar 20 kWp. Total array adalah 51 array, 49 array pada ground mounted yang digunakan dalam penelitian 1 array pada ground mounted, 1 array pada rooftop, dan 1 array pada parking shade. Arus listrik yang dihasilkan merupakan arus dan tegangan DC sehingga harus dirubah menjadi arus dan tegangan AC menggunakan string inverter kapasitas 20 kWp. Data produksi berasal dari data logger. Data yang diambil adalah data output produksi daya PLTS Cirata 1 MW, data iradiasi, data temperature panel surya dan data kecepatan angin. Analisa data dan pembahasan dibagi menjadi tiga bagian sesuai dengan penempatan panel surya yaitu sistem diatas tanah (ground mounted), rooftop dan parking shade. Berikut adalah data produksi energy dalam 10 hari pada masing-masing penempatan panel surya:




***Gambar 4. 1 Grafik Output Produksi Energi***

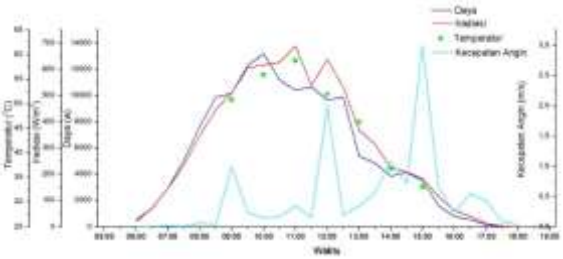
dipasang pada ground mounted, rooftop, dan parking shade. Secara total produksi energy dalam 51 array rata-rata dalam 10 hari adalah pada ground mounted menghasilkan energy 68,1 kWh x 49 array = 3338,811 kWh, pada roopftop menghasilkan energi 62,9 kWh, dan pada parking shade menghasilkan energi 67,9 kWh. Sehingga rata-rata eneri yang dihasilkan PLTS Cirata 1 MW dalam 10 hari penelitian adalah 3469,611 kWh. Output energy pada ground mounted dipasang di PLTS Cirata menghasilkan energy per hari paling tinggi dibandingkan dengan rooftop dan parkingshade kecuali pada hari ke-9 karena ada eror pada data logger sehingga output daya panel surya dipasang pada ground mounted dan rooftop tidak keluar.

### 4.2. Analisa Data Pada *Ground Mounted*



*Gambar 4. 2 Grafik Rata-Rata Daya, Iradiasi, Temperatur Panel Surya, dan Kecepatan Angin Pada* Ground Mounted

Gambar 4.1 menunjukan rata-rata output produksi daya dalam 10 hari pada sistem diatas tanah. Iradiasi merupakan faktor utama yang mempengaruhi output produksi panel surya karena iradiasi berbanding lurus dengan output produksi panel surya. Pada hari ke-4 merupakan output daya paling besar dengan nilai rata-rata sebesar 8837,7 W dengan rata-rata iradiasi sebesar 394,3719 w/m$^2$. pada hari ke-2 ada beberapa data yang tidak keluar dan ke-9 output produksi daya terjadi eror pada data logger sehingga tidak keluar nilai daya dari pukul 11.00 hingga pukul 14.30 seperti terlihat pada lampiran. Temperatur panel surya pada ground mounted mempunyai rata-rata tertingi pada hari ke-2 sebesar 55 ˚C. Sedangkan kecepatan angin tidak berpengaruh pada output produksi panel surya. Pada gambar 4.1 menunjukan besarnya kecepatan angin berbanding dengan cuaca atau dengan besarnya iradiasi. Berikut adalah grafik rata-rata data yang didapat pada ground mounted dalam rentang waktu per jam pada 10 hari penelitian :



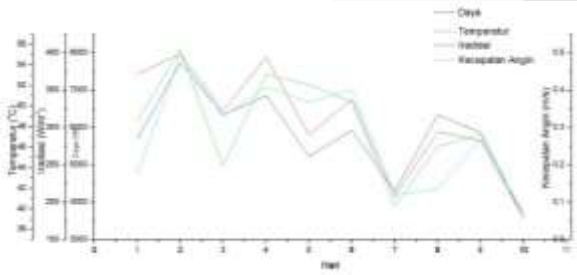
*Gambar 4. 3 Grafik Rata-Rata Daya, Iradiasi, Temperatur Panel Surya, dan Kecepatan Angin Pada* Ground Mounted

Gambar 4.3 menunjukan daya berbanding lurus dengan iradiasikecuali pada pukul 12.00 karena pengruh dari kemiringan panel surya yang terpasang 10˚ dari tanah dan menghadap terbit matahari, ketika pukul 12.00 matahari sudah tidak lagi sejajar dengan panel surya sehingga daya yang dihasilkan menurun. Kelebihan dari panel surya yang dipasang di atas tanah yaitu mempunyai rata rata temperatur panel surya lebih stabil karena adanya *cooling* dari tanah yang bisa menyerap panas.

