

**ANALISIS PENGARUH PERBEDAAN RADIASI MATAHARI
TEHADAP *DETERIORATION PERFORMANCE*
PHOTOVOLTAIC MODULE BERBASIS IOT**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.)



Disusun oleh:

PATRISIUS AGUSTO EPU NGGEBHE

3332170109

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2023**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Analisis Pengaruh Perbedaan Radiasi Matahari Terhadap
Deterioration Performance Photovoltaic Module Berbasis
IoT

Nama Mahasiswa : Patrisius Augusto Epu Nggobhe

NPM : 3332170109

Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penulisan skripsi di atas adalah benar-benar hasil karya saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 17 Januari 2023



Patrisius A.E. Nggobhe

3332170109

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini disetujui bahwa proposal skripsi:

Judul : Analisis Pengaruh Perbedaan Radiasi Matahari Terhadap
Deterioration Performance Photovoltaic Module berbasis
IoT.
Nama Mahasiswa : Patrisius Augusto Epu Nggobhe
NPM : 3332170109
Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal - melalui Sidang Skripsi di Fakultas
Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan **LULUS /**
TIDAK LULUS.

Dewan Penguji

Pembimbing I : Dr. Eng Rocky Alfanz, M.Sc.
Penguji I : Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.
Penguji II : Ceri Ahendyarti, S.T., M.Eng.

Tanda Tangan



Mengetahui,

Ketua Program Studi



Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng.
NIP. 198307032009121006

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyusun skripsi dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis mengucapkan banyak terima kasih terhadap semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat diselesaikan tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis sampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga yang telah memberikan semangat, motivasi, dan doa yang tak terhingga nilainya.
2. Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Dr. Eng. Rocky Alfanz, S.T.,M.Sc., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan banyak waktu serta memberikan arahan, saran, dan bimbingan kepada penulis selama proses menyelesaikan skripsi.
4. Dr. Ing. Muhammad Iman Santoso, M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik penulis yang telah memberikan arahan dan motivasi kepada penulis.
5. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh dosen, staf akademik dan teman-teman Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah membantu penulis berupa semangat, dukungan, dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Cilegon, 17 Januari 2023

Penulis

ABSTRAK

Patrisius Augusto Epu Nggobhe
Teknik Elektro

Analisis Pengaruh Perbedaan Radiasi Matahari Terhadap *Deterioration Performance Photovoltaic Module* Berbasis IoT

Pemantauan dan pengecekan panel surya yang beroperasi dalam jangka waktu yang lama diperlukan untuk mengetahui performa panel surya tersebut. Performa panel surya dapat mengalami penurunan yang disebabkan oleh radasi matahari, suhu, debu, kondisi operasi dan kerusakan pada panel surya. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penggunaan panel surya dalam jangka waktu yang lama terhadap penurunan performa yang dihasilkan panel surya pada kondisi cuaca di kota Cilegon menggunakan 2 panel surya yaitu panel surya *monocrystalline* baru dan panel surya *monocrystalline* yang sudah beroperasi selama 7 tahun. Metode pada penelitian ini yaitu uji kinerja *output* yang dihasilkan oleh panel surya serta pemantauan *output* panel surya menggunakan *platform* Thingier.io. Hasil dari penelitian ini menunjukkan panel surya yang sudah beroperasi selama 7 tahun mengalami perubahan warna, korosi dan penurunan performa yang dihasilkan. Penurunan arus panel surya lama sebesar 2,54 A dan penurunan tegangan sebesar 3,11 V dibandingkan spesifikasi panel tersebut.

Kata Kunci : Panel Surya *Monocrystalline*, Penurunan Performa, Arus, Tegangan, Thingier.io.

ABSTRACT

Patrisius Augusto Epu Nggobhe
Electrical Engineering

Analysis of the Effect of Different Solar Radiation on Deterioration Performance
Photovoltaic Module Based on IoT

Monitoring and checking of solar panels that operate for a long time is needed to determine the performance of these solar panels. Solar panel performance may decrease due to solar radiation, temperature, dust, operating conditions and damage to the solar panel. The main objective of this research is to determine the effect of using solar panels for a long time on the deterioration in performance produced by solar panels in weather conditions in the city of Cilegon using 2 solar panels, new monocrystalline solar panels and monocrystalline solar panels that have been operating for 7 years. The method in this study is to test the output performance produced by solar panels and monitoring solar panel output using the Thinger.io platform. The results of this study show that solar panels that have been operating for 7 years experience *discoloration*, corrosion and a decrease in the resulting performance. The current reduction of the solar panels is 2,54 A and the voltage drop is 3,11 V compared to the specification of the panel.

Keywords : Solar Panel Monocrystalline, Deterioration Performance, Current, Voltage, Thinger.io

DAFTAR ISI

LEMBAR HALAMAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sitematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Panel Surya	6
2.2. Faktor Penyebab <i>Deterioration</i> pada <i>PV Module</i>	7
2.3. Parameter Pengukuran Performa Panel Surya	10
2.4. <i>Data logger</i>	12
2.5. ESP8266 WiFi Mikrokontroler	13
2.6. <i>Pyranometer</i> Sensor Radiasi Matahari	14
2.7. <i>Platform</i> Visualisasi Data Thinger.io.....	14
2.8. Kajian Pustaka	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Perancangan Penelitian	17
3.1.1. Diagram Blok Sistem Penelitian.....	17
3.2. Perancangan Sistem mikrokontroler	18
3.2.1. Rangkain <i>Input</i> sistem mikrokontroler	18
3.2.2. Rangkaian <i>Output</i> Sistem Miktontroler	19
3.2.3. <i>Flowchart</i> Sistem Mikrokontroler.....	20

3.3.	Perancangan Sistem Pemantauan Penelitian	21
3.4.	Spesifikasi <i>Pyranometer</i>	22
3.5.	Spesifikasi Panel Surya.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		24
4.1.	Hasil Perancangan Alat.....	24
4.2.	Pengujian Kalibrasi Sensor Arus	27
4.3.	Pengujian Kalibrasi Sensor Tegangan	28
4.4.	Pengujian Kalibrasi Sensor Suhu	30
4.5.	Pengujian Kalibrasi <i>Pyranometer</i>	31
4.6.	Pengujian Visualisasi Thinger.io	32
4.7.	Hasil Pengujian <i>Deterioration Performance</i> Panel Surya Lama dan Baru.....	33
BAB V PENUTUP.....		50
5.1.	Kesimpulan	50
5.2.	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA.....		51
LAMPIRAN A DATA PENGUJIAN		A-1
LAMPIRAN B PERHITUNGAN		B-1
LAMPIRAN C LISTING PROGRAM.....		C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Efek <i>Photovoltaic</i> yang Terjadi di Sel Surya [1].....	6
Gambar 2.2 <i>Delamination</i> pada Panel Surya [20]	7
Gambar 2.3 Korosi pada Panel Surya [24].....	8
Gambar 2.4 <i>Discoloration</i> pada Panel Surya [23]	8
Gambar 2.5 <i>Hot Spot</i> pada Panel Surya [23]	9
Gambar 2.6 <i>Snail Track</i> pada Panel Surya [25].....	10
Gambar 2.7 <i>Pin Out</i> Mikrokontroler ESP8266 [29]	13
Gambar 2.8 Struktur <i>Pyranometer</i> [30]	14
Gambar 2.9 Model Komunikasi Thingier.io [31]	15
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Penelitian	17
Gambar 3.2 Rangkaian <i>Input</i> Mikrokontroler.....	18
Gambar 3.3 Rangkain <i>Output Data Logger</i>	19
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Sistem Mikrokontroler.....	20
Gambar 3.5 Sistem Pemantaun pada <i>Platform</i> Thingier.Io	21
Gambar 4.1 Panel Surya Lama dan Panel Surya Baru.....	24
Gambar 4.2 <i>Data Logger</i>	25
Gambar 4.3 Pemasangan <i>Data Logger</i> ke Panel Surya	26
Gambar 4.4 <i>Pyranometer</i>	26
Gambar 4.5 Pengujian Kalibrasi Sensor Arus 1.....	27
Gambar 4.6 Pengujian Kalibrasi Sensor Arus 2.....	28
Gambar 4.7 Pengujian Kalibrasi Sesor Tegangan 1.....	29
Gambar 4.8 Pengujian Sensor Tegangan 2	29
Gambar 4.9 Pengujian Kalibrasi Sensor Suhu 1	30
Gambar 4.10 Pengujian Kalibrasi Sensor Suhu 2	30
Gambar 4.11 Pengujian Kalibrasi <i>Pyranometer</i>	31
Gambar 4.12 Pengujian Visualisasi Thingier.io.....	32
Gambar 4.13 Sistem Pemantauan Tegangan Panel Surya	33
Gambar 4.14 Sistem Pemantauan Arus Panel Surya	34
Gambar 4.15 Radiasi Matahari Hari ke-1	35
Gambar 4.16 Suhu Panel Surya hari ke-1	35

Gambar 4.17 Arus Panel Surya Hari ke-1	36
Gambar 4.18 Tegangan Panel Surya Hari-1	37
Gambar 4.19 Radiasi Matahari hari ke-2	38
Gambar 4.20 Suhu Panel Surya hari ke-2	38
Gambar 4.21 Arus Panel Surya Hari ke-2.....	39
Gambar 4.22 Tegangan Panel Surya Hari ke-2.....	40
Gambar 4.23 Radiasi Matahari hari ke-3	40
Gambar 4.24 Suhu Panel Surya hari ke-3	41
Gambar 4.25 Arus Panel Surya Hari ke-3.....	42
Gambar 4.26 Tegangan Panel Surya Hari ke-3.....	42
Gambar 4.27 Daya Panel Surya Hari ke-1	43
Gambar 4.28 Daya Panel Surya Hari ke-2	44
Gambar 4.29 Daya Panel Surya Hari ke-3	45
Gambar 4.30 Efisiensi Panel Surya.....	45
Gambar 4.31 Panel Surya <i>Discoloration</i>	46
Gambar 4.32 <i>Corrosion</i> dan Debu pada Panel Surya	47
Gambar 4.33 Kurva I-V Panel Surya Lama	47
Gambar 4.34 Kurva IV Panel Surya Baru.....	48
Gambar 4.35 <i>Power Ratio</i> Panel Surya	49

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Pyranometer</i>	22
Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya	23

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan sumber energi saat ini sangat mendesak dibutuhkan, berbagai macam produk yang mendukung kinerja dari manusia saat ini semuanya menggunakan energi listrik [1]. Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat memerlukan terobosan yang baru agar menghasilkan energi listrik yang tidak menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan [2]. Salah satu usaha untuk menanggulangi energi listrik yang menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan dengan mengurangi pemakaian sumber energi listrik dari fosil [3]. Pengurangan pemakaian energi fosil dapat dilakukan dengan mengembangkan sumber energi *alternative* selain fosil, salah satunya menggunakan energi matahari [4]. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan, yang memiliki potensi sangat besar dalam menghasilkan energi listrik untuk kehidupan sehari-hari khususnya di Indonesia [5].

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki potensi cukup tinggi dalam pemanfaatan energi matahari [6]. Potensi rata-rata energi matahari di Indonesia sekitar 4,8 KWh/m²/hari [7]. Energi matahari dapat digunakan dengan mengkonversikan radiasi matahari menjadi energi listrik menggunakan *photovoltaic module* [8]. *Photovoltaic module* dibangun dari sel-sel yang dapat menyerap energi matahari dan merubahnya lewat efek *photovoltaic* menjadi energi listrik [9]. Cara kerja *Photovoltaic module* dapat diukur dengan melihat daya keluaran yang dihasilkan. Kerja *Photovoltaic module* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bahan pembuatnya, resistansi bahan, temperatur, dan tingkat radiasi matahari. Kurva arus-tegangan (I-V) bisa didapatkan keluaran *Photovoltaic module* seperti arus hubungan singkat (I_{sc}), tegangan terbuka (V_{oc}), arus maksimum (I_{max}), tegangan maksimum (V_{max}), dan daya maksimum (P_{max}) [10].

Pemantauan *photovoltaic module* sangat diperlukan untuk menilai *performance photovoltaic module*. *Photovoltaic module* dalam beberapa kasus mengalami *deterioration performance* berdasarkan daya yang dihasilkan, dengan

menggunakan *photovoltaic module* dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan *deterioration* pada *performance photovoltaic module* [11]. *Deterioration performance photovoltaic module* dapat di pengaruhi oleh suhu, radiasi matahari, debu, kelembapan, dan kerusakan pada *photovoltaic module* [12][13]. Penentuan *deterioration performance photovoltaic module* yang beroperasi dalam jangka waktu yang panjang yaitu dengan membandingkan keluaran daya *output* dengan spesifikasi keluaran *photovoltaic module* tersebut. *Deterioration* ini dapat ditemukan dengan mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan [14].

Pemantauan *photovoltaic module* sangat diperlukan untuk menilai *performance photovoltaic module* pada perubahan cuaca [14]. Seiring dengan perkembangan teknologi yang tumbuh pesat maka banyak dikembangkan perancangan sistem pemantauan yang bisa beroperasi secara jarak jauh, yang mana sistem ini di sebut *Internet of Things* (IoT) [15]. IoT memungkinkan obyek antara satu sama lain saling terhubung dan bertukar informasi memanfaatkan jaringan internet [16]. 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* IoT adalah Thingier.io. Thingier.io merupakan *platform* IoT yang menyediakan fitur *cloud* untuk menghubungkan berbagai perangkat yang terkoneksi dengan jaringan internet. Thingier.io dapat menampilkan hasil pembacaan sensor dalam bentuk grafik atau nilai dan juga mendukung semua jenis *board* seperti arduino, ESP8266, ESP32, dan Intel edision yang dapat terhubung melalui jaringan internet [17].

Berdasarkan penjelasan di atas, perlu adanya pemantauan dan pengecekan *performance photovoltaic module* yang beroperasi dalam jangka waktu yang lama, maka penelitian ini akan menampilkan dan membandingkan *performace photovoltaic module* yang telah beroperasi dalam jangka waktu yang lama dengan spesifikasi dari panel surya tersebut berdasarkan pangaruh radiasi matahari pada kondisi cuaca di kota Cilegon dengan menggunakan *data logger* sebagai alat akusisi data dan menggunakan *platform thingier.io* sebagai sistem pemantauan secara *real time* yang dapat beroperasi secara jarak jauh.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, bahwa penggunaan panel surya dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan *deterioration performance* yang dihasilkan maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Pengaruh penggunaan *photovoltaic module* dalam jangka waktu 7 tahun terhadap *deterioration performance* yang dihasilkan.
2. Pengaruh radiasi matahari terhadap *performace* yang dihasilkan *photovoltaic module* lama dan baru di kota Cilegon.
3. Pemantauan *performance photovoltaic module* menggunakan *platform Thinger.io*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan *photovoltaic module* dalam jangka waktu 7 tahun terhadap *deterioration performance* yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh radiasi matahari terhadap *performace* yang dihasilkan *photovoltaic module* lama dan baru di kota Cilegon.
3. Mengetahui bagaimana menggunakan *platform Thinger.io* dalam pemantauan *performance photovoltaic module*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diberikan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan pengembangan dalam penggunaan *photovoltaic module* bagi para akademisi yang melakukan kajian tentang pengaruh perbedaan radiasi matahari matahari terhadap *deterioration performance* yang dihasilkan *photovoltaic module*.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan dan pengetahuan tentang pengaruh penggunaan *photovoltaic module* dalam jangka waktu yang lama terhadap *performance* yang dihasilkan .

3. Hasil penelitian ini diharapkan berkontribusi dalam perkembangan dan pembaharuan informasi bidang energi baru terbarukan khususnya *photovoltaic module*.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Parameter yang diukur pada penelitian ini yaitu arus, tegangan, daya, performa rasio, dan efisiensi.
2. Pada penelitian ini menggunakan panel surya tipe *monocrystalline* dengan daya maksimum 315 Wp dan 310 Wp.
3. Pembahasan terfokus pada perbandingan daya keluaran yang dihasilkan *photovoltaic module* lama dan *photovoltaic module* baru berdasarkan pengaruh radiasi matahari di kota Cilegon.
4. Platform IoT yang digunakan pada penelitian ini yaitu Thinger.io.
5. Pengujian dilakukan secara *realtime* pada tiga kondisi cuaca yaitu mendung, cerah, dan berawan.
6. Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini NodeMCU ESP8266.
7. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sensor *pyranometer*, DS18B20, rangkaian *voltage divider*, dan sensor ACS712.

1.6. Sitematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini dibagi dalam beberapa pokok sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penjelasan konsep *deterioration* pada panel surya, pengaruh radiasi matahari terhadap daya yang dihasilkan panel surya, mikrokontroler sebagai alat akuis data, IoT sebagai sistem pemantauan data, dan kajian pustaka.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang langkah penelitian yang akan dilakukan berupa alur penelitian, komponen penelitian, metode penelitian, dan jadwal penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil dan pembahasan dari penelitian yang dikerjakan.

BAB V PENUTUP

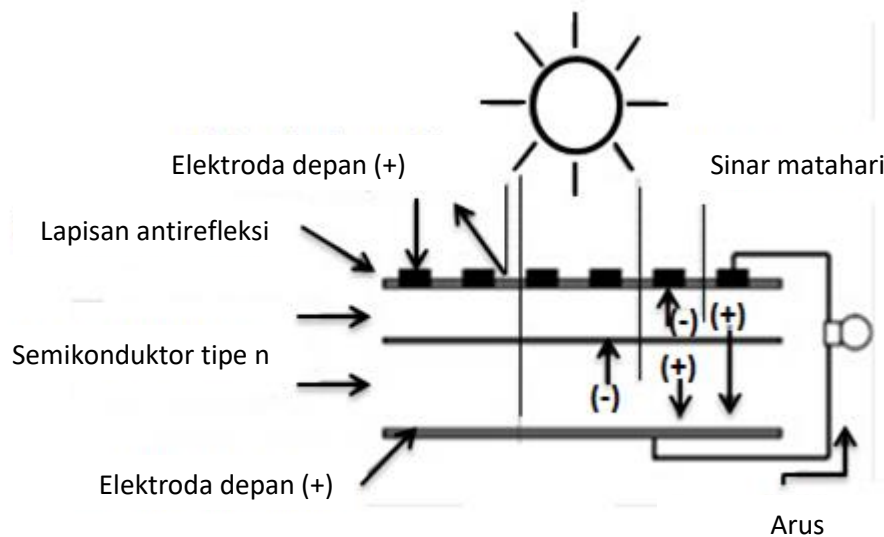
Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

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.

