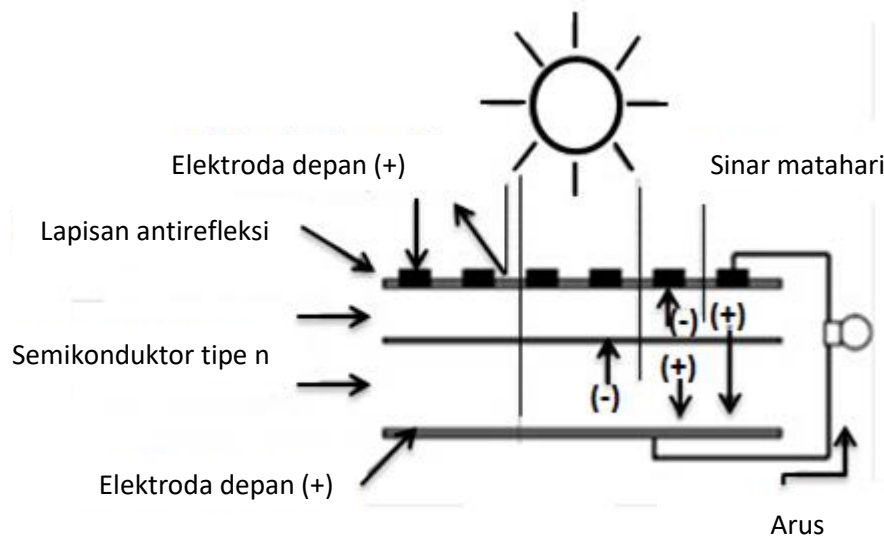


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Panel Surya

Panel surya merupakan panel yang tersusun dari beberapa sel surya yang dapat mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan komponen yang tersusun dari semikonduktor bertipe p dan n yang ketika terkena radiasi matahari dapat menghasilkan energi listrik. Secara umum proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik yang terjadi pada sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses Efek *Photovoltaic* yang Terjadi di Sel Surya [1].

Gambar 2.1 adalah proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik yang terjadi di sel surya, perubahan ini terjadi karena adanya efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* terjadi saat cahaya matahari mengenai permukaan sel surya, dimana foton cahaya diserap oleh atom semikonduktor dan elektron dilepaskan dari ikatan atom dalam semikonduktor tipe n dan semikonduktor tipe p , hal ini yang mengubah elektron tersebut menjadi elektron yang bergerak bebas. Perpindahan elektron-elektron ini yang menyebabkan adanya beda potensial yang dapat menghasilkan arus listrik [18].

2.2. Faktor Penyebab *Deterioration* pada PV Module

Penurunan performa panel surya bisa disebabkan oleh beberapa faktor seperti radiasi matahari, suhu, debu, dan kondisi cuaca yang dapat mempengaruhi jumlah radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel surya, hal ini menyebabkan menurunnya efisiensi yang dihasilkan [19][20][21][22]. Faktor lain yang dapat menyebabkan penurunan performa panel surya adalah adanya *deterioration* pada panel surya tersebut, berikut *deterioration* pada kondisi fisik panel surya yang telah beroperasi dalam jangka waktu yang lama:

1. *Delamination*

Delaminasi adalah pengelupasan yang terjadi pada lapisan enkapsulasi yang terletak di dalam panel surya. Delaminasi mengakibatkan berkurangnya transmisi sinar matahari, menurunnya produksi listrik, dan dapat menyebabkan *hot spot* [23]. Delaminasi panel surya dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 *Delamination* pada Panel Surya [20]

Gambar 2.2 merupakan delaminasi yang terjadi pada panel surya. Delaminasi dapat terjadi karena kualitas dari perekat yang kurang baik akibat sensitif terhadap sinar matahari yang tinggi dan bisa terjadi juga karena kelembaban.

2. *Corrosion*

Korosi terjadi akibat dari proses laminasi yang tidak sempurna pada sistem panel surya. Hal ini menyebabkan material laminasi mudah lepas yang mengakibatkan fluida dapat memasuki panel surya [23]. Korosi panel surya dapat dilihat pada Gambar 2.3.