Adapun kelemahan pada sistem diatas tanah yaitu harus mempunyai lahan yang cukup luas serta adanya debu dan kotoran karena posisi nya lebih rendah sehingga dekat dengan tanah, jika debu menutupi seluruh bagian pada panel surya akan terjadi pengurangan output produksi panel surya sebesar 20%.[9] Adapun solusi pada masalah ini panel surya dibersihkan dalam rentang waktu empat bulan sekali. Berikut adalah gambar panel surya yang terdapat debu dan kotoran pada *ground mounted*:

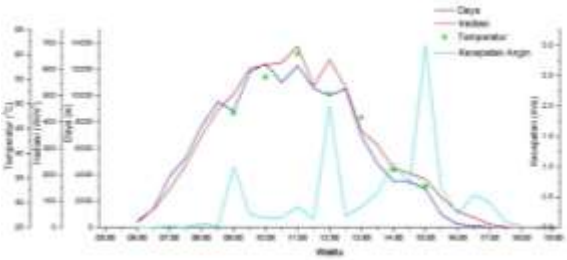
*Gambar 4. 4 Gambar Debu dan Kotoran pada Panel Surya* Ground Mounted

**4.3 Analisa Data Pada *Rooftop***



*Gambar 4. 2 Grafik Rata-Rata Daya, Iradiasi, Temperatur Panel Surya, dan Kecepatan Angin Pada* Rooftop

Gambar 4.5 menunjukan rata-rata output produksi daya dalam 10 hari pada *rooftop*. Pada hari ke-2 merupakan output daya paling besar dengan nilai rata-rata sebesar 7730,33 W dengan rata-rata iradiasi sebesar 397,774w/m$^2$ dan rata-rata temperaturnya sebesar 55,56 ˚C. Sedangkan rata-rata kecepatan angina sebesar 0,49 m/s. pada hari kedua ada beberapa data tidak muncul dari data loger seperti terlihat pada lampiran. Kelebihan dari panel surya dipasang pada *rooftop* yaitu bisa memaksimalkan lahan untuk menjadi pembangkit listrik serta lebih bersih dari debu dan kotoran.

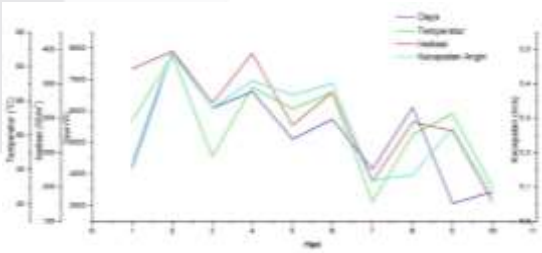


*Gambar 4. 3 Grafik Rata-Rata Daya, Iradiasi, Temperatur Panel Surya, dan Kecepatan Angin Pada* Rooftop

Gambar 4.6 selain faktor kemiringan panel surya adapun faktor bayangan yang membuat produksi daya menurun pada *rooftop* di PLTS Cirata 1 MW yaitu terjadi *shading* (bayangan) dari gedung PJB Academy mulai pukul 15.00 hingga matahari terbenam. *Shading* sangat berpengaruh terhadap produksi daya karena panel surya hanya berfungsi sebagian saja yang tidak terkena bayangan. Berikut adalah gambar shading yang terjadi pada panel surya yang dipadang pada *rooftop* :

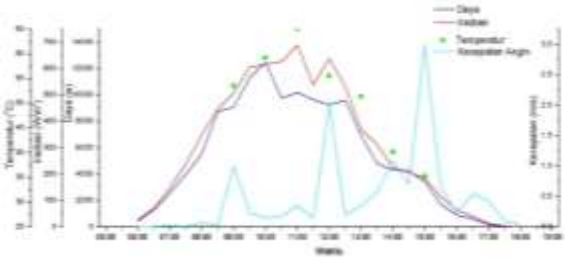
Gambar 4. 7 *Rooftop* Terkena *Shading*

**4.4 Analisa Data Pada Parking Shade**



*Gambar 4. 8 Grafik Rata-Rata Daya, Iradiasi, Temperatur Panel Surya, dan Kecepatan Angin* Pada Parking Shade

Gambar 4.8 menunjukan rata-rata output produksi daya dalam 10 hari pada *parking shade*. Pada hari ke-2 merupakan output daya paling besar dengan nilai rata-rata sebesar 7891,32 W dengan rata-rata iradiasi sebesar 397,774w/m$^2$ dan rata-rata temperaturnya sebesar 61,69 ˚C. Sedangkan rata-rata kecepatan angina sebesar 0,49 m/s. pada hari ke-2 dan ke-9 output produksi daya terjadi eror pada data logger sehingga tidak keluar nilai daya seperti terlihat pada lampiran. Kelebihan instalasi panel surya pada area parkir yaitu memanfaatkan lahan parkir sebagai pembangkit listrik tenaga surya sehingga bisa menghemat biaya tanah.