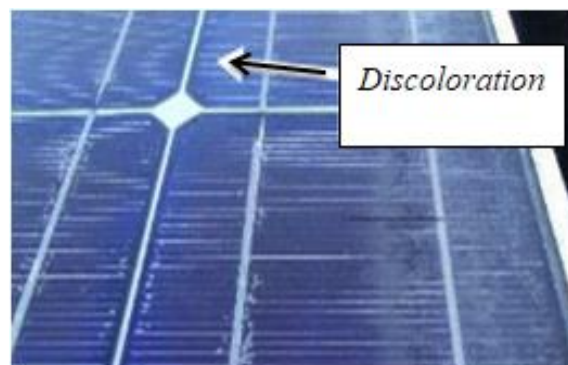


Gambar 2.3 Korosi pada Panel Surya [24]

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.



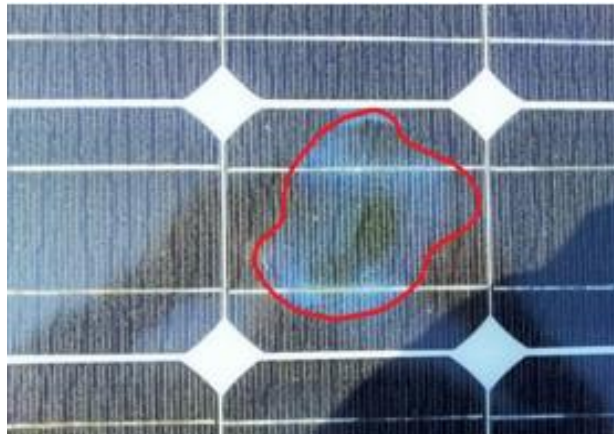
Gambar 2.4 *Discoloration* pada Panel Surya [23]

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.

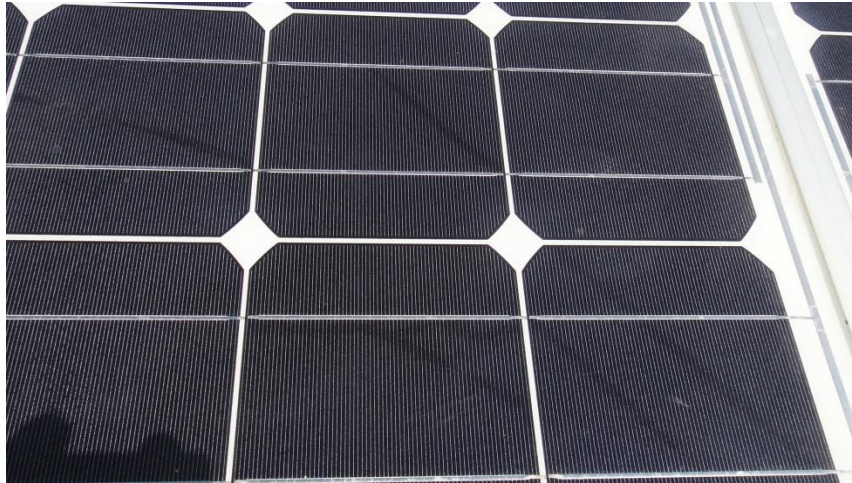


Gambar 2.5 *Hot Spot* pada Panel Surya [23]

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*

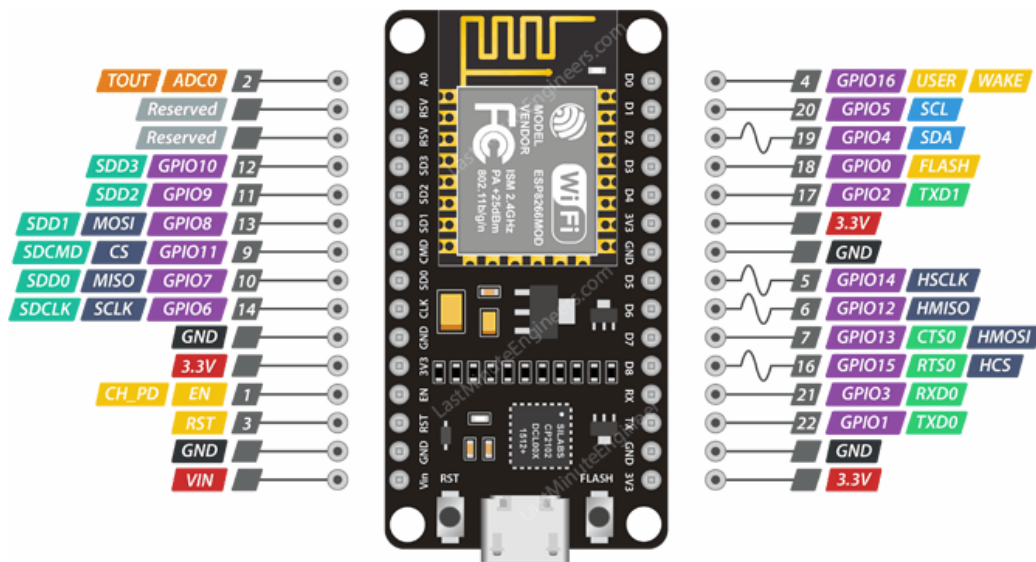
Data logger adalah sebuah perangkat elektronik yang memiliki fungsi untuk mencatat dan merekam data dari kumpulan informasi. Informasi tersebut merupakan hasil dari pembacaan sensor elektronik yang di kontrol oleh mikrokontroler yang nantinya data akan disimpan di *SD card* [28].

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.



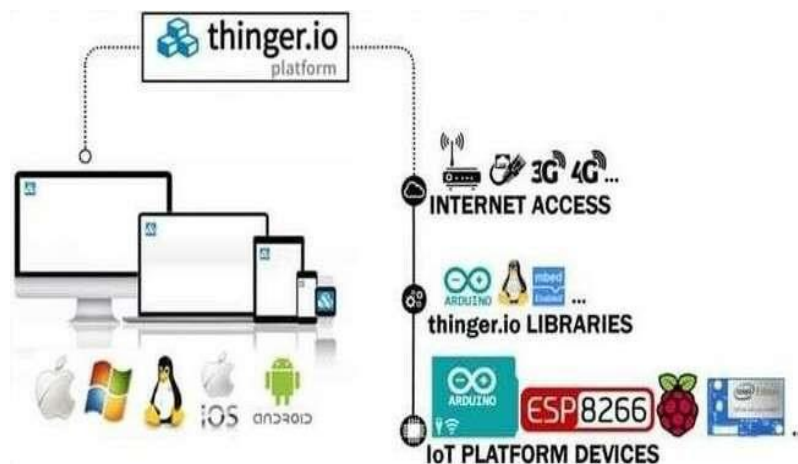
Gambar 2.8 Struktur *Pyranometer* [30]

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.

BAB III

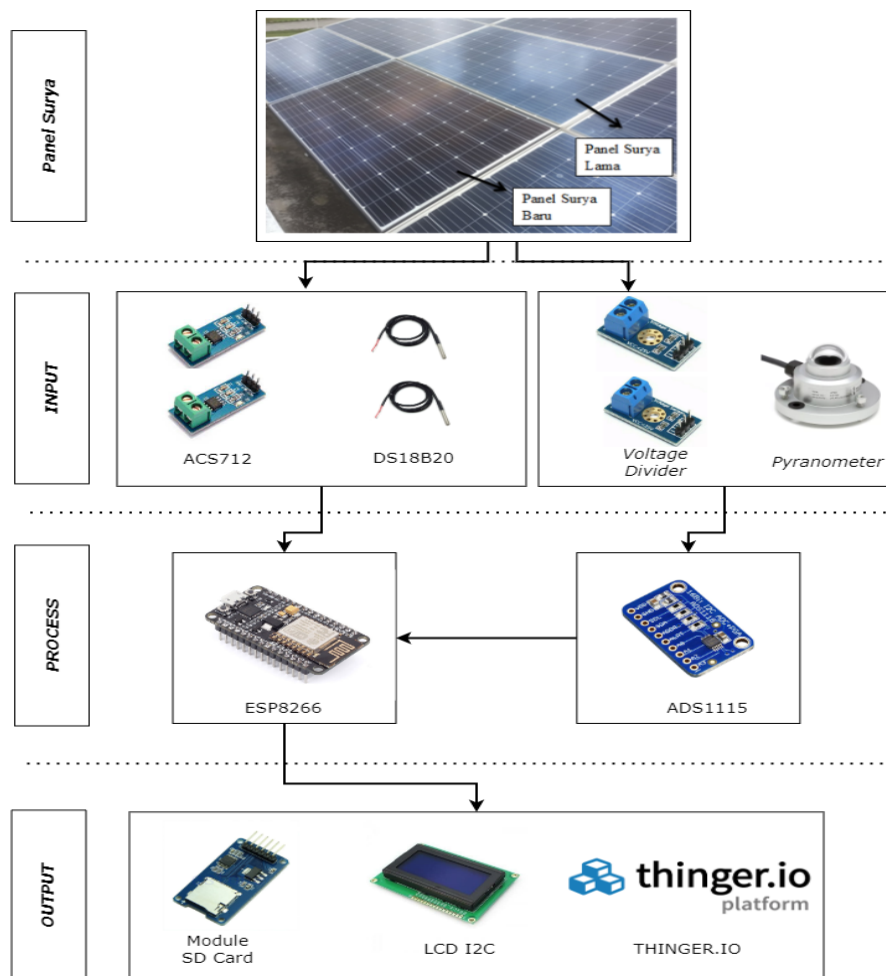
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian dilakukan dengan tujuan untuk memastikan sistem dapat berjalan sesuai dengan apa yang direncanakan. Perancangan penelitian meliputi perangkat keras dan perangkat lunak.

3.1.1. Diagram Blok Sistem Penelitian

Diagram blok sistem penelitian dibutuhkan untuk mendapatkan pemodelan alat yang akan dibangun memiliki satu kesatuan yang saling terhubung menjadi Proses kerja dari sistem penelitian. Diagram blok sistem penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Penelitian

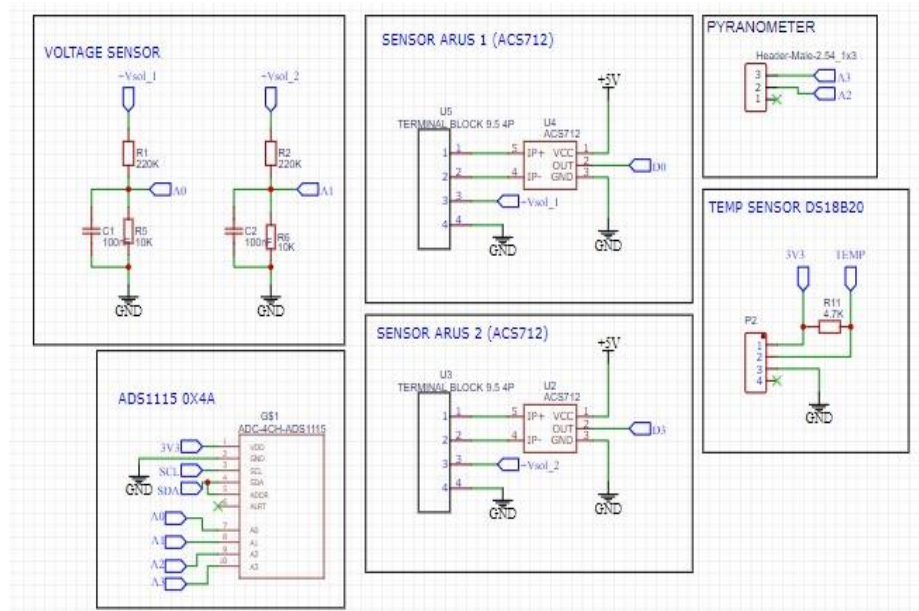
Gambar 3.1 merupakan diagram blok sistem penelitian berbasis IoT terdiri dari beberapa blok rangkaian dari panel surya, *input*, proses dan *output*. Rangkaian sistem penelitian terdiri dari panel surya lama dan panel surya baru yang dihubungkan dengan beberapa komponen yaitu sensor arus (ACS712), *voltage divider* sebagai sensor tegangan, DS18B20 sebagai sensor suhu, *pyranometer* sebagai sensor radiasi matahari, ADS115, mikrokontroler ESP8266, SD card, dan LCD 20x4 12C serta *platform* Thingier.Io sebagai sistem pemanantaun *output* panel surya yang terhubung dengan mikrokontroler ESP8266 melalui jaringan internet.

3.2. Perancangan Sistem mikrokontroler

Perancangan sistem mikrokontroler menggunakan beberapa komponen sensor menjadi suatu sistem, meliputi perancangan rangkain *input*, dan rangkain *output*.

3.2.1 Rangkain *Input* sistem mikrokontroler

Rangkain *input* sistem mikrokontroler tersusun dari beberapa sensor yang terhubung ke mikrokontroler. Lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.2.



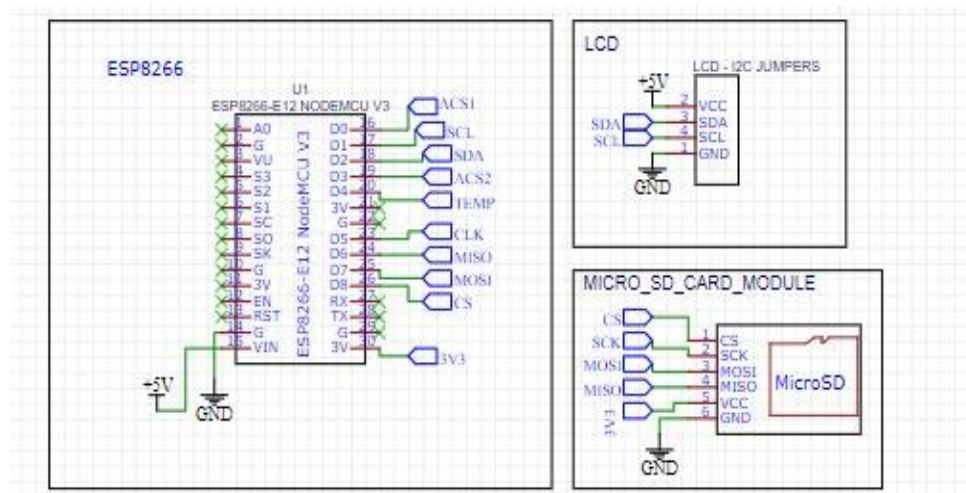
Gambar 3.2 Rangkaian *Input* Mikrokontroler

Gambar 3.2 merupakan rangkaian *input* mikrokontroler yang terdiri dari dua sensor arus (ACS712), dua sensor pembaca tegangan (*voltage divider*), dua sensor

suhu (DS18B20), dan sensor radiasi matahari (*Pyranometer*) yang dihubungkan melalui *pin* analog ADS115 yang berfungsi untuk pembacaan nilai dengan rentang terendah pada sensor serta menambahkan *pin* analog.

3.2.2 Rangkaian *Output* Sistem Miktokontroler

Rangkain *output* mikrokontroler terdiri dari komponen *liquid crystal display* (LCD) dan modul *SD card*. LCD I2C digunakan untuk menampilkan hasil dari pembacaan sensor dan modul *SD card* digunakan untuk menyimpan data dari pembacaan sensor. Rangkaian *output* sistem mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 3.3.

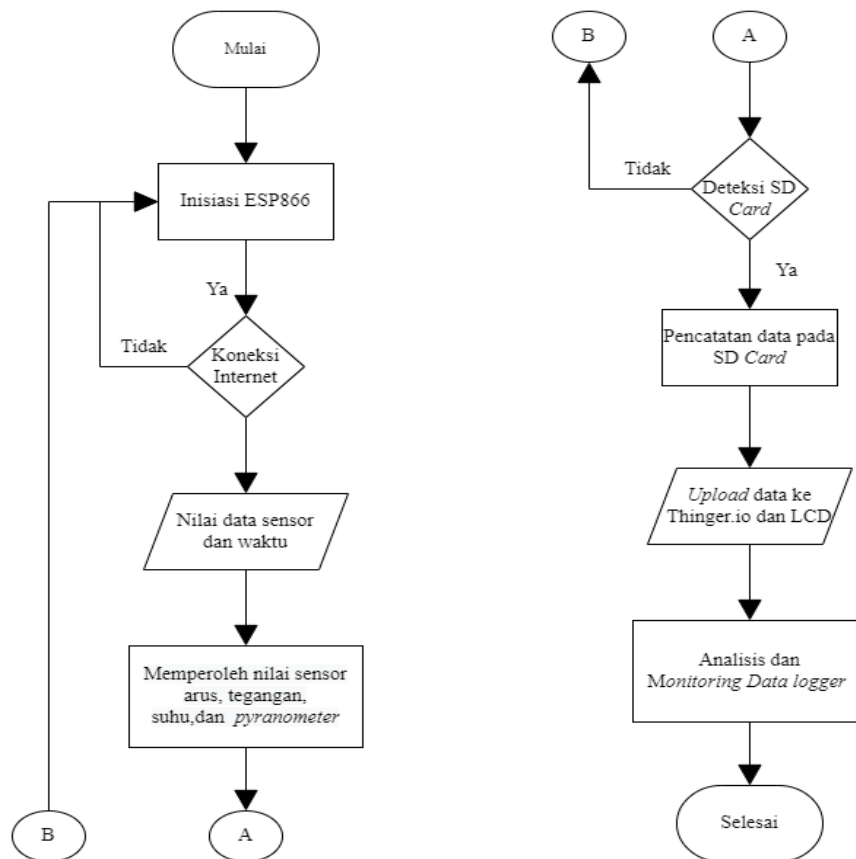


Gambar 3.3 Rangkaian *Output* Data Logger

Berdasarkan Gambar 3.3 terdapat LCD dan *SD card* yang berfungsi sebagai alat untuk menampilkan dan menyimpan data dari *input data* mikrokontroler. LCD terhubung dengan ESP8266 melalui komunikasi I2C yang terhubung pada *pin* *Serial Data* (SDA) dan *pin* *Serial Clok* (SDL) sedangkan *SD card* terhubung melalui jalur *Master In Slave Out* (MISO) dan *Master Out Slave In* (MOSI). ESP8266 sebagai mikrokontroler yang terhubung melalui jaringan internet dapat mengirim data dari *input* mikrokontroler ke *platform* Thingier.io untuk menampilkan data secara *real time*.

3.2.3 Flowchart Sistem Mikrokontroler

Flowchart sistem merupakan tahap penting untuk memastikan sistem berjalan dengan baik dan sanggup berjalan dengan maksimal dan optimal. *Flowchart* sistem dibuat untuk mempermudah dalam perancangan sistem penelitian. Berikut *flowchart* sistem yang digunakan seperti pada Gambar 3.4.