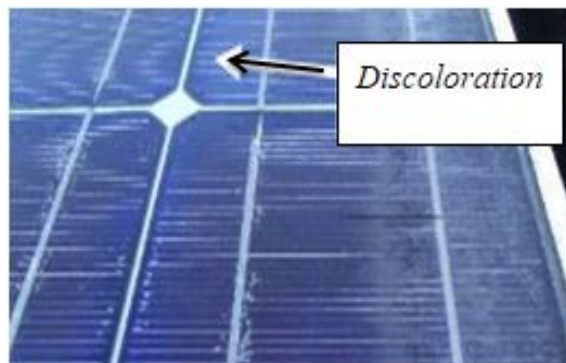


Gambar 2.3 Korosi pada Panel Surya [24]

Gambar 2.3 merupakan korosi yang terjadi pada panel surya. Korosi umumnya timbul pada tepian dari panel surya dan akan menyebar perlahan ke seluruh bagian panel surya. Korosi yang terjadi akan menyebabkan penurunan output energi yang dihasilkan secara signifikan terutama pada area-area yang telah terkena korosi.

3. *Discoloration*

Discoloration adalah perubahan warna yang terjadi pada panel surya. Panel surya yang beroperasi dalam jangka waktu yang lama akan mengalami perubahan warna menjadi kuning dan coklat. *Discoloration* panel surya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



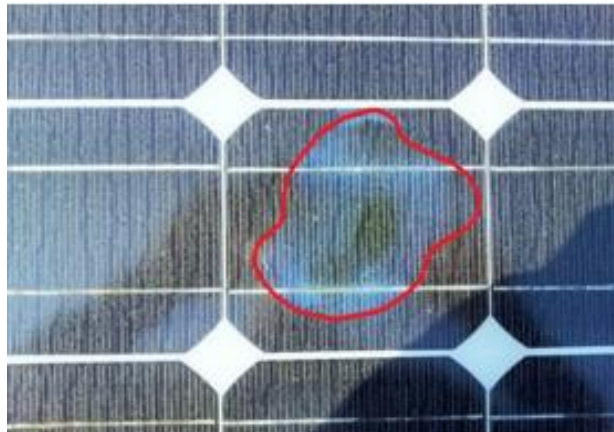
Gambar 2.4 *Discoloration* pada Panel Surya [23]

Gambar 2.4 merupakan *discoloration* yang terjadi pada panel surya. *Discoloration* disebabkan karena adanya pembentukan asam asetat dalam sel silikon yang menyebabkan terjadinya perubahan warna [23]. *Discoloration* dapat

menyebabkan terjadinya penurunan arus hubung singkat (I_{sc}) dan efisiensi yang dihasilkan dari panel surya [23].

4. *Hot Spot*

Hot spot adalah tempat di panel surya yang mengalami kelebihan beban yang mengakibatkan titik panas di panel tersebut [14]. *hot spot* yang terjadi di panel surya dapat dilihat pada Gambar 2.5.

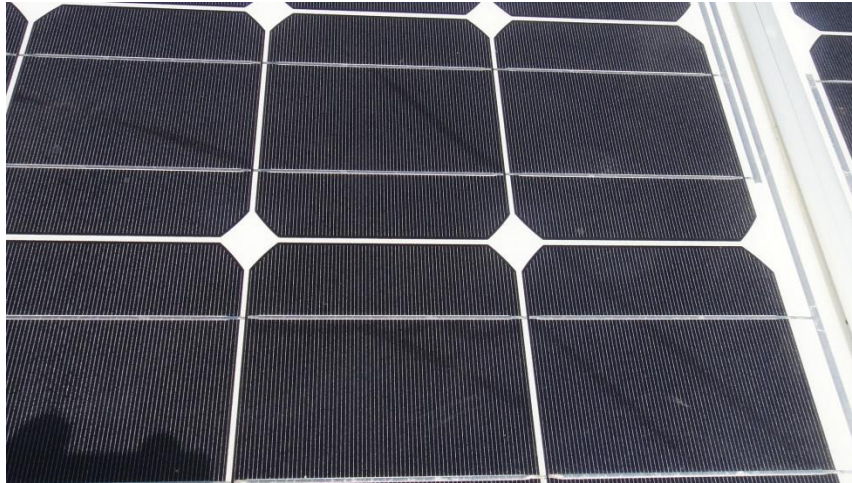


Gambar 2.5 *Hot Spot* pada Panel Surya [23]

Gambar 2.5 merupakan *hot spot* yang terjadi pada panel surya. Efek dari *hot spot* yang terjadi dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan bekas kebakaran yang merusak sel surya dan pada akhirnya dapat menyebabkan kebakaran.