*Gambar 4. 9 Grafik Rata-Rata Daya, Iradiasi, Temperatur Panel Surya, dan Kecepatan Angin Pada* Parking shade

Gambar 4.9 menunjukan bahwa pada area parkir memiliki temperatur rata-rata panel surya paling panas dikarenakan di PLTS Cirata 1 MW adanya penguapan panas dari aspal yang mengakibatkan temperatur panel surya lebih panas sehingga output produksinya lebih rendah. Berikut adalah tampak dari bawah panel surya yang dipasang pada area parkir.

*Gambar 4. 10 Area Parkir*

## 4 PENUTUP

### *5.1 Kesimpulan*

Dari penelitian yang sudah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Output produksi energi panel surya dengan kapasitas masing-masing percobaan sebesar 20kW terjadi perbedaan output produksi yaitu energi maksimal sebesar 87,9 kWh pada *ground mounted*, 83,81 kWh pada *parkingshade*, dan 81,39 kWh pada *rooftop*. Sehingga panel surya yang terpasang diatas tanah menghasilkan energy yang lebih optimal di Pembangkit Listrik Tenaga Surya Cirata 1 MWp.
2. Faktor utama yang mempengaruhi output produksi panel surya adalah iradiasi atau intensitas cahaya matahari. Perbedaan output produksi energy antara *ground mounted*, *parking shade*, dan *rooftop* terjadi karena adanya faktor lingkungan dalam instalasi panel surya yaitu karena adanya perbedaan temperatur panel surya, debu atau kotoran, dan shading.

### *5.2 Saran*

Saran yang dapat diberikan untuk meningkatkan kualitas dari penelitian yang telah ini yaitu:

1. Melakukan penelitian untuk penempatan panel surya agar bisa menyerap iradiasi maksimal.
2. Menggunakan alat ukur yang lebih teliti dan tersinkronisasi sehingga dapat mengurangi kesalahan dalam pembacaan nilai.
3. Melakukan penelitian dengan waktu yang teratur dan waktu yang lebih panjang.

## DAFTAR PUSTAKA


1. Heru sriwidodo S., 2011. Menuju Energi Terbarukan untuk Indonesia Makmur Energi. Cirata Care4U
2. http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/solar-cell-i-v-characteristic.html. (diakses pada tanggal 13 April 2019)
3. D. Suryana and M. M. Ali, *Pengaruh Temperatur / Suhu Terhadap Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya Jenis Monokristalin ( Studi Kasus : Baristand Industri Surabaya )*, Teknol. Proses dan Inov. Ind., vol. 2, no. 1, pp. 5–8, 2016.
4. Suriadi dan Mahdi Syukri, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan di Banda Aceh," Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 9, No. 2, Oktober 2010.
5. A. De Vos and H. Pauwels (1981). "On the Thermodynamic Limit of Photovoltaic Energy Conversion". Appl.Phys. 25:119.
6. PENGUJIAN KARAKTERISTIK PANEL SURYA BERDASARKAN INTENSITAS TENAGA SURYA Reza pahlevi, Hasyim Asy'ari, Aris Budiman Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
7. Soresen Bent, *Renewable Energy Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economy & Plannin*, India: Academic Press, 2011.
8. E. Skoplaki, J.A. Palyvos. "On The Temperature Dependence of Photovoltaic Module Electrical Performance: A Review of Efficiency/Power Correlations". Solar Engineering Unit, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens, 9 Heroon Polytechneiou, Zografos Campus, 15780 Athens, Attica, Greece, 4 November 2008.
9. Muhammed J. Adinoyi dan Syed A.M. Said. "Effect of Dust Accumulation on The Power Outputs of Solar Photovoltaic Modules". Renewable Energy, 4 Juli 2013.
10. E.L. Meyer dan E.E. Van Dyk. "Characterization module performance parameters". University of Port Elizabeth, Departement of Physics, PO Box 1600, Port Elizabeth 6000, South Africa. 8 April 2002.