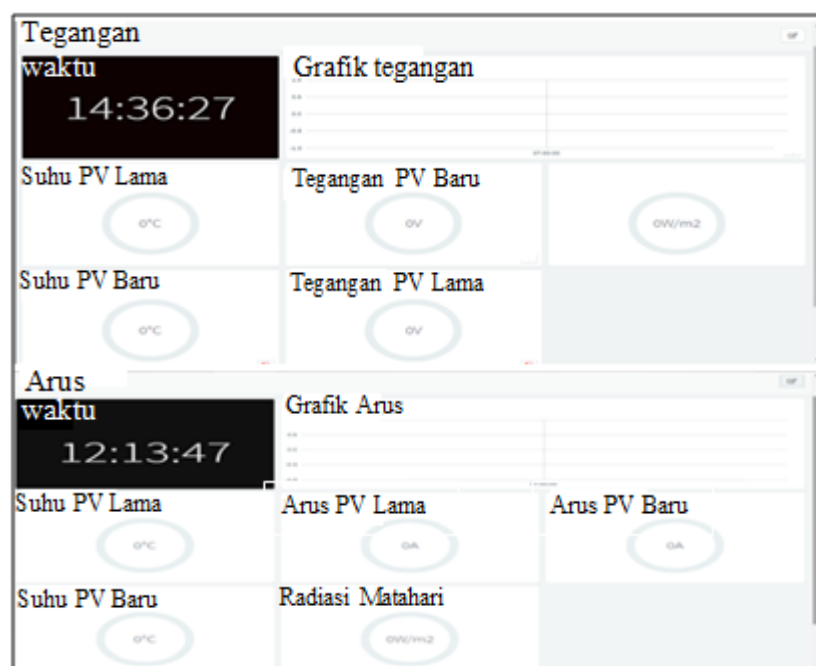
Gambar 3.4 *Flowchart* Sistem Mikrokontroler

Gambar 3.4 merupakan *flowchart* sistem mikrokontroler dari penelitian ini, berikut penjelasan dari *flowchart* sistem di atas. Pertama, sistem dimulai dengan menginisiasi ESP8266, kemudian dihubungkan dengan jaringan internet sehingga terhubung dengan *platform* Thinger.io dan sinkronisasi waktu NTP, berikutnya sistem memerintahkan untuk membaca sensor yang terkoneksi pada sistem, diantaranya sensor arus, sensor tegangan, sensor suhu, sensor radiasi matahari, dan waktu. Sistem mendeteksi SD card, jika SD card tidak terdeteksi

sistem akan kembali menginisiasikan ES8266, dan jika SD *card* terdeteksi maka data akan disimpan dan ditampilkan pada LCD dan *dashboard* Thinger.io.

3.3. Perancangan Sistem Pemantauan Penelitian

Perancangan sistem pemantauan penelitian ini menggunakan perangkat lunak yaitu *platform* Thinger.io. Perangkat lunak Thinger.io digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor dari keluaran panel surya secara *real time*. Perancangan sistem pemantauan pada *platform* Thinger.io dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Sistem Pemantaun pada *Platform* Thinger.Io

Gambar 3.5 merupakan tampilan dari *dashboard platform* Thinger.io yang telah didesain untuk menampilkan parameter yang diamati pada panel surya dalam jangka waktu 10 jam. *Platform* Thinger.io ini dapat dihubungkan dengan mikrokontroler melalui jaringan internet dengan memasukkan *device id*, *device credential* dan *username* pada kodingan mikrokontroler, setelah terhubung dengan mikrokontroler *Platform* Thinger.io dapat mencatat data yang dihasilkan rangkain *input* mikrokontroler secara otomatis dan *realtime* dalam jarak dekat maupun jarak jauh.

3.4. Spesifikasi *Pyranometer*

Pemantauan performa panel surya penting untuk mengetahui jumlah radiasi matahari yang tersedia pada waktu lokasi tertentu. Salah satu alat yang digunakan untuk mengukur radiasi matahari yaitu *pyranometer*. Spesifikasi *pyranometer* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi *Pyranometer*

Spesifikasi	<i>Pyranometer</i>
Model	MS – 601
<i>Sensitivity</i>	7,01 mV/Wm ²
<i>Spectral Response</i>	305-2800 nm
<i>Serial no</i>	S07109.40
<i>Weight</i>	770g
<i>Made in</i>	Japan

Tabel 3.1 merupakan spesifikasi *pyranometer* yang digunakan pada penelitian ini, *pyranometer* yang digunakan pada penelitian ini berjenis *thermopile pyranometer* yang dapat mengukur radiasi matahari dengan respon 305-2800 nm. *Pyranometer* jenis ini menggunakan *dome* (kubah kaca) dengan 180 bidang pandang. *Pyranometer* digunakan untuk tujuan menentukan seberapa efisien panel surya mengubah energi matahari menjadi energi listrik.

3.5. Spesifikasi Panel Surya

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya berjenis *monocrystalline* dengan model yang berbeda yaitu model ICA310-60M kapasitas daya maksimal sebesar 310 Wp yang telah mengalami *deterioration* dan model CS-315B61 kapasitas daya maksimal sebesar 315 Wp panel surya yang baru digunakan. Dua jenis panel surya yang digunakan akan dibandingkan dengan spesifikasi dari dua panel surya tersebut. Spesifikasi lebih mendetail dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	<i>Monocrystalline</i> Baru	<i>Monocrystalline</i> lama
Model	CS-315B61	ICA310-60M
Luas Modul (m ²)	1,64	1,62
Berat (Kg)	16,2	19
<i>P_{max}</i> (W)	315	310
<i>V_{mp}</i> (V)	33,4	33,1
<i>I_{mp}</i> (A)	9,45	9,38
<i>V_{oc}</i> (V)	40,7	40,4
<i>I_{sc}</i> (A)	10,02	9,95

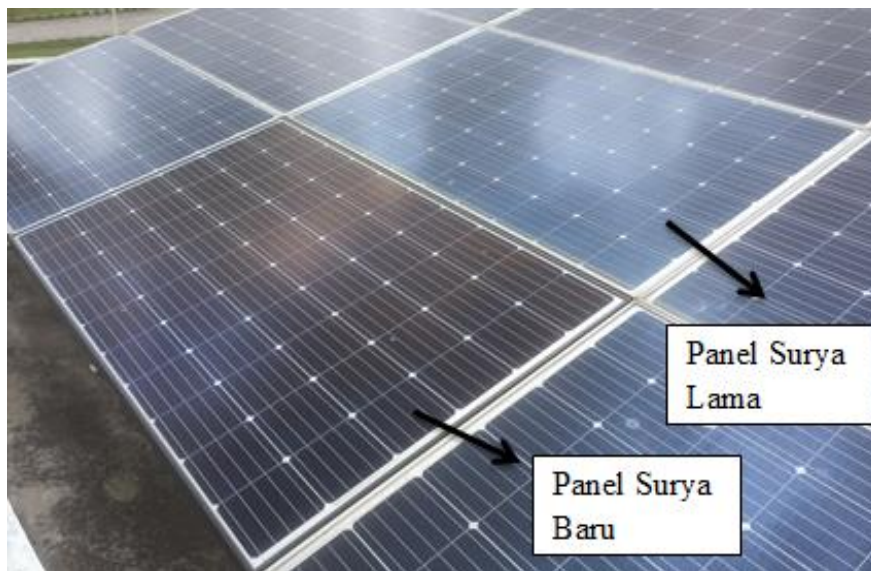
Tabel 3.2 merupakan spesifikasi panel surya pada kondisi STC yang sudah ditentukan yaitu pada radiasi matahari 1000 W/m² dan suhu 25°C. Panel surya ini yang akan digunakan pada penelitian, panel surya model ICA310 merupakan panel surya yang digunakan lebih dari 7 tahun. Penelitian ini membandingkan arus, tegangan, daya *output*, serta performa rasio yang dihasilkan panel surya lama dan panel surya baru dengan spesifikasi panel surya pada Tabel 3.2 di kondisi cuaca kota Cilegon. Performa rasio digunakan untuk mengetahui performa panel surya yang telah beroperasi dalam jangka waktu yang lama.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

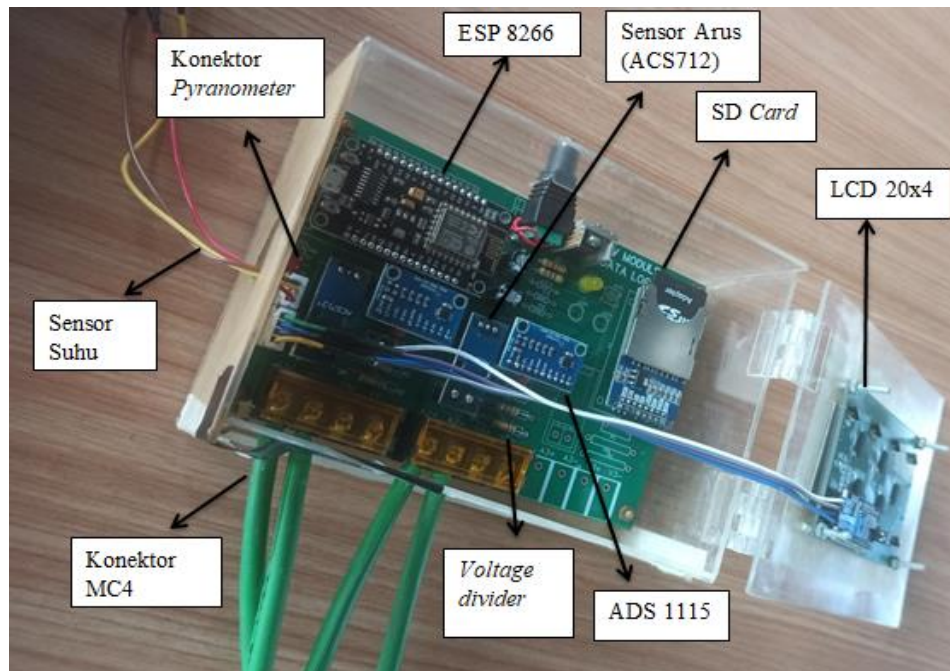
4.1. Hasil Perancangan Alat

Penelitian ini membahas tentang pengaruh perbedaan radiasi matahari terhadap *deterioration performance photovoltaic* berbasis IoT menggunakan panel surya *monocrystalline* yang baru digunakan dan panel surya *monocrystalline* yang sudah digunakan dalam jangka waktu yang lama. Hasil dan perancangan sistem penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1



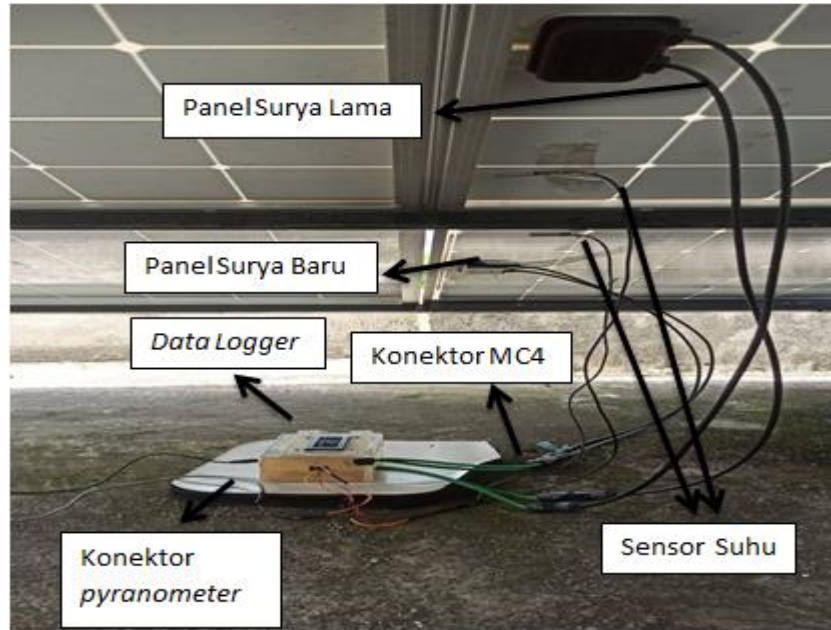
Gambar 4.1 Panel Surya Lama dan Panel Surya Baru

Gambar 4.1 merupakan jenis panel surya yang akan digunakan pada penelitian ini, dimana panel surya bagian atas merupakan panel surya yang telah digunakan dalam jangka waktu kurang lebih 7 tahun dan panel surya bagian bawah merupakan panel surya yang baru digunakan. Berikut hasil perancangan *data logger* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



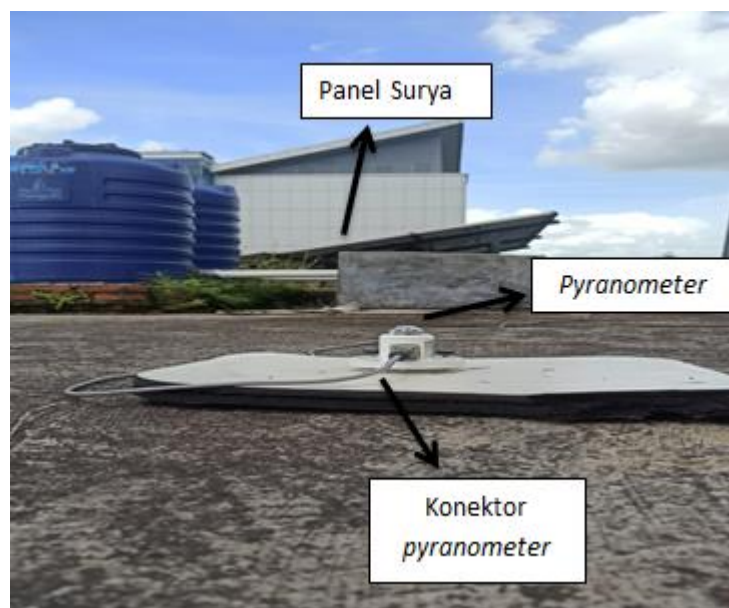
Gambar 4.2 *Data Logger*

Gambar 4.2 merupakan hasil dan perancangan dari *data logger*. *Data logger* dipasangkan pada *box* yang terbuat dari bahan akrilik dengan ukuran panjang 15 cm dan lebar 10 cm. *Box* tersebut berisi komponen komponen pendukung sistem *data logger* seperti mikrokontroler ESP8266, sensor ACS712, sensor *voltage divider*, sensor DS18B20, ADS1115, LCD 20x4 dan SD card. Komponen dari sistem *data logger* ini dirancang menggunakan *software* easyEDA dan mengaplikasikan rangkain tersebut pada *Printed Circuit Board* (PCB). Alat ini juga terhubung dengan panel surya yang akan diujikan performanya dengan menggunakan kabel konekor untuk menghubungkan panel surya dengan sensor arus dan sensor tegangan. Berikut gambar pemasangan alat pada panel surya yang akan diuji dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pemasangan *Data Logger* ke Panel Surya

Berdasarkan Gambar 4.3 alat sistem *data logger* diletakan pada bagian bawah panel surya yang dihubungkan dengan konektor MC4. *Box data logger* di letakan pada potongan galon agar terihindar dari genangan air ketika hujan. Pemasangan sensor *pyranometer* harus sesuai dengan pergerakan matahari dimana sensor harus menghadap ke arah utara dan sejajar dengan panel surya yang akan diuji. Pemasangan *pyranometer* dapat dilihat pada gambar 4.4.

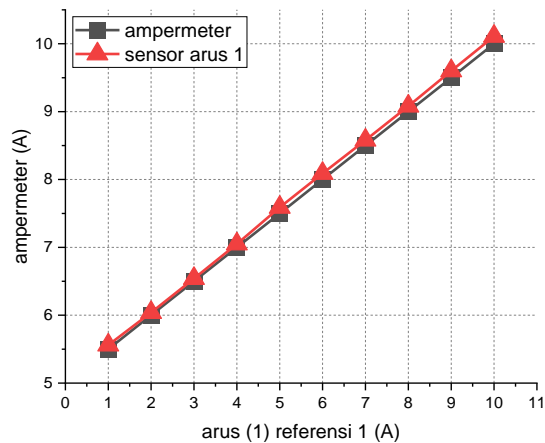


Gambar 4.4 *Pyranometer*

Gambar 4.4 menunjukkan pelatakan *pyranometer* pada penelitian ini. *Pyranometer* diletakan berjauhan dengan *data logger* sehingga terhindar dari *shading* dari benda benda di sekitarnya.

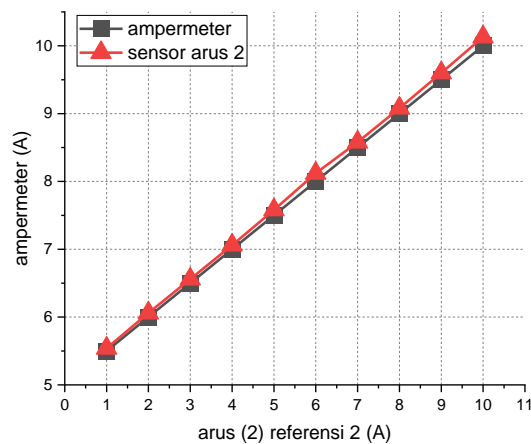
4.2. Pengujian Kalibrasi Sensor Arus

Pengujian kalibrasi sensor arus dilakukan untuk mencapai keakuratan pembacaan nilai arus yang dihasilkan sensor dan alat ukur menggunakan sumber arus dari *power supply*. Sensor ACS712 yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 2 dengan pembacaan maksimal 20 A. Hasil pengujian kalibrasi sensor arus 1 dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Pengujian Kalibrasi Sensor Arus 1

Gambar 4.5 merupakan perbandingan sensor arus yang pertama dengan alat ukur ampermeter dimana nilai rata-rata persentase *error* sama dengan 0,93%. Nilai persentase *error* tertinggi diperoleh pada pengukuran 7,5 A dengan persentase *error* sebesar 1,2%. Hasil pengujian kalibrasi sensor arus ACS712 yang kedua dapat dilihat pada Gambar 4.6.