5. *Snail track*

Snail track ini terjadi ketika panel surya telah digunakan dalam jangka waktu yang lama. *Snail track* pada umumnya terjadi karena cacat pelat perak pada panel yang mengakibatkan terjadi oksidasi antara material pelat dan *ethylene vinyl acetate* (EVA) [25]. *Snail track* yang terjadi di panel surya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Snail Track* pada Panel Surya [25]

Gambar 2.6 merupakan *snail track* yang terjadi pada panel surya. Efek yang terjadi akibat adanya *snail track* pada panel surya menyebabkan penurunan performa panel surya dari *output* yang dihasilkan hingga efisiensi dari panel surya tersebut.

2.3. Parameter Pengukuran Performa Panel Surya

Dalam mengukur performa dari panel surya terdapat beberapa parameter utama yang digunakan sebagai berikut:

a. *Short Circuit Current (I_{sc})*

Short circuit current adalah arus maksimum yang dihasilkan sel surya ketika konektor dihubungkan pendek. Besarnya nilai I_{sc} ini tergantung pada luas area sel surya, daya tangkap radiasi matahari oleh sel surya, bahan pembuat modul surya, dan lain sebagainya [26].

b. *Open Circuit Voltage (V_{oc})*

Open circuit voltage adalah tegangan maksimum yang dihasilkan oleh sel surya ketika tidak ada arus yang melalui sirkuit eksternal. Cara untuk mendapatkan V_{oc} dengan menghubungkan kutub positif dan kutub negatif modul surya dengan multimeter [26].

c. *Maximum Power Photovoltaic Module (P_{max})*

Daya maksimum panel surya dihasilkan dari perkalian antara arus maksimum (I_{mp}) dan tegangan maksimum (V_{mp}) ketika panel surya dihubungkan dengan beban. Satuan dari daya maksimum dinyatakan dalam *Watt* (W) atau *Watt*

peak (W_p). Pada kondisi normal nilai V_{mp} dan I_{mp} tidak lebih tinggi dibandingkan dengan nilai I_{sc} dan V_{oc} , dimana nilai V_{mp} sama dengan 80% sampai 85% dari V_{oc} dan nilai I_{mp} sama dengan 90% sampai 95% dari nilai I_{sc} . Daya maksimum dinyatakan dalam Persamaan (2.1).

$$P_{max} = I_{mp} \times V_{mp} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) menyatakan P_{max} merupakan daya maksimum panel surya dari hasil perkalian antara arus maksimum (I_{mp}) dengan tegangan maksimum (V_{mp}) yang dihasilkan panel surya ketika dihubungkan dengan beban.

d. *Output Power Photovoltaic Module* (P_{out})

Daya output panel surya dihasilkan dari perkalian antara arus hubung singkat (I_{sc}), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan faktor muatan (FF). Satuan daya *output* dinyatakan dalam (*Watt*). Daya *output* dinyatakan dalam Persamaan (2.2).

$$P_{out} = I_{sc} \times V_{oc} \times FF \quad (2.2)$$

Persamaan (2.2) menyatakan bahwa P_{out} merupakan daya *output* panel surya yang dihasilkan dari perkalian antara arus hubung singkat (I_{sc}), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), dan faktor muatan (FF).

e. *Fill Factor* (FF)

Fill factor adalah rasio dari nilai daya maksimum terhadap nilai dari I_{sc} dan V_{oc} . *Fill factor* merupakan parameter yang dalam hubungannya dengan V_{oc} dan I_{sc} menentukan daya maksimum yang dihasilkan sel surya [27]. *Fill factor* dinyatakan dalam Persamaan (2.3)