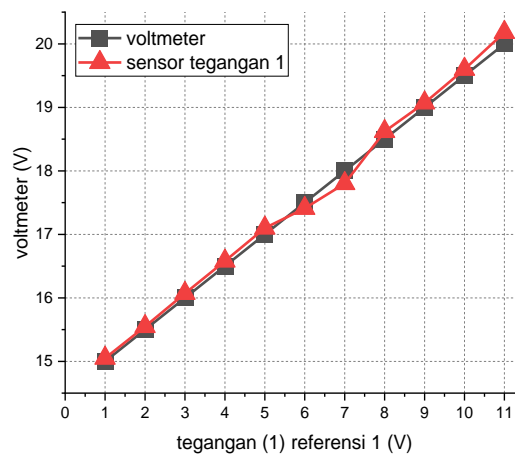


Gambar 4.6 Pengujian Kalibrasi Sensor Arus 2

Gambar 4.6 merupakan perbandingan antara sensor arus kedua dengan alat ukur ampermeter dimana nilai rata-rata persentase *error* sama dengan 1,01%. Nilai persentase *error* tertinggi pada pengukuran 8 A dengan nilai persentase *error* sebesar 1,5%. Berdasarkan hasil pengujian sensor arus satu dan sensor arus dua menggunakan sensor ACS712 dan alat ukur, didapatkan hasil persentase *error* ACS712 yang rendah sehingga akurasi dari sensor ACS712 mendekati ampermeter dan dapat digunakan sebagai alat untuk mengukur arus yang dihasilkan oleh panel surya.

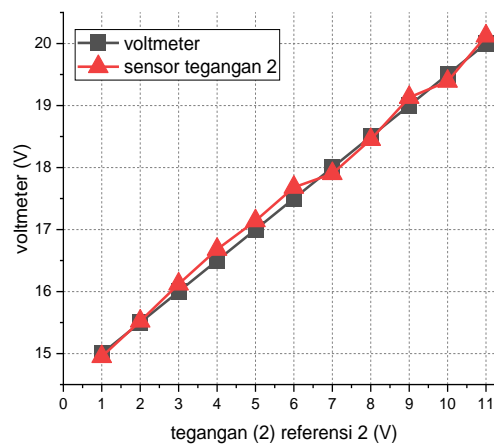
4.3. Pengujian Kalibrasi Sensor Tegangan

Pengujian kalibrasi sensor tegangan bertujuan untuk mengetahui keakuratan dari pembacaan sensor dengan pembacaan alat ukur. Sensor yang digunakan untuk mengukur tegangan pada penelitian ini menggunakan rangkain *voltage divider*. Sensor tegangan yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 2 buah yang dihubungkan dengan ADS1115. Pengujian ini dilakukan dengan *power supply* sebagai sumber tegangan yang diukur dari tegangan 15 V sampai dengan 20 V. Hasil pengujian kalibrasi sensor tegangan satu dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pengujian Kalibrasi Sesor Tegangan 1

Gambar 4.7 merupakan hasil pengujian kalibrasi sensor tegangan satu dengan pembanding alat ukur voltmeter didapatkan nilai rata-rata persentase *error* sebesar 0.63%. Nilai persentase *error* tertinggi diperoleh pada pengukuran 18 V dengan nilai persentase *error* 1,1%. Hasil pengujian kalibrasi sensor tegangan dua dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini.



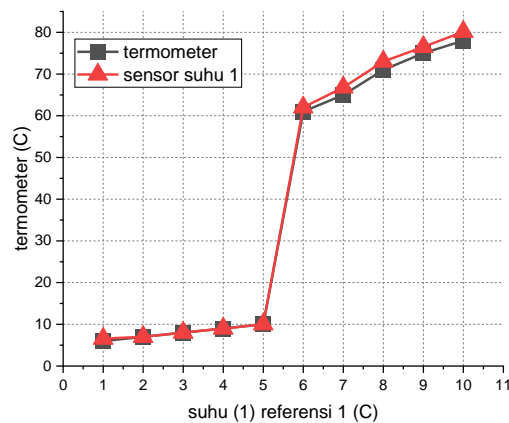
Gambar 4.8 Pengujian Sensor Tegangan 2

Berdasarkan Gambar 4.8 hasil dari pengujian sensor tegangan berbanding alat ukur voltmeter memiliki persentase *error* sebesar 0,66%. Persentase *error* tertinggi pada pengujian sebesar 1,02% pada saat nilai tegangan yang dimasukkan sebesar 17,5 V dari *power supply*. Berdasarkan hasil pengujian dari sensor tegangan satu dan dua didapatkan persentase *error* yang kecil dengan akurasi

yang mendekati alat ukur, sehingga sensor tegangan yang diujikan dapat digunakan untuk mengukur tegangan *output* dari panel surya.

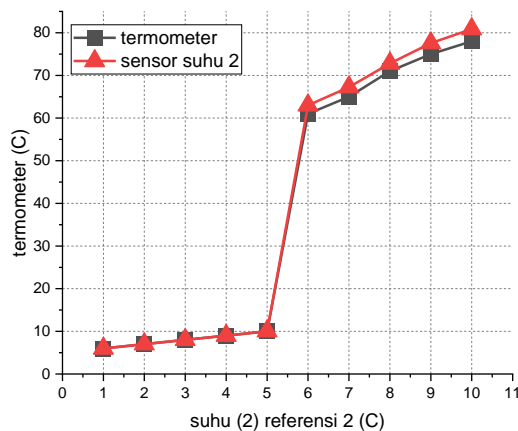
4.4. Pengujian Kalibrasi Sensor Suhu

Pengujian kalibrasi sensor suhu bertujuan untuk mencapai akurasi nilai dari sensor dan alat ukur. Pengujian kalibrasi sensor menggunakan air dingin dan air panas yang disimpan dalam wadah kemudian data diambil sebanyak 10 kali. Hasil pengujian Kalibrasi sensor suhu dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pengujian Kalibrasi Sensor Suhu 1

Gambar 4.9 merupakan hasil pengujian kalibrasi sensor suhu satu. Hasil pembacaan sensor suhu satu didapat bahwa nilai rata-rata persentase *error* sebesar 1,208%. Nilai tertinggi persentase *error* 2,81% pada pengujian suhu 71°C. Pengujian kalibrasi sensor suhu dua dapat dilihat pada Gambar 4.10

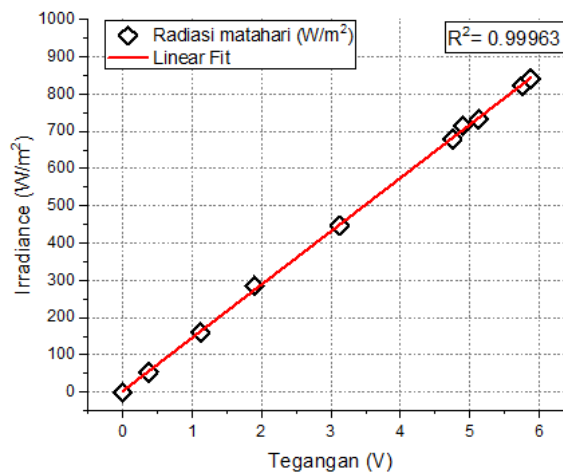


Gambar 4.10 Pengujian Kalibrasi Sensor Suhu 2

Berdasarkan Gambar 4.10 hasil pengujian sensor suhu dua menunjukkan bahwa pembacaan sensor suhu dengan alat ukur termometer tidak terlalu besar perbedaanya. Nilai rata-rata persentase *error* yang didapatkan dari pengujian sensor suhu dua sebesar 1,67%. Nilai *error* tertinggi didapat saat pengukuran 78°C sebesar 3,67%. Berdasarkan hasil dari masing-masing pengujian sensor suhu dengan nilai persentase *error* yang dihasilkan memiliki akurasi yang baik maka sensor suhu DS18B20 dapat digunakan sebagai alat pengambil nilai suhu pada panel surya.

4.5. Pengujian Kalibrasi *Pyranometer*

Pengujian kalibrasi *pyranometer* dilakukan untuk mengetahui pembacaan nilai radiasi matahari dari nilai tegangan yang dikeluarkan sensor dengan pembacaan dari *analog to digital converter* (ADC). Pengujian kalibrasi *pyranometer* dapat dilakukan dengan memanfaatkan persamaan garis hasil perbandingan antara tegangan yang melalui sensor dan data ADC yang terbaca. Pengujian kalibrasi *pyranometer* dilakukan siang hari pada kondisi cuaca cerah. Berikut bentuk grafik pengeujian kalibrasi *pyranometer* pada Gambar 4.11 di bawah ini.



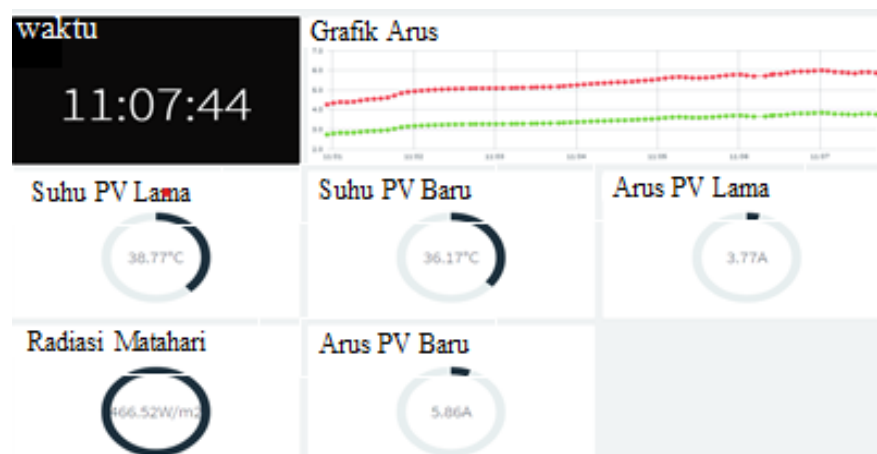
Gambar 4.11 Pengujian Kalibrasi *Pyranometer*

Gambar 4.11 merupakan grafik hasil dari pengujian kalibrasi *pyranometer*. Tegangan yang dihasilkan sensor *pyranometer* memiliki sensitivitas 7 mV/kWm² sehingga dibutuhkan pengaturan rentang modul ADC menjadi $\pm 0,256$ V. Tegangan

yang melalui sensor dengan pembacaan ADC menunjukkan grafik linearitas, maka dapat dikatakan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik.

4.6. Pengujian Visualisasi Thinger.io

Tujuan dari pengujian visualisasi Thinger.io pada penelitian ini adalah untuk mengetahui sistem pemantauan data di *platform* Thinger.io dapat berfungsi dengan baik dan bekerja secara *real time*. Pengujian *platform* Thinger.io dengan cara menghubungkan mikrokontroler ESP8266 dengan *platform* Thinger.io melalui jaringan internet dengan memasukkan *device id*, *device credential* dan *username* pada kodingan mikrokontroler, setelah terhubung dengan mikrokontroler *Platform* Thinger.io dapat mencatat data yang dihasilkan rangkaian *input* mikrokontroler secara otomatis dan *realtime*. Hasil pengujian *dashboard* dari *platform* Thinger.io dapat dilihat pada Gambar 4.12.

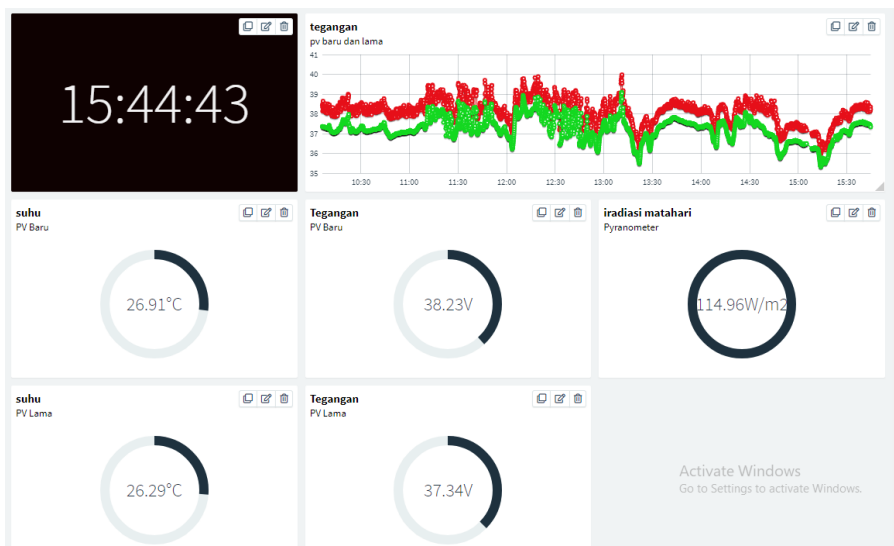


Gambar 4.12 Pengujian Visualisasi Thinger.io

Berdasarkan Gambar 4.12 *platform* Thinger.io berhasil menampilkan data yang telah dikirimkan oleh mikrokontroler ESP8266 dengan baik. Tampilan dari *dashboard platform* Thinger.io yang telah didesain untuk menampilkan parameter yang diamati pada panel surya dalam jangka waktu 10 jam. Hasil dari pengujian juga didapat bahwa sistem pemantauan pada *platform* Thinger.io selalu berubah dalam satuan waktu, yang menandakan perubahan nilai yang didapatkan dilakukan secara *real time*. Berdasarkan hasil pengujian sistem pemantauan pada *platform* Thinger.io dimana dapat berjalan dengan baik, maka *platform* Thinger.io dapat digunakan sebagai alat pemantauan pada penelitian ini.

4.7. Hasil Pengujian *Deterioration Performance* Panel Surya Lama dan Baru

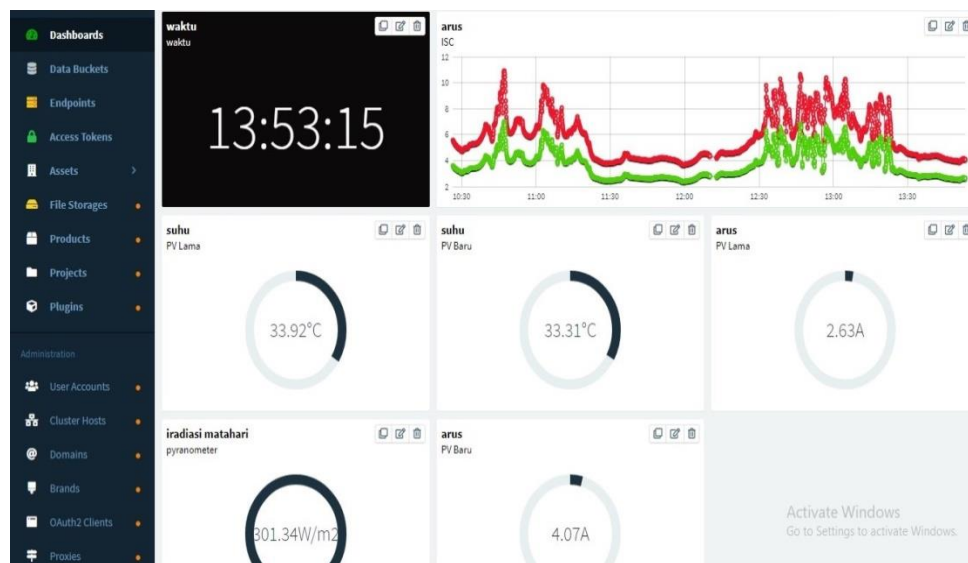
Pengujian *deterioration performance* menggunakan dua panel surya *monocrystalline* dimana salah satu panelnya telah beroperasi dalam jangka waktu yang lama. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh radiasi matahari terhadap *deterioration performance* yang dihasilkan dua panel surya yang digunakan. Pengujian ini menggunakan dua panel surya untuk mengetahui *performance* yang dihasilkan. Pengujian ini menggunakan sistem *data logger* dan sistem pemantauan di platform Thinger.io. Sistem *data logger* pada pengujian ini menjalankan fungsinya secara keseluruhan mulai dari pembacaan sensor, perekaman data, sinkronisasi waktu menggunakan NTP, dan menampilkan grafik pada platform Thinger.io. Sistem *data logger* dihubungkan dengan satu modul surya *monocrystalline* lama dan satu modul surya *monocrystalline* baru yang terhubung juga dengan platform Thinger.io menggunakan jaringan internet untuk menampilkan grafik dari hasil pengukuran dua panel surya tersebut. Berikut tampilan sistem pemantauan tegangan pada platform Thinger.io dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4.13 Sistem Pemantauan Tegangan Panel Surya

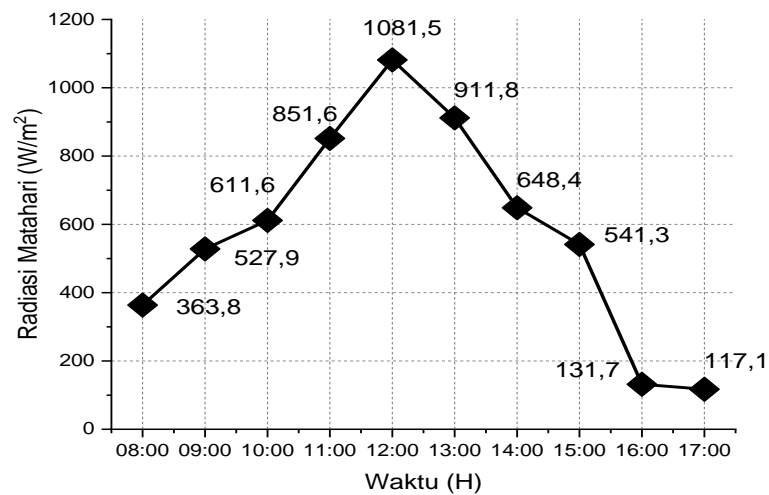
Gambar 4.13 merupakan tampilan sistem pemantauan performa panel surya lama dan panel surya baru, sistem pemantauan ini terdapat beberapa

parameter yang ditampilkan seperti tegangan, suhu, dan radiasi matahari. Berikut sistem pemantauan arus pada *platform* Thinger.io dapat dilihat pada gambar 4.14.



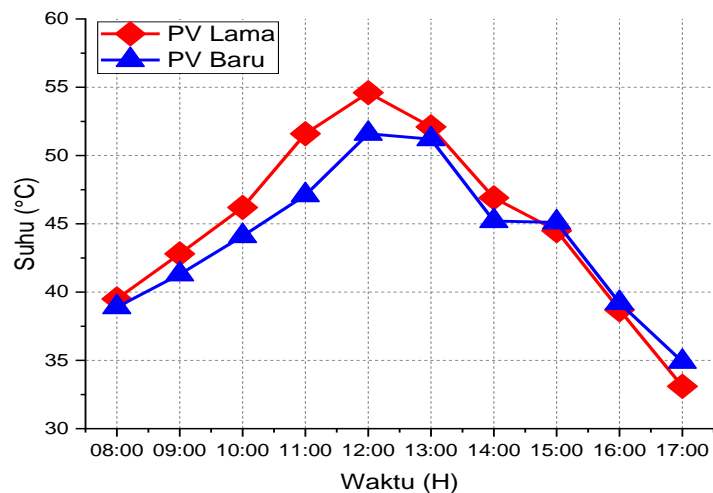
Gambar 4.14 Sistem Pemantauan Arus Panel Surya

Gambar 4.14 merupakan tampilan sistem pemantauan performa panel surya lama dan panel surya baru. Sistem pemantauan ini terdapat beberapa parameter yaitu arus, suhu, dan radiasi matahari serta waktu. Pemantauan dilakukan selama 10 jam dimulai dari jam 08:00 WIB sampai jam 17:00 WIB. Penelitian ini dilakukan selama tiga hari pada kondisi cuaca yang berbeda beda, dimana pada hari ke-1 kondisi cerah berawan, hari ke-2 kondisi cuaca berawan, dan pada hari ke-3 kondisi cuaca hujan berawan. Data yang telah direkam pada percobaan selama tiga hari akan diolah dan dianalisis sehingga data yang didapat sesuai dengan tujuan penelitian. Berikut hasil pengujian radiasi matahari pada hari-1 yang telah diolah menjadi data perjam dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Radiasi Matahari Hari ke-1

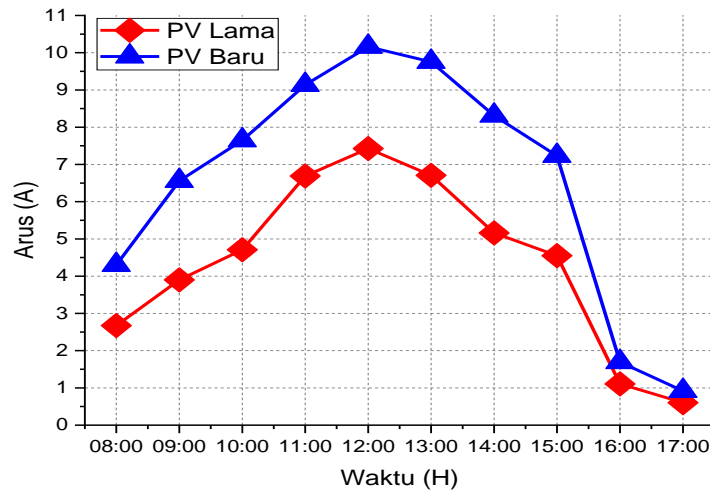
Gambar 4.15 merupakan grafik radiasi matahari pada hari ke-1 pada kondisi cerah berawan yang dilakukan selama 10 jam mulai dari jam 08:00 sampai dengan jam 17:00. Nilai radiasi matahari tertinggi pada pukul 12:00 dengan nilai radiasi matahari sebesar 1081,5 W/m². Suhu permukaan dua jenis panel surya dapat dilihat pada Gambar 4.16 dibawah ini.



Gambar 4.16 Suhu Panel Surya hari ke-1

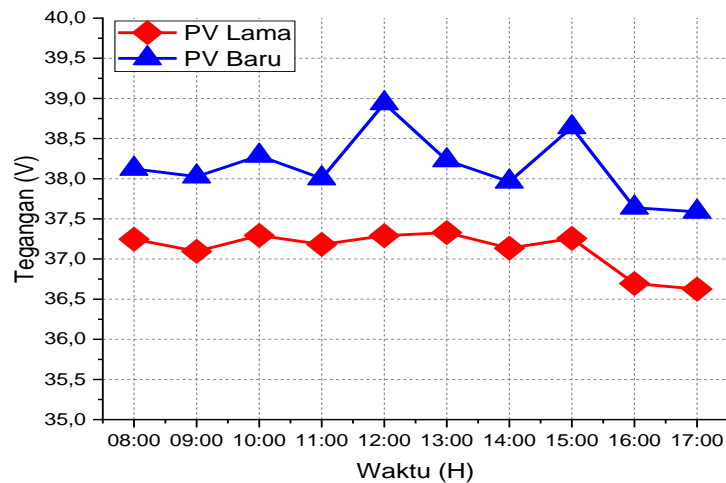
Gambar 4.16 merupakan suhu permukaan panel surya baru dan panel surya lama pada kondisi cuaca cerah berawan. Berdasarkan Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa panel surya lama memiliki suhu tertinggi pada jam 12:00 sebesar 54,6°C sedangkan pada panel surya baru sebesar 51,6°C. Hal ini berbanding lurus

dengan nilai radiasi matahari yang diterima pada waktu yang sama. Terdapat 3°C selisih antara panel surya lama dan panel surya baru dimana panel surya lama memiliki suhu yang lebih panas dibandingkan suhu panel surya baru. Arus yang dihasilkan panel surya pada hari ke-1 dapat dilihat pada Gambar 4.17.



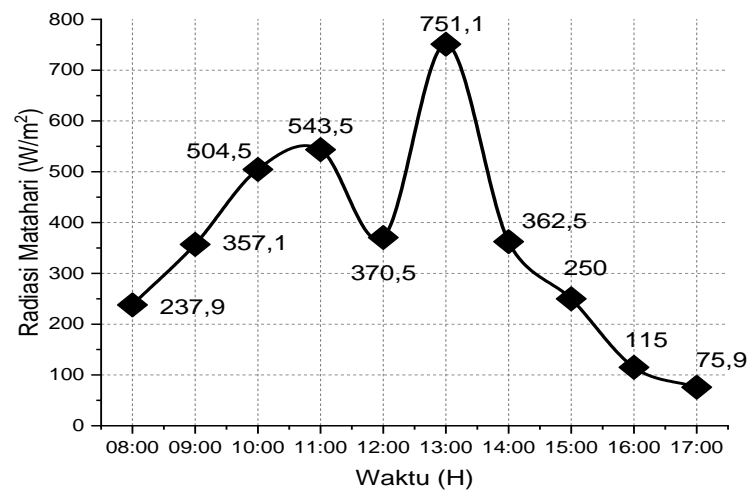
Gambar 4.17 Arus Panel Surya Hari ke-1

Gambar 4.17 menunjukkan nilai pengukuran arus keluaran dari dua panel surya yang digunakan. Dapat dilihat nilai radiasi matahari dan suhu berbanding lurus dengan nilai arus yang dihasilkan oleh panel surya. Nilai arus tertinggi yang dihasilkan panel surya lama sebesar $7,436\text{ A}$ pada radiasi matahari $1081,5\text{ W/m}^2$. Sedangkan pada spesifikasi nilai arus yang dihasilkan panel surya lama sebesar $9,38\text{ A}$. Pada panel surya baru nilai arus tertinggi yang dihasilkan sebesar $10,01\text{ A}$. Sedangkan pada spesifikasi nilai arus yang dihasilkan panel surya baru sebesar $10,02\text{ A}$. Perbedaan nilai arus yang dihasilkan panel surya lama dipengaruhi oleh penggunaan panel surya dalam jangka waktu yang lama pada kondisi iklim yang selalu berubah-ubah tanpa adanya perawatan dan pemantauan. Perbedaan nilai arus juga disebabkan karena adanya debu dan kerusakan fisik pada panel surya sehingga radiasi matahari yang diterima tidak maksimal. Tegangan yang dihasilkan pada hari-1 dapat dilihat pada Gambar 4.18.



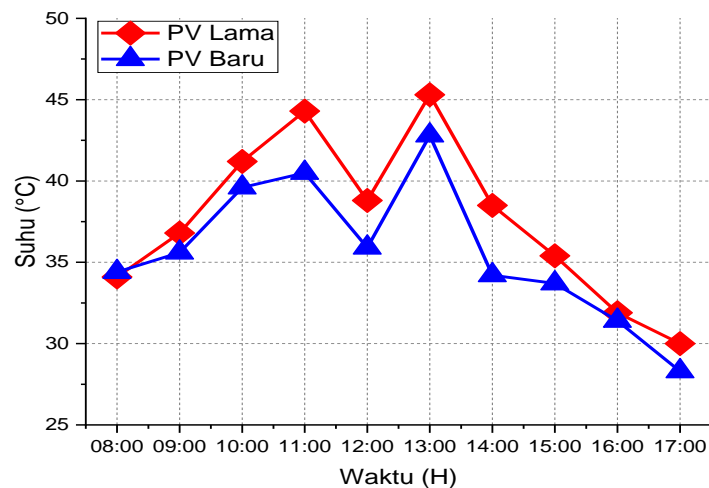
Gambar 4.18 Tegangan Panel Surya Hari-1

Gambar 4.18 merupakan tegangan yang dihasilkan oleh kedua panel surya pada kondisi cuaca cerah berawan. Pada radiasi matahari $1081,5 \text{ W/m}^2$ nilai tegangan yang dihasilkan panel surya lama sebesar $37,29 \text{ V}$ sedangkan pada spesifikasi panel surya lama sebesar $40,4 \text{ V}$. Perbedaan nilai tegangan yang dihasilkan panel surya lama disebabkan karena adanya pengaruh suhu terhadap nilai tegangan yang dihasilkan panel surya. Pada radiasi matahari $541,3 \text{ W/m}^2$ dengan suhu panel surya baru sebesar $44,5^\circ\text{C}$ menghasilkan tegangan sebesar $38,64 \text{ V}$, sedangkan pada radiasi matahari $851,6 \text{ W/m}^2$ dengan suhu panel surya baru sebesar $47,1^\circ\text{C}$ menghasilkan tegangan sebesar $38,003 \text{ V}$. Hasil membuktikan adanya pengaruh suhu panel surya terhadap nilai tegangan yang dihasilkan. Berikut data radiasi matahari hari ke-2 pada kondisi cuaca berawan dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Radiasi Matahari hari ke-2

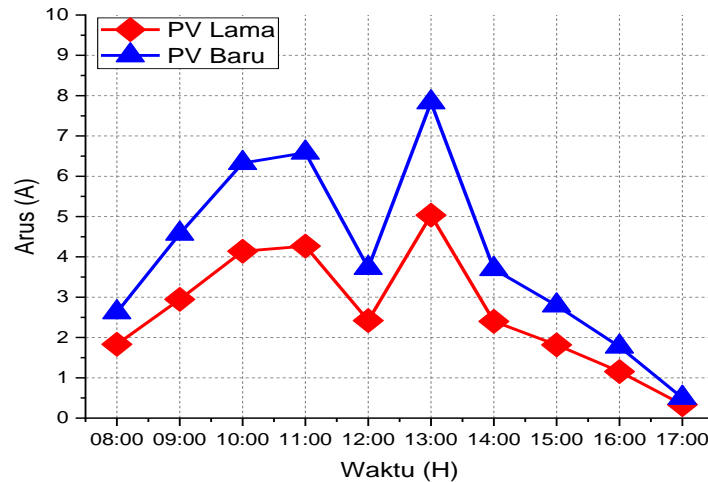
Gambar 4.19 merupakan grafik radiasi matahari pada hari ke-2 pada kondisi berawan yang diambil selama 10 jam mulai dari jam 08:00 sampai dengan jam 17:00. Nilai puncak radiasi matahari terjadi pada pukul 13:00 dengan nilai radiasi matahari sebesar 751,1 W/m². Suhu permukaan panel surya pada kondisi berawan dapat dilihat pada Gambar 4.20 di bawah ini.



Gambar 4.20 Suhu Panel Surya hari ke-2

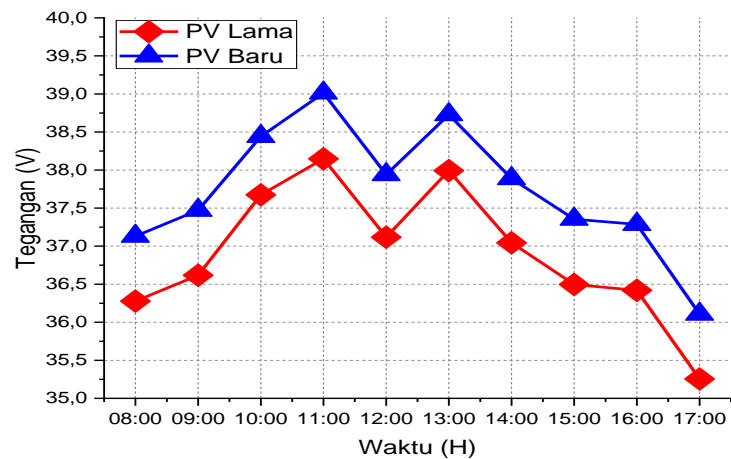
Gambar 4.20 merupakan suhu permukaan panel surya lama dan panel surya baru pada kondisi cuaca berawan. Berdasarkan gambar 4.20 dapat dilihat bahwa panel surya lama memiliki suhu tertinggi pada pada jam 13:00 sebesar 45,3°C sedangkan pada panel surya baru sebesar 42,8°C. Hal ini berbanding lurus

dengan nilai radiasi matahari yang diterima pada waktu yang sama. Terdapat $2,5^{\circ}\text{C}$ selisih antara panel surya lama dan baru dimana panel surya lama memiliki suhu yang lebih panas dibandingkan suhu panel surya baru. Arus yang dihasilkan pada hari ke-1 dapat dilihat pada Gambar 4.21.



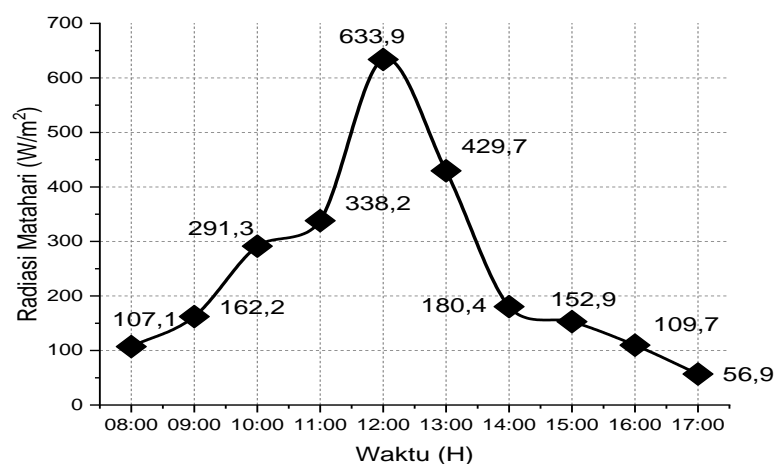
Gambar 4.21 Arus Panel Surya Hari ke-2

Gambar 4.21 merupakan nilai pengukuran arus keluaran dari dua panel surya yang digunakan pada hari ke-2. Dapat dilihat nilai radiasi matahari dan suhu berbanding lurus dengan nilai arus yang dihasilkan oleh panel surya. Adapun nilai arus tertinggi pada radiasi $751,1 \text{ W/m}^2$ dengan nilai arus $7,83 \text{ A}$ pada panel surya baru, sedangkan pada radiasi matahari yang sama panel surya lama menghasilkan nilai arus sebesar $5,03 \text{ A}$. Nilai arus yang dihasilkan panel surya lama dan baru mengalami penurunan karena nilai radiasi matahari pada hari ke-2 lebih kecil dibandingkan hari pertama sehingga nilai arus yang dihasilkan lebih kecil dari pada nilai arus hari pertama. Tegangan yang dihasilkan pada hari-2 dapat dilihat pada Gambar 4.22 di bawah ini.



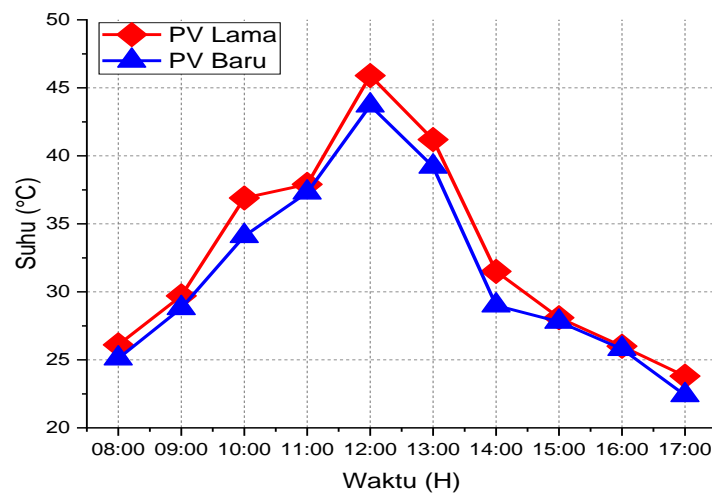
Gambar 4.22 Tegangan Panel Surya Hari ke-2

Gambar 4.22 merupakan perubahan nilai tegangan yang dihasilkan panel surya pada hari kedua. Adapun nilai tegangan puncak terjadi pada jam 11:00 ketika suhu permukaan panel $40,5^{\circ}\text{C}$ dengan nilai tegangan sebesar $39,01\text{ V}$ pada panel surya baru dan pada waktu yang sama ketika suhu permukaan panel $44,3^{\circ}\text{C}$ nilai tegangan yang dihasilkan oleh panel surya lama sebesar $38,14\text{ V}$. Nilai tegangan yang dihasilkan panel surya baru dan panel surya lama hari kedua lebih tinggi dibandingkan dengan nilai tegangan yang dihasilkan panel surya baru dan panel surya lama pada hari pertama. Hasil ini dipengaruhi oleh suhu permukaan panel surya baru dan panel surya lama hari kedua lebih kecil dibandingkan suhu permukaan panel surya baru dan panel surya lama pada hari pertama. Berikut data radiasi matahari hari-3 pada kondisi hujan berawan dapat dilihat pada Gambar 4.23.



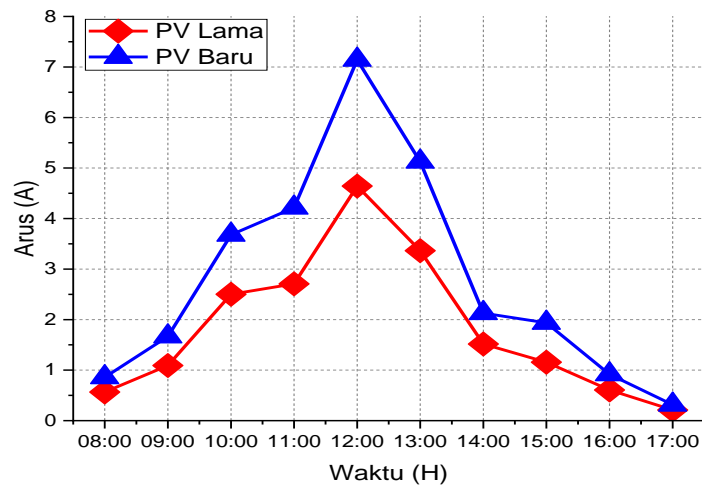
Gambar 4.23 Radiasi Matahari hari ke-3

Gambar 4.23 merupakan nilai perubahan radiasi matahari hari ke-3 dari jam 08:00 sampai dengan jam 18:00 pada kondisi hujan berawan. Nilai radiasi matahari tertinggi pada jam 12:00 dengan nilai radiasi matahari sebesar 633,9 W/m². Radiasi matahari mengalami penurunan pada jam 14:00 sampai dengan jam 17:00 yang disebabkan oleh hujan. Suhu permukaan panel surya pada kondisi hujan berawan dapat dilihat pada Gambar 4.24.