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) menyatakan bahwa *fill factor* berbanding lurus dengan daya maksimum panel surya dan berbanding terbalik dengan daya *output* dari panel surya. Secara grafis *fill factor* merupakan luas persegi panjang terbesar yang sesuai dengan kurva arus tegangan (*I-V Curve*).

f. Efisiensi Konversi Panel Surya (η_p)

Efisiensi adalah parameter yang paling umum digunakan untuk membandingkan kinerja satu sel surya dengan sel surya yang lain. Efisiensi didefinisikan sebagai rasio keluaran energi sel surya terhadap masukan energi matahari. Selain kinerja sel surya itu sendiri, efisiensi juga tergantung pada sepektrum, radiasi matahari, dan suhu pada panel surya. Bentuk persamaan

efisiensi panel surya dapat dinyatakan seperti Persamaan (2.4) dan Persamaan (2.5).

$$P_{in} = G \times A \quad (2.4)$$

$$\eta_p = \frac{P_{act}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Persamaan (2.4) menyatakan daya *input* dihasilkan dari perkalian antara radiasi matahari (G) dengan luas permukaan panel surya (A). Persamaan (2.5) menyatakan efisiensi (η_p) merupakan rasio perbandingan antara daya *output* panel surya (P_{act}) dengan daya *input* panel surya (P_{in}).

g. *Performance Rasio (PR)*

Kinerja dari panel surya tergantung pada jumlah radiasi yang di terima dan suhu yang dihasilkan panel. Pada suhu konstan, arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan besarnya radiasi yang di terima oleh panel, sedangkan pada tegangan ketika suhu konstan radiasi tidak begitu berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan. Performa rasio digunakan untuk menilai kapasitas konversi energi dari modul surya selama periode waktu dalam kondisi luar. Bentuk persamaan performa rasio dinyatakan dalam persamaan (2.6).

$$PR = \frac{\left(\frac{P_{act}}{P_{max}}\right)}{\frac{G}{1000}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) menyatakan performa rasio dihasilkan dari hasil pembagian daya *output* terukur panel surya (P_{act}) dengan daya maksimal panel surya kondisi STC (P_{max}) dibagi radiasi matahari terukur (G) dengan radiasi matahari kondisi STC yaitu 1000W/m^2 . Hasil dari perhitungan performa rasio dinyatakan dalam persen. Semakin baik pengukuran di lapangan semakin baik pula performa yang dapat dihasilkan.

2.4. *Data logger*

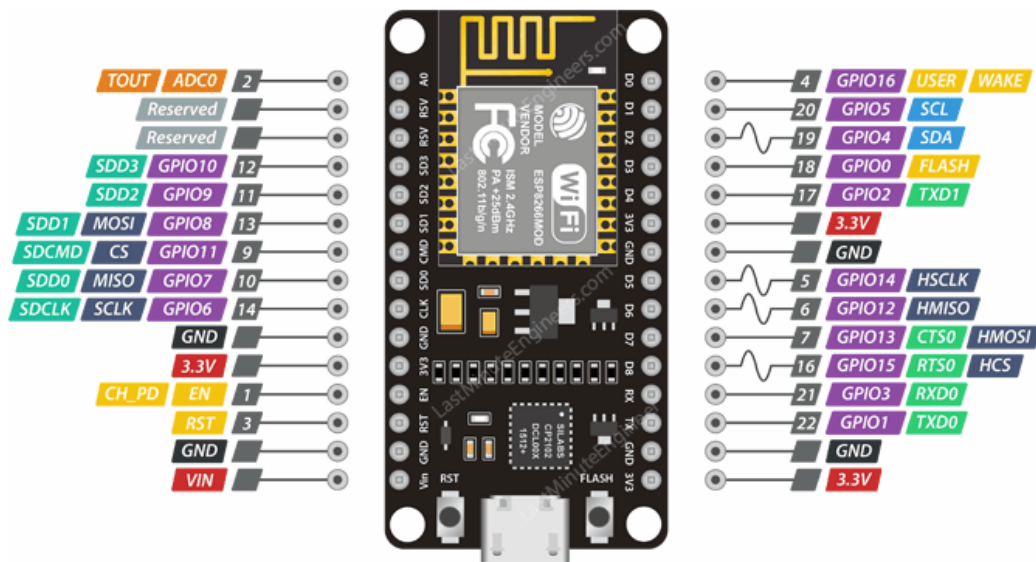
Data logger adalah sebuah perangkat elektronik yang memiliki fungsi untuk mencatat dan merekam data dari kumpulan informasi. Informasi tersebut merupakan hasil dari pembacaan sensor elektronik yang di kontrol oleh mikrokontroler yang nantinya data akan disimpan di *SD card* [28].