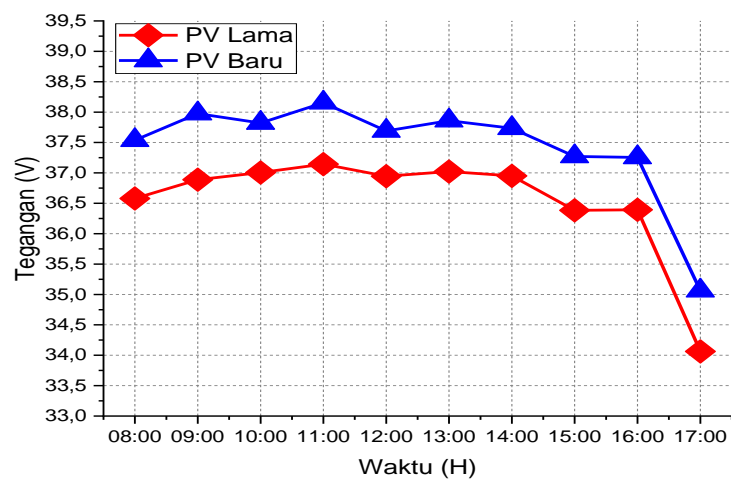
Gambar 4.24 Suhu Panel Surya hari ke-3

Gambar 4.24 merupakan suhu permukaan panel surya lama dan panel surya baru pada kondisi cuaca hujan berawan. Berdasarkan Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa nilai suhu permukaan panel surya pada hari ke-3 lebih kecil dibandingkan hari ke-2 dan hari ke-1, hal ini dipengaruhi oleh kondisi cuaca hujan berawan. Pada percobaan hari ke-3 panel surya lama memiliki suhu tertinggi pada jam 12:00 sebesar 45,9°C sedangkan pada panel surya baru sebesar 43,7°C. Hal ini berbanding lurus dengan nilai radiasi matahari yang diterima pada waktu yang sama. Terdapat 2,2°C selisih antara panel surya lama dan panel surya baru dimana panel surya lama memiliki suhu yang lebih panas dibandingkan suhu panel surya baru. Arus yang dihasilkan pada hari ke-1 dapat dilihat pada Gambar 4.25.



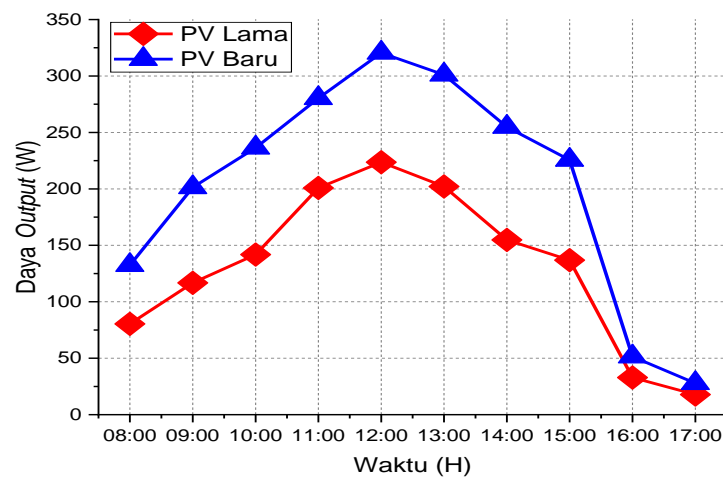
Gambar 4.25 Arus Panel Surya Hari ke-3

Berdasarkan Gambar 4.25 terlihat bahwa nilai arus yang dihasilkan dua panel surya berbanding lurus dengan radiasi matahari dan suhu yang diterima panel tersebut. Nilai arus tertinggi yang dihasilkan panel surya baru sebesar 7,1 A pada saat nilai radiasi matahari sebesar $633,9 \text{ W/m}^2$. Sedangkan pada kondisi radiasi matahari yang sama arus yang dihasilkan panel surya lama sebesar 4,6 A. Penurunan nilai arus yang dihasilkan panel surya lama dan panel surya baru pada hari ketiga disebabkan radiasi matahari yang diterima panel surya pada hari ketiga lebih kecil dibandingkan radiasi matahari yang diterima panel surya pada hari pertama dan hari kedua. Nilai tegangan yang dihasilkan pada hari ke-3 dapat dilihat pada Gambar 4.26 di bawah ini.



Gambar 4.26 Tegangan Panel Surya Hari ke-3

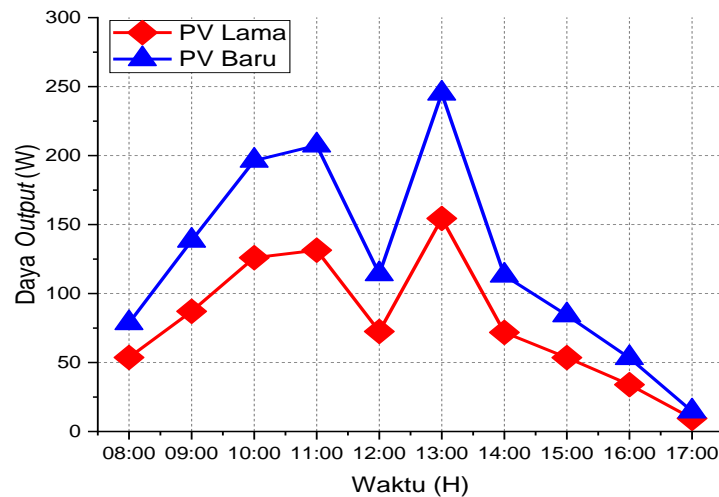
Gambar 4.26 merupakan nilai tegangan yang dihasilkan panel surya pada kondisi cuaca hujan berawan. Nilai tegangan puncak terjadi pada jam 11:00 ketika suhu permukaan panel $37,3^{\circ}\text{C}$ dengan nilai tegangan sebesar $38,15\text{ V}$ yang dihasilkan panel surya baru dan $37,14\text{ V}$ pada panel surya lama ketika suhu permukaan panel $37,9^{\circ}\text{C}$. Sedangkan ketika suhu panel surya baru pada titik puncak sebesar $43,7^{\circ}\text{C}$ nilai tegangan yang dihasilkan sebesar $37,69\text{ V}$ dan ketika suhu panel surya lama pada titik puncak sebesar $45,9^{\circ}\text{C}$ nilai tegangan yang dihasilkan sebesar $36,94\text{ V}$, hasil ini membuktikan suhu permukaan panel surya bisa mempengaruhi tegangan yang dihasilkan panel surya tersebut. Dari nilai arus dan tegangan yang dihasilkan panel surya lama dan panel surya baru dapat diperoleh daya *output* yang dihasilkan panel surya dengan menggunakan persamaan (2.2). Berikut daya *output* yang dihasilkan panel surya pada hari pertama dapat dilihat pada Gambar 4.27 di bawah ini.



Gambar 4.27 Daya Panel Surya Hari ke-1

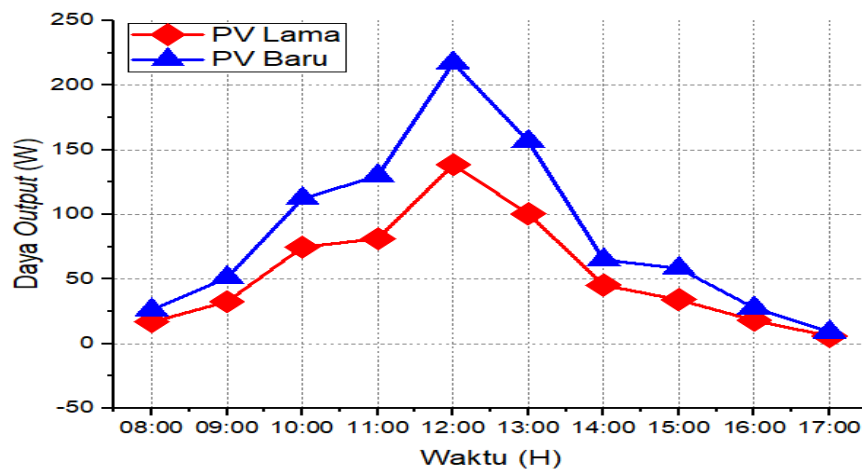
Gambar 4.27 merupakan daya *output* yang dihasilkan panel surya pada hari pertaman kondisi cerah berawan. Dapat dilihat nilai radiasi matahari berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan panel surya. Daya *output* tertinggi yang dihasilkan panel surya baru sebesar $311,43\text{ W}$ pada jam 12:00 dengan radiasi matahari sebesar $1081,5\text{ W/m}^2$, dan pada panel surya lama menghasilkan daya sebesar $223,61\text{ W}$. Terdapat perbedaan nilai daya yang dihasilkan panel surya baru sebesar $3,57\text{ W}$ sedangkan pada panel surya lama sebesar $86,39\text{ W}$ dibandingkan spesiikasi dari panel surya tersebut. Hal ini bisa terjadi kerana panel

surya lama mengalami penerunan arus dan tegangan yang dihasilkan yang menyebabkan daya yang dihasilkan mengalami penurunan. Perbedaan nilai daya yang dihasilkan juga disebabkan adanya pengaruh suhu permukaan panel surya dan perubahan radiasi matahari serta *deterioration* yang dialami panel surya lama. Daya *output* yang dihasilkan panel surya pada kondisi cuaca berawan dapat dilihat pada Gambar 4.28 di bawah ini.



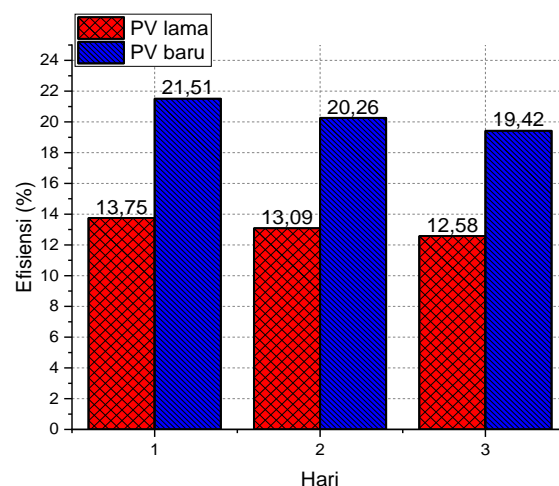
Gambar 4.28 Daya Panel Surya Hari ke-2

Gambar 4.28 menunjukkan daya *output* tertinggi pada jam 13:00 yang dihasilkan panel surya baru sebesar 244,99 W dan daya *output* tertinggi pada panel surya lama sebesar 154,40 W serta radiasi yang di terima masing-masing panel surya sebesar 751,1 W/m. Adanya perbedaan daya *output* yang dihasilkan panel surya pada hari pertama dan kedua karena adanya perbedaan kondisi cuaca yang mengakibatkan radiasi yang diterima panel surya hari kedua lebih kecil dari radiasi yang diterima panel surya hari pertama. Daya *output* yang dihasilkan panel surya pada kondisi cuaca hujan berawan dapat dilihat pada Gambar 4.28.



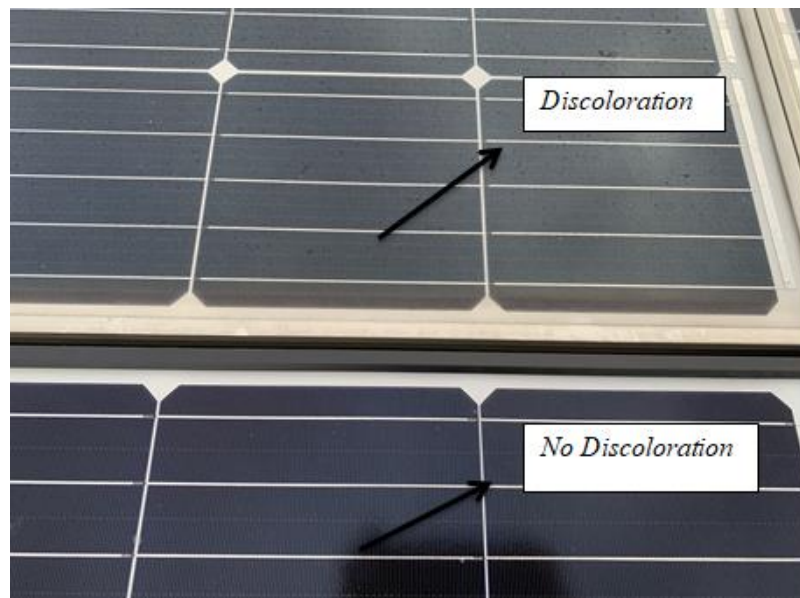
Gambar 4.29 Daya Panel Surya Hari ke-3

Gambar 4.29 merupakan daya yang dihasilkan panel surya lama dan panel surya baru pada hari ke-3 saat kondisi cuaca hujan berawan. Nilai tertinggi daya *output* yang dihasilkan panel surya baru sebesar 217,37 W dan daya *output* yang dihasilkan panel surya lama sebesar 138,48 W. Penurunan nilai daya yang dihasilkan panel surya lama dan baru disebabkan oleh adanya pengaruh cuaca hujan sehingga menyebabkan radiasi matahari yang diterima pada hari ketiga lebih kecil dibandingkan radiasi matahari yang diterima panel surya hari pertama dan hari kedua. Hasil perhitungan daya *output* yang dihasilkan panel surya dapat digunakan untuk menghitung efisiensi dari panel surya. Efisiensi pada panel surya dapat dilihat pada Gambar 4.30 dalam tiga hari pengujian yang sudah dipaparkan di atas.



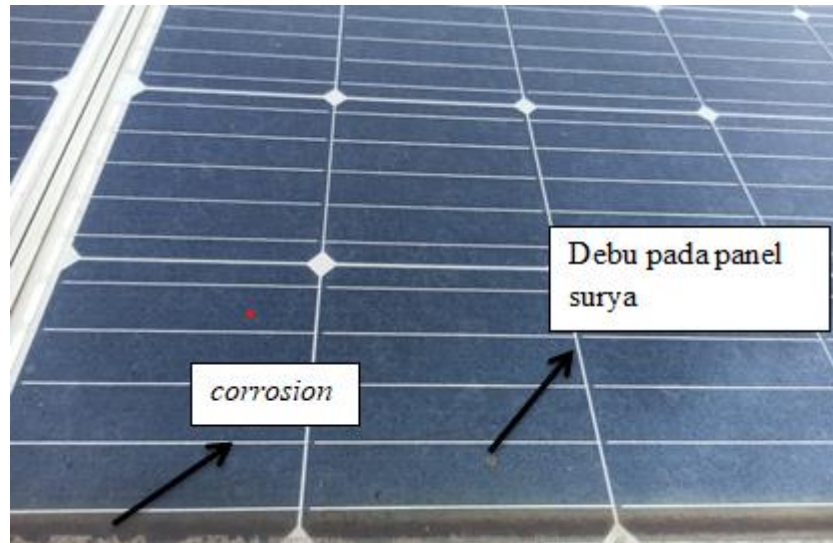
Gambar 4.30 Efisiensi Panel Surya

Gambar 4.30 merupakan efisiensi yang dihasilkan panel surya lama dan panel surya baru pada kondisi cuaca berbeda, nilai efisiensi ini dihasilkan dari persamaan (2.5). Perbedaan efisiensi hari pertama, kedua, dan ketiga dipengaruhi oleh perubahan cuaca yang menyebabkan perbedaan radiasi matahari yang diterima panel surya. Adapun rata-rata efisiensi yang didapat dari pengujian di tiga kondisi cuaca berbeda yaitu panel surya baru memiliki rata-rata efisiensi sebesar 20,39% sedangkan panel surya lama memiliki rata-rata efisiensi sebesar 13,13%. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, Perbedaan nilai efisiensi panel surya lama dan panel surya baru dipengaruhi oleh *deterioration* pada panel surya lama sehingga efisiensi yang dihasilkan panel surya lama lebih kecil daripada efisiensi yang dihasilkan panel surya baru. *Deterioration performance* yang terjadi pada panel surya lama disebabkan oleh adanya perubahan warna pada panel surya (*discoloration*), *corrosion*, dan adanya debu yang menutupi panel surya seperti Gambar 4.31 di bawah ini.



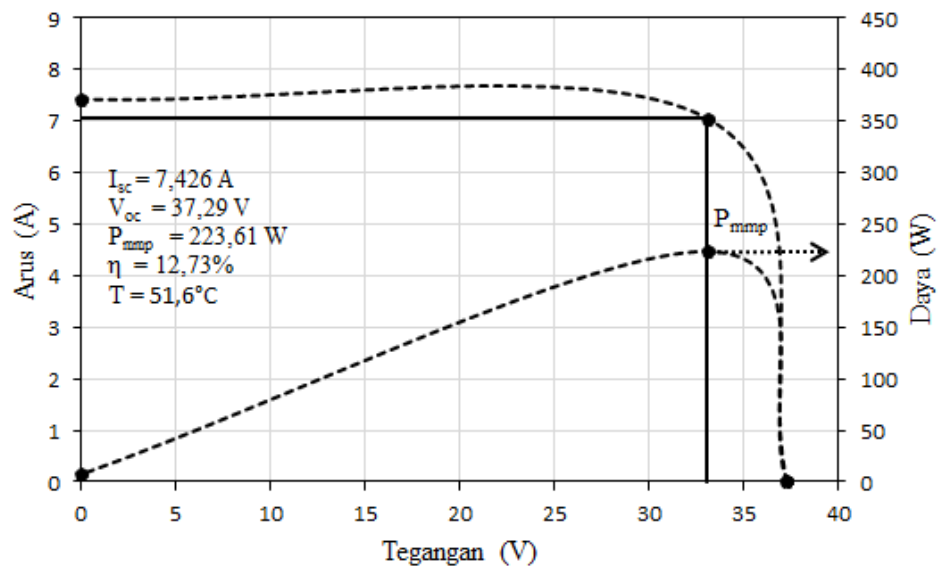
Gambar 4.31 Panel Surya *Discoloration*

Gambar 4.31 menunjukkan panel surya telah mengalami *discoloration* menjadi warna hitam ke kuning - kuningan. Hal ini dapat menyebabkan penurunan *performance* dari panel surya tersebut. *Corrosion* dan efek debu pada panel surya dapat dilihat pada Gambar 4.32.



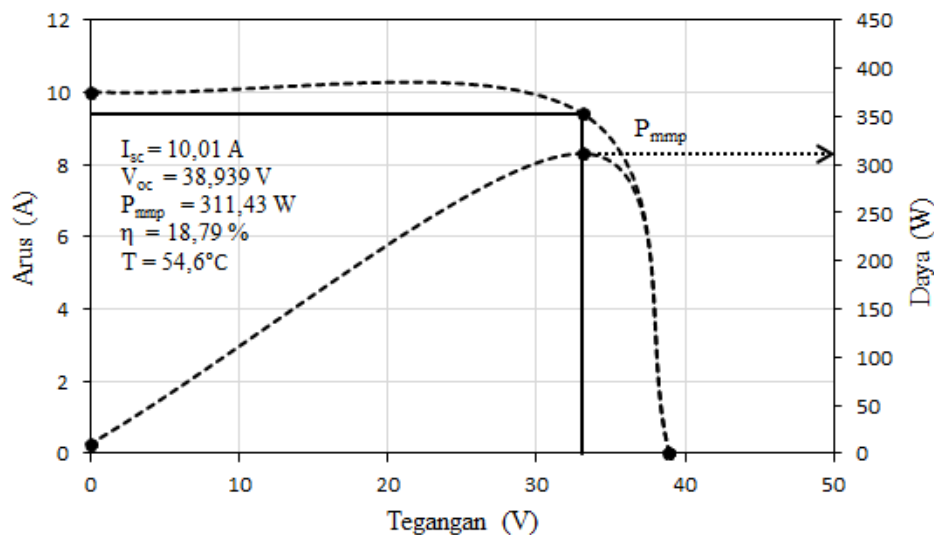
Gambar 4.32 *Corrosion* dan Debu pada Panel Surya

Gambar 4.32 merupakan panel surya yang mengalami korosi dan tertutup debu. Hal ini dapat menyebabkan radiasi matahari yang di terima panel surya tidak maksimal sehingga arus dan efisiensi yang dihasilkan lebih kecil. Berikut kurva karakteristik yang dihasilkan panel surya lama dan panel surya baru pada kondisi cuaca cerah berawan dan radaisi matahari sebesar $1081,5 \text{ W/m}^2$ dapat dilihat pada Gambar 4.33 di bawah ini.



Gambar 4.33 Kurva I-V Panel Surya Lama

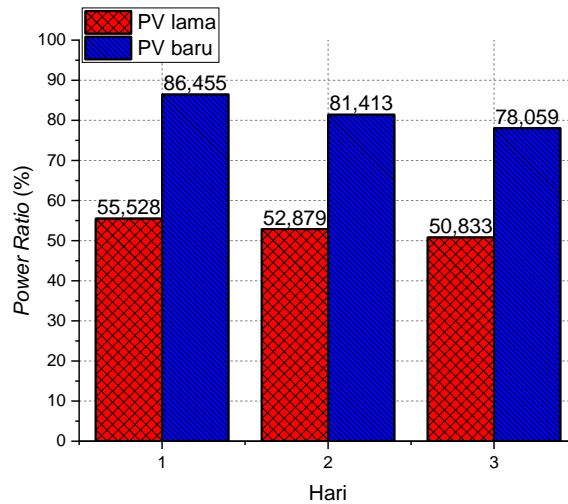
Gambar 4.33 merupakan kurva karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan panel surya lama, dimana pada kurva arus dan tegangan menunjukkan nilai 7,426 A dan 37,29 V. Daya maksimum yang dihasilkan panel surya lama sebesar 223,61 W dan efisiensi yang dihasilkan panel surya lama pada kondisi cuaca cerah berawan sebesar 12,73%. Nilai arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan panel surya lama lebih kecil dibandingkan nilai yang terdapat pada spesifikasi dari panel surya tersebut. Menurunnya nilai arus, tegangan, dan daya panel surya lama disebabkan oleh *deterioration* yang dialami panel surya dan suhu permukaan panel surya yang menyebabkan menurunnya nilai arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan panel surya tersebut. Nilai arus mengalami penurunan sebesar 2,524 A, nilai tegangan mengalami penurunan sebesar 3,11 V, dan nilai daya mengalami penurunan sebesar 86,39 W. Berikut kurva karakteristik arus tegangan panel surya baru dapat dilihat pada Gambar 4.34 di bawah ini.



Gambar 4.34 Kurva IV Panel Surya Baru

Berdasarkan Gambar 4.34 merupakan kurva karakteristik arus tegangan pada panel surya baru. Arus yang dihasilkan panel surya baru sebesar 10,01 A dan tegangan yang dihasilkan sebesar 38,939 V. Daya maksimum yang dihasilkan panel surya baru sebesar 311,43 W dan efisiensi yang dihasilkan panel surya baru pada kondisi cuaca cerah berawan sebesar 18,79 %. Nilai arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan panel surya baru mengalami penurunan yang cukup kecil, penurunan terjadi pada nilai tegangan sebesar 1,764 V hal ini disebabkan oleh

pengaruh suhu yang diterima oleh permukaan panel surya. Berikut performa rasio yang dihasilkan panel surya lama dan panel surya baru dari tiga kondisi pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35 *Power Ratio* Panel Surya

Gambar 4.35 merupakan hasil performa rasio panel surya lama dan panel surya baru dalam tiga hari percobaan pada kondisi cuaca yang berbeda. Hari pertama kondisi cuaca cerah berawan, hari kedua kondisi cuaca berawan, dan hari ketiga kondisi cuaca hujan berawan. Performa rasio kedua panel surya diperoleh dari persamaan (2.6). Grafik di atas menunjukkan performa rasio panel surya baru lebih tinggi daripada performa rasio panel surya lama dengan selisih rata-rata 28,90%. Hasil pengujian ini menunjukkan panel surya lama yang telah mengalami *deterioration* karena pemakaian selama jangka waktu 7 tahun lebih pada kondisi cuaca di Kota Cilegon mengalami *deterioration performance ratio* sebesar 28,90% dibandingkan panel surya yang baru digunakan.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengolahan data dan analisis pada penelitian dengan judul “Analisis Pengaruh Perbedaan Intensitas Cahaya Matahari Terhadap *Deterioration Performance Photovoltaic Module* Menggunakan *IoT*” didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Panel surya yang digunakan dalam jangka waktu yang lama mengalami penurunan arus sebesar 2,534 A dan penurunan tegangan sebesar 3,11 V dibandingkan spesifikasi panel surya tersebut. Penurunan performa disebabkan panel surya lama mengalami *deterioration* seperti *discoloration*, korosi, debu, dan suhu permukaan panel surya yang melebihi nilai STC sehingga panel surya mengalami penurunan performa pada arus dan tegangan yang dihasilkan.
2. Pengaruh radiasi matahari yang diterima panel surya lama dan panel surya baru berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan panel surya lama dan panel surya baru. Semakin besar radiasi matahari yang diterima panel surya maka semakin besar arus yang dihasilkan panel surya.
3. Sistem pemantauan pada *platform* Thinger.io berhasil bekerja dengan baik dengan menampilkan pembacaan dari sensor radiasi matahari, suhu, tegangan, dan arus panel surya secara *realtime* yang ditampilkan pada *dashboard*.

5.2. Saran

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini tidak lepas dari adanya kekurangan. Adapaun saran dari penulis untuk pengembangan sistem kedepannya yaitu sebagai berikut:

1. Pengecekan *deterioration performance* bisa dilakukan pada jenis panel surya yang lain.
2. Manambakan sistem pendeteksi kerusakan fisik untuk mendeteksi kerusakan fisik pada panel surya .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harahap P., “Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya yang Dihasilkan dari Berbagai Jenis Sel Surya,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 73–80, 2020, doi: 10.30596/rele.v2i2.4420.
- [2] Aprilia E., A. Aini, A. Frakusya, and A. Safril, “Potensi Panas Laut Sebagai Energi Baru Terbarukan di Perairan Papua Barat Dengan Metode Ocean Thermal Energy Conversion (Otec),” *J. Meteorol. Klimatologi dan Geofis.*, vol. 6, no. 2, pp. 7–14, 2019, doi: 10.36754/jmkg.v6i2.118.
- [3] Tira H. S., A. Natsir, and M. S. Anwar, “Studi Eksperimental pada Emulator Surya Berdasarkan Intensitas Matahari Terhadap Unjuk Kerja Sel Surya 10 Wp Tipe Polycrystalline,” *Rotasi*, vol. 19, no. 4, p. 237, 2017, doi: 10.14710/rotasi.19.4.237-242.
- [4] Sridewi N. L. P. M., H. Suyanto, and I. G. B. W. Kusuma, “Analisis Pengaruh Panjang Gelombang Cahaya Terhadap Keluaran Panel Surya Tipe Polycrystalline,” *J. METTEK*, vol. 4, no. 2, p. 48, 2018, doi: 10.24843/mettek.2018.v04.i02.p03.
- [5] Sarna S., Subhan, R. Murniati, S. Nojeng, “Pengaruh Temperatur Permukaan Terhadap Efisiensi Konversi Photovoltaik Tipe Mono-Crystalline pada Daerah Tropis,” *J-MOVE*, vol. 3, no. 2, pp. 23, 2021.
- [6] Priyatikanto R., “Inklinasi Optimal Panel Surya Sumbu Tetap di Indonesia,” *JMS*, vol. 21, no. 1, pp 16, 2016.
- [7] Asrori A., I. Mashudi, and Suyanta, “Pengujian Rasio Kinerja Instalasi Panel Surya Tipe Silikon–Kristal pada Kondisi Cuaca Kota Malang,” *J. Energi dan Teknol. Manufaktur*, vol. 2, no. 02, pp. 11–18, 2019, doi: 10.33795/jetm.v2i02.41.
- [8] Tripathi A. K., C. S. N. Murthy, and M. Aruna, “Experimental Investigation of Dust Effect on PV Module Performance,” *Glob. J. Res. Eng. J Gen. Eng.*, vol. 17, no. 7, pp. 35–39, 2017.
- [9] Zaihidee F. M., S. Mekhilef, M. Seyedmahmoudian, and B. Horan, “Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel’s efficiency: Why

- and how,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 65, pp. 1267–1278, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.06.068.
- [10] Satwiko S, “Uji Karakteristik Sel Surya pada Sistem 24 Volt DC sebagai Catudaya pada Sistem Pembangkit Tenaga Hybrid,” in *1 Agust*, 2019, vol. 2, no. 2, pp. 1–5, 2019.
- [11] Paul S., K. A. Khan, S. R. Zishan, and A. Khatun, “Studies on Deterioration of a Mono-crystal Solar Silicon PV Module under the Climatic condition of Bangladesh,” *IEEE*, no. 5, pp. 300–305, 2013.
- [12] Afonso M. M. D., P. C. M. Carvalho, F. L. M. Antunes, and J. J. Hiluy Filho, “Deterioration and performance evaluation of photovoltaic modules in a semi-arid climate,” *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, no. 13, pp. 424–428, 2015, doi: 10.24084/repqj13.345.
- [13] Alfanz R., Y. Okazaki, T. Ikegami, and Y. Deng, “Integrated micro tesla magnetic sensor for detecting photovoltaic cells failure,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 673, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/673/1/012052.
- [14] Hwang M. H., Y. G. Kim, H. S. Lee, Y. D. Kim, and H. R. Cha, “A Study on the Improvement of Efficiency by Detection Solar Module Faults in Deteriorated Photovoltaic Power Plants,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–16, 2021, doi: 10.3390/app11020727.
- [15] Erwanto D., D. A. Widhining K., and T. Sugiarto, “Sistem Pemantauan Arus dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet of Things,” *Multitek Indones.*, vol. 14, no. 1, pp. 1, 2020, doi: 10.24269/mtkind.v14i1.2195.
- [16] Pamungkas I. F., U. T. Kartini, T. Wrahatnolo, Joko, “Sistem Monitoring Daya Listrik Photovoltaic Berbasis Internet of Things (IoT), ” *JTE.*, vol. 11, no. 2, pp. 236-245, 2022.
- [17] Raharja W. K., R. Ramadhon, “Purwarupa Alat Pendeteksi Kebakaran Jarak Jauh Menggunakan Platform Thinger.Io,” *J. Elektro Luceat*, vol. 7, no. 2, pp. 188–206, 2021.
- [18] Usman, A. R. Idris, Sofyan, and I. Syamsuddin, “Pemodelan dan Simulasi Photovoltaic Menggunakan Pendekatan Model Tiga Diode,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 4, pp. 423–429, 2020, doi:

- 10.22146/jnteti.v9i4.688.
- [19] Ramli M. A. M., E. Prasetyono, R. W. Wicaksana, N. A. Windarko, K. Sedraoui, Y. A. Al-Turki, “On the investigation of photovoltaic output power reduction due to dust accumulation and weather conditions,” *Renew. Energy*, vol. 99, pp. 836–844, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2016.07.063.
- [20] Tino A. A., “Dampak Debu Terhadap Kinerja Modul Photovoltaik di Kampus Politeknik Negeri Kupang,” *J. Ilm. Flash*, vol. 2, no. 1, p. 26, 2016, doi: 10.32511/jiflash.v2i1.21.
- [21] Suwarti, Wahyono, B. Prasetyo, “Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya,” *Eksergi*, vol. 14, no. 3, p. 78, 2019, doi: 10.32497/eksergi.v14i3.1373.
- [22] Mirrahman H., I. D. Sara, and M. Gapy, “Pengukuran dan Pemantauan Performansi Modul Surya,” *Kitektro*, vol. 2, no. 2, pp. 44–50, 2017.
- [23] Yousuf H. *et al.*, “A Review on Degradation of Silicon Photovoltaic Modules,” *New Renew. Energy*, vol. 17, no. 1, pp. 19–32, 2021, doi: 10.7849/ksnre.2021.2034.
- [24] de Oliveira M. C. C., A. S. A. Diniz Cardoso, M. M. Viana, and V. de F. C. Lins, “The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. July, pp. 2299–2317, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.06.039.
- [25] Wiengmoon B., K. Kirtikara, C. Jivacate, and D. Chenvidhya, “PV modules deterioration with less than 15 years installation in Thailand,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 931–932, pp. 1068–1072, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.931-932.1068.
- [26] Safitri N., P. N. Lhokseumawe, T. Rihayat, and P. N. Lhokseumawe, *NO . ISBN 978-623-91323-0-9*, no. July. 2019.
- [27] Pagan S. E. P., I. D. Sara, and H. Hasan, “Komparasi Kinerja Panel Surya Jenis Monokristal Dan Polykristal Studi Kasus Cuaca Banda Aceh,” *Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 3, no. 4, pp. 19–23, 2018.
- [28] Pulungan A. B., D. S. Goci, “Penggunaan Sistem Data logger Dalam Pencatatan Data Parameter Panel Surya berbasis Mikrokontroler,” *JTEV*

- (*Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional*), vol. 7, no. 2, p. 337, 2021, doi: 10.24036/jtev.v7i2.115052.
- [29] Mungkin M., H. Satria, J. Yanti, G. B. A. Turnip, and S. Suwarno, “Perancangan Sistem Pemantauan Panel Surya Polycrystalline Menggunakan Teknologi Web Firebase Berbasis IoT,” *INTECOMS J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 319–327, 2020, doi: 10.31539/intecom.v3i2.1861.
- [30] Sianturi Y., “Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi,” *Megasains*, vol. 12, no. 1, pp. 40–47, 2021, doi: 10.46824/megasains.v12i1.45.
- [31] Sawidin S. *et al.*, “Kontrol dan Monitoring Sistem Smart Home Menggunakan Web Thinger.io Berbasis IoT,” *Prosiding The 12th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 464–471, 2021, [Online]. Available: www.arduino.cc.
- [32] Santhakumari M., N. Sagar, “A review of the environmental factors degrading the performance of silicon wafer-based photovoltaic modules: Failure detection methods and essential mitigation techniques,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 110, no. June 2018, pp. 83–100, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.04.024.

LAMPIRAN A
DATA PENGUJIAN

Hasil Pengujian Sensor Tegangan

No	Voltmeter (V)	Sensor Tegangan 1 (V)	Sensor Tegangan 2 (V)	%Error Sensor Tegangan 1	%Error Sensor Tegangan 1
1	15	15.05	14.95	0.33	0.33
2	15,5	15.55	15.52	0.32	0.12
3	16	16.07	16.12	0.43	0.74
4	16,5	16.58	16.68	0.48	1
5	17	17.1	17.14	0.58	0.81
6	17,5	17.45	17.68	0.51	1.02
7	18	17.8	17.9	1.1	0.55
8	18,5	18.62	18.45	0.64	0.27
9	19	19.07	19.13	0.52	0.67
10	19,5	19.6	19.39	0.51	0.56
11	20	20.18	20.12	0.89	0.59
Rata-rata				0.63	0.66

Hasil Pengujian Sensor Arus

No	Ampermeter (A)	Sensor Arus 1 (A)	Sensor Arus 2 (A)	%Error Sensor Arus 1	%Error Sensor Arus 2
1	5.5	5.56	5.54	1.09	0.72
2	6	6.04	6.06	0.66	1
3	6.5	6.54	6.56	0.61	0.92
4	7	7.05	7.06	0.71	0.85
5	7.5	7.59	7.58	1.2	1
6	8	8.09	8.12	1.12	1.5
7	8.5	8.58	8.58	0.94	0.94
8	9	9.08	9.08	0.88	0.88
9	9.5	9.6	9.6	1	1
10	10	10.11	10.13	1.1	1.3
Rata-rata				0.931	1.01

Hasil Pengujian Sensor Suhu

No	Termometer (°C)	Sensor Suhu 1 (°C)	Sensor Suhu 2 (°C)	%Error Sensor Suhu 1	%Error Sensor Suhu 2
1	6	6	6	0	0

2	7	7	7	0	0
3	8	8	8	0	0
4	9	9	9	0	0
5	10	10.01	10.03	0.1	0.3
6	61	62	63	1.66	3.22
7	65	66.8	67.25	2.76	3.64
8	71	73	72.8	2.81	2.53
9	75	76.5	77.56	2	3.41
10	78	80.15	80.87	2.75	3.67
Rata-rata				1.208	1.67

Keterangan :