Sistem *data logger* dapat memudahkan pengambilan data pada panel surya, keuntungan menggunakan *data logger* pada pengaplikasian panel surya yaitu

untuk mendapatkan data berupa suhu, arus, tegangan, dan radiasi matahari yang diterima panel surya untuk pengguna dapat menganalisis daya keluaran yang dihasilkan panel surya. Data yang dicatat dan direkam dihasilkan dalam bentuk *file* yang dapat di *expore* ke Ms. Excel sehingga data panel surya dapat dianalisis.

2.5. ESP8266 WiFi Mikrokontroler

ESP8266 merupakan mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul WiFi sehingga dapat berkomunikasi lewat koneksi internet sehingga dapat di hubungkan dengan *platform* IoT. Berikut adalah susunan kaki *board* ESP8266 diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pin Out Mikrokontroler ESP8266 [29]

Gambar 2.7 merupakan *pin out* dari mikrokontroler ESP8266. ESP8266 memiliki *pin input* dan *output* yang memadai sehingga dapat dihubungkan dengan sensor sensor yang ingin digunakan dan dapat dikoneksikan lewat jaringan internet kerana memiliki modul WiFi. ESP8266 ini juga dapat di program melalui aplikasi arduino IDE [29].

2.6. *Pyranometer* Sensor Radiasi Matahari

Pyranometer digunakan untuk mengukur radiasi global, radiasi baur, dan pantulan radiasi matahari. *Pyranometer* sangat penting untuk mengetahui radiasi matahari di suatu tempat tertentu sehingga dapat digunakan sebagai parameter analisis sistem *photovoltaic* (PV) [30]. Struktur dari *pyranometer* dapat dilihat pada gambar 2.8.



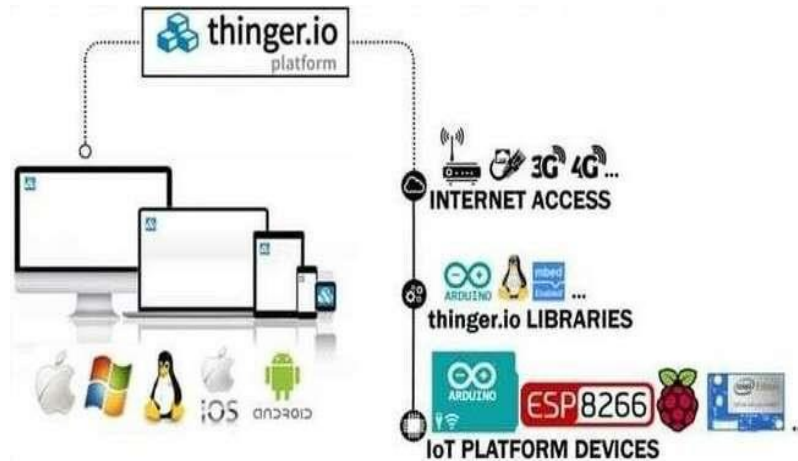
Gambar 2.8 Struktur *Pyranometer* [30]

Gambar 2.8 merupakan struktur dari *pyranometer* yang terdiri dari serangkaian hubungan antara dua logam yang berbeda seperti prinsip *thermocouple*. *Pyranometer* ini menggunakan *dome* (kubah kaca) dengan 180 bidang pandang. Teknologi ini dapat mengukur radiasi dari semua arah. *Thermopile pyranometer* dapat mengukur radiasi matahari dengan respon spektral dari 280 nm sampai dengan 2800 nm.

2.7. Platform Visualisasi Data Thinger.io

Perkembangan teknologi jaringan internet telah banyak dikembangkan sehingga terciptanya sistem pemantauan secara jarak jauh berbasis IoT. IoT dalam penerapannya dapat digunakan untuk memantau, mengumpulkan, memproses dan mencatat data yang dihasilkan oleh suatu sistem secara otomatis dan *realtime* dalam jarak dekat maupun jarak jauh [15]. Salah satu platform dari IoT adalah Thinger.io. Platform thinger.io merupakan platform IoT yang berfungsi sebagai media pembacaan dan penerimaan data dari perangkat keras lewat jaringan internet. Thinger.io menyediakan fitur *cloud open-source* untuk menghubungkan

perangkat keras yang terkoneksi dengan internet. Thingier.io dapat dihubungkan ke berbagai jenis board arduino yang menggunakan WiFi seperti ESP866 dan ESP32 [31]. Berikut gambaran dari *platform* Thingier.io pada Gambar 2.9 di bawa ini.



Gambar 2.9 Model Komunikasi Thingier.io [31]

Gambar 2.9 merupakan sistem dari *platform* Thingier.io, di *platform* Thingier.io terdapat beberapa jenis model penyediaan dan pemantauan data. Sistem IoT di dalam *data logger* digunakan untuk menerima *output* sinyal sensor ke *platform* Thingier.io. Keuntungan dari *platform* Thingier.io ini memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dua arah dengan perangkat secara *real time*.

2.8. Kajian Pustaka

Kajian pustaka digunakan sebagai perbandingan dari penelitian sejenis serta sumber informasi penelitian. Penelitian sebelumnya membahas tentang pengaruh lingkungan seperti debu, suhu, radiasi matahari, dan kelembaban dapat menurunkan efisiensi dan daya yang dihasilkan panel surya yang telah beroperasi selama 2,5 tahun [32]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah penggunaan panel surya dalam jangka waktu yang lama dalam proses penelitian.

Penelitian selanjutnya membahas tentang adanya pengaruh cuaca, radiasi matahari, kecepatan angin dan pemasangan panel surya terhadap kinerja instalasi panel surya tipe silikon-kristal. Hasil perhitungan yang di dapat yaitu efisiensi daya keluaran pada panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline* adalah

70,79% dan 66,33% disini menunjukkan kinerja panel surya *monocrystalline* lebih baik dibandingkan panel surya *polycrystalline* [7]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perubahan radiasi matahari terhadap performa panel surya.

Penelitian selanjutnya membahas tentang pengaruh perubahan iklim yang dapat menyebabkan enkapsulasi pada panel surya mengalami delemisasi, kelembaban, dan pembentukan gelembung yang dapat menyebabkan hilangnya kinerja panel surya [24]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui perubahan cuaca terhadap kinerja panel surya.

Penelitian lain yang dilakukan membahas penggunaan sistem *data logger* yang berfungsi sebagai pencatatan data parameter panel surya. Hasil penelitian menunjukkan semua data yang diukur dapat tersimpan ke *SD card* [28]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah penggunaan *data logger* sebagai pencatatan data performa panel surya.

Penelitian lainnya tentang sistem pemantauan dengan IoT dapat dilakukan secara jarak jauh dan *realtime* dengan menggunakan Thingspeak [15]. Hubungan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah penggunaan IoT dalam pemantauan performa panel surya.

Berdasarkan referensi yang didapatkan, dimana penggunaan panel surya dalam jangka waktu yang lama dan perbedaan radiasi matahari yang diterima panel surya dapat menyebabkan *deterioration performace* yang dihasilkan panel surya tersebut. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui arus, tegangan, daya, efisiensi, dan performa rasio panel surya yang digunakan dalam jangka waktu yang lama dan panel surya yang baru digunakan berdasarkan pengaruh perbedaan radiasi matahari di Kota Cilegon menggunakan *data logger* sebagai sistem akuisisi data dan sensor *pyranometer* sebagai alat ukur radiasi matahari serta *platform* thinger.io sebagai sistem pemantuan data secara jarak jauh.