PV1 : Panel Surya Lama

PV2 : Panel Surya Baru

Hasil Pengukuran Daya Output Cuaca Cerah Berawan

Tanggal	Waktu	Radiasi Matahari (W/m ²)	Arus PV1 (A)	Arus PV2 (A)	Suhu PV1 (°C)	Suhu PV2 (°C)	Tegangan PV1 (V)	Tegangan PV2 (V)	Daya PV1 (W)	Daya PV2 (W)
28-10-2022	08:00:00	363.8	2.675	4.301	38.9	39.5	37.247	38.123	80.46	132.4
28-10-2022	09:00:00	527.9	3.899	6.558	41.3	42.8	37.096	38.026	116.79	201.37
28-10-2022	10:00:00	611.6	4.708	7.648	44.1	46.2	37.294	38.285	141.78	236.44
28-10-2022	11:00:00	851.6	6.69	9.134	47.1	51.6	37.182	38.003	200.86	280.3
28-10-2022	12:00:00	1081.5	7.426	10.01	51.6	54.6	37.29	38.939	223.61	311.43
28-10-2022	13:00:00	911.8	6.707	9.754	51.2	52.1	37.329	38.229	202.17	301.11
28-10-2022	14:00:00	648.4	5.162	8.312	45.2	46.9	37.135	37.963	154.79	254.81
28-10-2022	15:00:00	541.3	4.55	7.231	45.1	44.5	37.256	38.64	136.88	225.62
28-10-2022	16:00:00	131.7	1.108	1.692	39.2	38.7	36.695	37.638	32.83	51.42
28-10-2022	17:00:00	117.1	0.604	0.917	34.9	33.1	36.626	37.588	17.86	27.83

Hasil Pengukuran Daya Output Cuaca Berawan

Tanggal	Waktu	Radiasi Matahari (W/m ²)	Arus PV1 (A)	Arus PV2 (A)	Suhu PV1 (°C)	Suhu PV2 (°C)	Tegangan PV1 (V)	Tegangan PV2 (V)	Daya PV1 (W)	Daya PV2 (W)
24-10-2022	08:00:00	237.8	1.831	2.623	34.4	34.1	36.277	37.131	53.64	78.65

24-10-2022	09:00:00	357.4	2.945	4.574	35.6	36.8	36.617	37.471	87.08	138.4
24-10-2022	10:00:00	504.5	4.141	6.326	39.6	41.2	37.674	38.442	125.98	196.37
24-10-2022	11:00:00	543.5	4.266	6.584	40.5	44.3	38.148	39.012	131.41	207.41
24-10-2022	12:00:00	370.5	2.418	3.724	35.9	38.8	37.118	37.94	72.47	114.09
24-10-2022	13:00:00	751.1	5.033	7.833	42.8	45.3	37.993	38.728	154.41	244.96
24-10-2022	14:00:00	362.5	2.4	3.696	34.2	38.5	37.044	37.887	71.79	113.07
24-10-2022	15:00:00	250	1.817	2.794	33.7	35.4	36.497	37.354	53.55	84.28
24-10-2022	16:00:00	150	1.154	1.772	31.4	31.9	36.419	37.286	33.94	53.35
24-10-2022	17:00:00	75.9	0.334	0.501	28.3	30	35.255	36.107	9.51	14.61

Hasil Pengukuran Daya Output Cuaca Hujan Berawan

Tanggal	Waktu	Radiasi Matahari (W/m ²)	Arus PV1 (A)	Arus PV2 (A)	Suhu PV1 (°C)	Suhu PV2 (°C)	Tegangan PV1 (V)	Tegangan PV2 (V)	Daya PV1 (W)	Daya PV2 (W)
25-10-2022	08:00:00	107.1	0.566	0.859	25.1	26.1	36.579	37.537	16.72	26.04
25-10-2022	09:00:00	162.2	1.091	1.667	28.8	29.7	36.889	37.975	32.5	51.12
25-10-2022	10:00:00	291.3	2.502	3.678	34.1	36.9	37.006	37.821	74.77	112.33
25-10-2022	11:00:00	338.2	2.708	4.215	37.3	37.9	37.144	38.153	81.22	129.86
25-10-2022	12:00:00	633.9	4.642	7.142	43.7	45.9	36.945	37.691	138.49	217.37
25-10-2022	13:00:00	429.7	3.363	5.124	39.2	41.2	37.023	37.859	100.54	156.65
25-10-2022	14:00:00	180.4	1.517	2.128	29	31.5	36.95	37.735	45.26	64.84
25-10-2022	15:00:00	152.9	1.156	1.935	27.8	28.1	36.385	37.271	33.96	58.24
25-10-2022	16:00:00	109.7	0.607	0.917	25.8	26	36.393	37.255	17.84	27.59
25-10-2022	17:00:00	56.9	0.211	0.314	22.4	23.8	34.064	35.062	5.8	8.89

Efisiensi Panel Surya

Tanggal	Waktu	Efisiensi PV1	Efisiensi PV2
24-10-2022	08:00:00	13.89%	20.18%
24-10-2022	09:00:00	15.01%	23.63%
24-10-2022	10:00:00	15.38%	23.75%
24-10-2022	11:00:00	14.89%	23.29%
24-10-2022	12:00:00	12.05%	18.79%

24-10-2022	13:00:00	12.66%	19.90%
24-10-2022	14:00:00	12.20%	19.03%
24-10-2022	15:00:00	13.19%	20.57%
24-10-2022	16:00:00	13.93%	21.70%
24-10-2022	17:00:00	7.72%	11.74%
Rata-rata		13.09%	20.26%
25-10-2022	08:00:00	9.61%	14.83%
25-10-2022	09:00:00	12.34%	19.23%
25-10-2022	10:00:00	15.81%	23.53%
25-10-2022	11:00:00	14.79%	23.43%
25-10-2022	12:00:00	13.46%	20.92%
25-10-2022	13:00:00	14.41%	22.24%
25-10-2022	14:00:00	15.45%	21.93%
25-10-2022	15:00:00	13.68%	23.24%
25-10-2022	16:00:00	10.02%	15.34%
25-10-2022	17:00:00	6.28%	9.53%
Rata-rata		12.59%	19.42%
28-10-2022	08:00:00	13.62%	22.21%
28-10-2022	09:00:00	13.63%	23.28%
28-10-2022	10:00:00	14.28%	23.59%
28-10-2022	11:00:00	14.53%	20.08%
28-10-2022	12:00:00	12.73%	18.79%
28-10-2022	13:00:00	13.66%	20.15%
28-10-2022	14:00:00	14.70%	23.98%
28-10-2022	15:00:00	15.58%	25.43%
28-10-2022	16:00:00	15.35%	23.82%
28-10-2022	17:00:00	9.40%	14.50%
Rata-rata		13.75%	21.51%

Performa Rasio Panel Surya

Tanggal	Waktu	Performa Rasio PV1 (%)	Performa Rasio PV2 (%)
24-10-2022	08:00:00	56.11	81.1
24-10-2022	09:00:00	60.61	94.96
24-10-2022	10:00:00	62.12	95.45
24-10-2022	11:00:00	60.15	93.58
24-10-2022	12:00:00	48.66	75.51
24-10-2022	13:00:00	51.14	79.97
24-10-2022	14:00:00	49.27	76.49
24-10-2022	15:00:00	53.29	82.66
24-10-2022	16:00:00	56.28	87.22
24-10-2022	17:00:00	31.16	47.19

Rata-rata		52.879	81.413
25-10-2022	08:00:00	38.83	59.61
25-10-2022	09:00:00	49.84	77.28
25-10-2022	10:00:00	63.85	94.56
25-10-2022	11:00:00	59.75	94.15
25-10-2022	12:00:00	54.35	84.09
25-10-2022	13:00:00	58.21	89.39
25-10-2022	14:00:00	62.42	88.14
25-10-2022	15:00:00	55.26	93.4
25-10-2022	16:00:00	40.45	61.66
25-10-2022	17:00:00	25.37	38.31
Rata-rata		50.833	78.059
28-10-2022	08:00:00	55.02	89.24
28-10-2022	09:00:00	55.04	93.54
28-10-2022	10:00:00	57.67	94.8
28-10-2022	11:00:00	58.68	80.71
28-10-2022	12:00:00	51.44	72.44
28-10-2022	13:00:00	55.16	80.98
28-10-2022	14:00:00	59.39	96.36
28-10-2022	15:00:00	62.91	102.21
28-10-2022	16:00:00	62.02	95.75
28-10-2022	17:00:00	37.95	58.28
Rata-rata		55.528	86.455

LAMPIRAN B PERHITUNGAN

A. Perhitungan Efisiensi Panel Surya

Nilai efisiensi panel surya diperoleh melalui persamaan (2.5), sebagai contoh sempel perhitungan pada pukul 08:00 tanggal 24 Oktober 2022 yaitu sebagai berikut:

1. PV Lama

$$\begin{aligned} A \text{ PV Lama} & : 1,6236 \text{ m}^2 \\ G \text{ PV Lama} & : 237,8 \text{ W/m}^2 \\ P_{act} \text{ PV Lama} & : 53.64 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} P_{in} & = G \times A \\ P_{in} & = 607 \times 1,6236 \\ P_{in} & = 386,09 \text{ W} \\ \eta_p & = \frac{P_{act}}{P_{in}} \times 100\% \\ \eta_p & = \frac{53,64}{386,09} \times 100\% \\ \eta_p & = 13,89\% \end{aligned}$$

2. PV Baru

$$\begin{aligned} A \text{ PV Baru} & : 1,6389 \text{ m}^2 \\ G \text{ PV Baru} & : 237,8 \text{ W/m}^2 \\ P_{act} \text{ PV Baru} & : 78,65 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} P_{in} & = G \times A \\ P_{in} & = 607 \times 1,6389 \\ P_{in} & = 389,73 \text{ W} \\ \eta_p & = \frac{P_{act}}{P_{in}} \times 100\% \\ \eta_p & = \frac{78,65}{389,73} \times 100\% \\ \eta_p & = 20,18\% \end{aligned}$$

B. Perhitungan Performa Rasio

Nilai performa rasio diperoleh dari persamaan (2.6), berikut contoh perhitungan performa rasio:

1. PV Lama

Pact PV lama : 53,64 W
Pmax PV lama : 401,98 W
G PV lama : 237,8 W/m²

Maka:

$$PR = \left(\frac{Pact}{Pmax}\right) / \left(\frac{G}{1000}\right)$$

$$PR = \left(\frac{53,64}{401,98}\right) / \left(\frac{237,8}{1000}\right)$$

$$PR = \frac{0,133}{0,2378} \times 100\%$$

$$PR = 56,11\%$$

2. PV baru

Pact PV baru : 78,65 W
Pmax PV baru : 407,81 W
G PV baru : 237,8 W/m²

$$PR = \left(\frac{Pact}{Pmax}\right) / \left(\frac{G}{1000}\right)$$

$$PR = \left(\frac{78,65}{407,81}\right) / \left(\frac{237,8}{1000}\right)$$

$$PR = \frac{0,195}{0,2378} \times 100\%$$

$$PR = 81,1\%$$

LAMPIRAN C
LISTING PROGRAM

```
#define THINGER_SERIAL_DEBUG

#define SSID "UNTIRTAKU"
#define SSID_PASSWORD "untirtajawara"

#define USERNAME "trisonngobhe"
#define DEVICE_ID "NodeMCU_DATALOG"
#define DEVICE_CREDENTIAL "oc8AG4yuEpA%N_yp"

#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h>
#include <Wire.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <WiFiUdp.h>
#include <NTPClient.h>
#include <TimeLib.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
// #include "PCF8574.h"
#include <ThingyESP8266.h>
#include "arduino_secrets.h"

ThingyESP8266 thing(USERNAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);

Adafruit_ADS1115 adsA, adsB;
LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27);
OneWire oneWire(D4);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

#define LOG_INTERVAL 5000
#define SYNC_INTERVAL 1000
uint32_t syncTime = 0;

// Alamat sensor suhu DS18B20
// =====
DeviceAddress sensor1 = { 0x28, 0x52, 0x94, 0x95, 0xF0, 0x01,
    0x3C, 0xC2 };
DeviceAddress sensor2 = { 0x28, 0xFF, 0xA3, 0x01, 0x00, 0x00,
    0x00, 0xBA };

// Konfigurasi Network Time Protocol
// =====
WiFiUDP ntpUDP;
NTPClient timeClient(ntpUDP, "pool.ntp.org", 25200, 60000);
char Time[ ] = "00:00:00";
char Date[ ] = "00-00-2000";
byte last_second, second_, minute_, hour_, day_, month_;
int year_;

// Konfigurasi SDCARD
// =====
```

```

const int chipSelect = D8;
char filename[14];
File dataFile;

// Iterasi 50 kali pengambilan data
// =====
int NUMBR_OF_SAMPLES = 50;

// Variabel sensor arus ACS712 dan Voltage divider
// =====
int16_t adc0, adc1, adc2, adc3, adc4, adc5, results;
double volts0, volts1, volts2, volts3, volts4, volts5;
double Voc1, Voc2, Voc3;
float multiplier = 0.0078125F; //
  ads1115 +/- 0.256 gain
double outpyr, irradiance;
float Vmid1 = 2.5111;
float Vmid2 = 2.5097;

// Variabel sensor Suhu DS18B20
// =====
float KalibrasiSuhu1;
float KalibrasiSuhu2;

// Convert Tipe Data Float ke String
// =====
static char ArusPV1[10];
static char ArusPV2[10];
static char TeganganPV1[10];
static char TeganganPV2[10];
static char Pyranometer[10];
static char SuhuPV1[10];
static char SuhuPV2[10];
char DATA_KESELURUHAN[200];

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  thing.add_wifi(SSID, SSID_PASSWORD);
  LCD_setup();
  ADS1115_setup();
  sensors.begin();
  SDCARD_setup();

  timeClient.begin();

  // Pengiriman data ke platform THINGER.IO
  // =====
  thing["DATAVOC"] >> [](pson& out) {
    out["ArusPV1"] = volts0;
    out["ArusPV2"] = volts1;
    out["TeganganPV1"] = volts3;
    out["TeganganPV2"] = volts4;
    out["SuhuPV1"] = KalibrasiSuhu1;
    out["SuhuPV2"] = KalibrasiSuhu2;
    out["Pyranometer"] = irradiance;
  };
}

```

```

void loop() {
  thing.handle();
  NTP_loop();
  sprintf(filename, "%s.txt", Date);
  dataFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);

  delay((LOG_INTERVAL -1) - (millis() % LOG_INTERVAL));

  // Pembacaan Tegangan
  //=====
  adc3 = adsA.readADC_SingleEnded(3);
  adc4 = adsB.readADC_SingleEnded(0);
  volts3 = abs(adsA.computeVolts(adc3)*230000)/10000;
  volts4 = abs((adsB.computeVolts(adc4)*220680)/680);
  Voc1 = abs((volts3/45.2)*100);
  Voc2 = abs((volts4/40.7)*100);
  delay(10);

  dtostrf(volts3, 7, 3, TeganganPV1);
  dtostrf(volts4, 7, 3, TeganganPV2);
  //=====

  // Pembacaan arus
  //=====

  double avg0 = 0, avg1 = 0;
  volts0 = 0;
  volts1 = 0;

  for (int i = 0; i < NUMBR_OF_SAMPLES; i++){
    avg0 += adsA.computeVolts(adsA.readADC_SingleEnded(0));
    avg1 += adsA.computeVolts(adsA.readADC_SingleEnded(1));
  }
  volts0 = abs((Vmid1 - (avg0/NUMBR_OF_SAMPLES))/0.1);
  volts1 = abs((Vmid2 - (avg1/NUMBR_OF_SAMPLES))/0.1);
  delay(10);
  dtostrf(volts0, 7, 3, ArusPV1);
  dtostrf(volts1, 7, 3, ArusPV2);
  yield();

  //Pembacaan PYRANOMETER
  //=====
  results = adsB.readADC_Differential_2_3();
  outpyr = results*multiplier;
  irradiance = abs((outpyr/7)*1000);
  dtostrf(irradiance, 7, 3, Pyranometer);

  // Pembacaan Sensor Suhu DS18B20
  //=====
  sensors.requestTemperatures();
  float temp1 = sensors.getTempC(sensor1);
  float temp2 = sensors.getTempC(sensor2);
  KalibrasiSuhu1 = (((temp1-4.688)*68)/72.750)+6;
  KalibrasiSuhu2 = (((temp2-4.500)*68)/72.688)+6;
  delay(10);
  dtostrf(KalibrasiSuhu1, 7, 1, SuhuPV1);
  dtostrf(KalibrasiSuhu2, 7, 1, SuhuPV2);
  //=====

```

```

sprintf(DATA_KESELURUHAN, "| %s | %s | %s | %s | %s | %s | %s | %s |
    %s | %s | %s | %s | %s |", Date, Time, TeganganPV1,
    TeganganPV2, ArusPV1, ArusPV2, Pyaranomter, SuhuPV1,
    SuhuPV2);

if (dataFile) {
    lcd.setCursor(13,3);
    lcd.print("SD OK");
    dataFile.println(DATA_KESELURUHAN);
}
else {
    lcd.setCursor(13,3);
    lcd.print("SD NOT");
}

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("V1:");
    lcd.print(TeganganPV1);
    lcd.print("V");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("V2:");
    lcd.print(TeganganPV2);
    lcd.print("V");
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("T1:");
    lcd.print(KalibrasiSuhu1);
    lcd.setCursor(12,1);
    lcd.print("T2:");
    lcd.print(KalibrasiSuhu2);
    lcd.print("Rad: ");
    lcd.print(Pyranometer);
    lcd.setCursor(15,2);
    lcd.print(" W/m2 ");

    if ((millis() - syncTime) < SYNC_INTERVAL) return;
    syncTime = millis();

}
void ADS1115_setup(){
    adsA.begin(0x4A);
    adsB.begin(0x4B);
    adsB.setGain(GAIN_SIXTEEN);
}
void LCD_setup(){
    Wire.begin();
    Wire.beginTransmission(0x27);
    lcd.begin(20, 4);
    lcd.setBacklight(255);
}
void NTP_loop(){
    timeClient.update();
    unsigned long unix_epoch = timeClient.getEpochTime(); // Get
    Unix epoch time from the NTP server

    second_ = second(unix_epoch);
    if (last_second != second_) {

        minute_ = minute(unix_epoch);

```



```

hour_   = hour(unix_epoch);
day_    = day(unix_epoch);
month_  = month(unix_epoch);
year_   = year(unix_epoch);

Time[7] = second_ % 10 + 48;
Time[6] = second_ / 10 + 48;
Time[4] = minute_ % 10 + 48;
Time[3] = minute_ / 10 + 48;
Time[1] = hour_   % 10 + 48;
Time[0] = hour_   / 10 + 48;

Date[0] = day_    / 10 + 48;
Date[1] = day_    % 10 + 48;
Date[3] = month_  / 10 + 48;
Date[4] = month_  % 10 + 48;
Date[8] = (year_  / 10) % 10 + 48;
Date[9] = year_   % 10 % 10 + 48;
last_second = second_;
}
}
void SDCARD_setup(){
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    return;
  }
  Serial.println("card initialized.");
}
}

```