

SKRIPSI

**ANALISIS PENURUNAN PERFORMA MODUL  
FOTOVOLTAIK SILIKON KRISTAL DI PLTS GILI  
TRAWANGAN**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

I Gede Kevin Yoga Pratama

NIM. 2315374050

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
POLITEKNIK NEGERI BALI  
2024**

## ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan solusi utama untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi karbon. Salah satu proyek PLTS yang signifikan di Indonesia adalah PLTS Gili Trawangan dengan kapasitas total 600 kWp. Setelah beroperasi lebih dari satu dekade, modul fotovoltaik menunjukkan degradasi kinerja akibat faktor lingkungan seperti suhu tinggi, kelembapan, dan radiasi ultraviolet (UV).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis degradasi fisik dan penurunan performa modul fotovoltaik silikon kristal di PLTS Gili Trawangan, serta mengevaluasi dampaknya terhadap produksi energi. Metode yang digunakan meliputi inspeksi visual, pengukuran termografi inframerah (IR), dan pengukuran parameter listrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sekitar 1415 modul (63%) mengalami kerusakan, sedangkan 825 modul (37%) masih berfungsi normal. Kerusakan yang ditemukan berupa *micro crack*, oksidasi, hotspot, maupun kombinasi dari ketiganya. Dampak dari kerusakan ini adalah penurunan arus rata-rata ( $I_{pm}$ ) dari 60,64A (2023) menjadi 48,77 A (2024) atau turun sebesar 19,59%, serta penurunan produksi energi bulanan dari 43.586,08 kWh (Agustus 2023) menjadi 33.077,95 kWh (Agustus 2024) atau sekitar 24%.

**Kata Kunci :** Fotovoltaik, PLTS Gili Trawangan, Degradasi Modul, Inspeksi Termografi

## ABSTRACT

*Solar Power Plants (PLTS) are a key solution to reducing dependence on fossil fuels and lowering carbon emissions. One significant project in Indonesia is the Gili Trawangan Solar Power Plant with a total capacity of 600 kWp. After operating for more than a decade, photovoltaic modules have shown performance degradation due to environmental factors such as high temperature, humidity, and ultraviolet (UV) radiation.*

*This study aims to analyze the physical degradation and performance reduction of crystalline silicon photovoltaic modules at the Gili Trawangan Solar Power Plant, as well as evaluate their impact on energy production. The methods used include visual inspection, infrared (IR) thermography, and electrical parameter measurements.*

*The results showed that approximately 1415 modules (63%) experienced damage, while 825 modules (37%) remained functional. The types of damage found included micro cracks, oxidation, hotspots, and combinations of these defects. Such degradation directly impacted system performance, resulting in a decrease of the average current ( $I_{pm}$ ) from 60.64 A (2023) to 48.77 A (2024), equivalent to a 19.59% reduction, and a decline in monthly energy production from 43,586.08 kWh (August 2023) to 33,077.95 kWh (August 2024), or approximately 24%.*

*Keywords: Photovoltaic, Gili Trawangan Solar Power Plant, Module Degradation, Performance Reduction, Thermographic Inspection*

## DAFTAR ISI

|                                                                                 | Halaman |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------|
| LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI .....                                          | 1       |
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....                                                 | 2       |
| HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI .....                                 | 3       |
| ABSTRAK .....                                                                   | 4       |
| ABSTRACT .....                                                                  | 5       |
| KATA PENGANTAR .....                                                            | 6       |
| DAFTAR ISI.....                                                                 | 5       |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                             | 7       |
| DAFTAR TABEL.....                                                               | 1       |
| DAFTAR GRAFIK.....                                                              | 2       |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                                         | 3       |
| 1.1. Latar Belakang .....                                                       | 3       |
| 1.2. Perumusan masalah .....                                                    | 4       |
| 1.3. Batasan masalah .....                                                      | 4       |
| 1.4. Tujuan Penelitian .....                                                    | 5       |
| 1.5. Manfaat Penelitian .....                                                   | 6       |
| 1.6. Sistematika Penulisan .....                                                | 6       |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                                   | 8       |
| 2.1. Penelitian Sebelumnya .....                                                | 8       |
| 2.2. Landasan Teori .....                                                       | 9       |
| 2.2.1 Prinsip Kerja Modul Fotovoltaik .....                                     | 9       |
| 2.2.2 Struktur Modul Fotovoltaik .....                                          | 10      |
| 2.2.3 Jenis Sel Fotovoltaik .....                                               | 11      |
| 2.2.4 Efek Fotovoltaik .....                                                    | 12      |
| 2.2.5 Faktor-faktor Penyebab Degradasi Modul Fotovoltaik .....                  | 13      |
| 2.2.6 Metode Pemantauan dan Strategi Mitigasi Degradasi Modul Fotovoltaik ..... | 16      |
| 2.2.7 Konfigurasi PLTS Gili Trawangan .....                                     | 18      |
| 2.2.8 Perhitungan Daya Dan Produksi Energi .....                                | 21      |
| BAB III .....                                                                   | 23      |
| METODE PENELITIAN .....                                                         | 23      |
| 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....                                           | 23      |
| 3.2 Tahapan Penelitian .....                                                    | 24      |
| 3.3 Alat yang digunakan .....                                                   | 25      |
| 3.4 Metode Pengumpulan Data .....                                               | 26      |
| 3.5 Proses Pelaksanaan Penelitian .....                                         | 27      |
| 3.6 Jadwal Kegiatan .....                                                       | 28      |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| BAB IV .....                                                         | 29 |
| ANALISA DAN PEMBAHASAN .....                                         | 29 |
| 4.1    Sistem PLTS On-grid Gili Trawangan .....                      | 29 |
| 4.2    Degradasi Fisik Modul Fotovoltaik .....                       | 30 |
| 4.2.1    Komposisi Kondisi Fisik PV Module PLTS Gili Trawangan ..... | 37 |
| 4.3    Dampak Penurunan Performa Terhadap Produksi Energi .....      | 37 |
| BAB V .....                                                          | 42 |
| KESIMPULAN DAN SARAN .....                                           | 42 |
| 5.1    Kesimpulan .....                                              | 42 |
| 5.2    Saran .....                                                   | 43 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                 | 44 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 modul fotovoltaik [10].....                                            | 9  |
| Gambar 2. 2 Struktur Modul Fotovoltaik [12] .....                                  | 10 |
| Gambar 2. 3 Jenis Sel Fotovoltaik [10].....                                        | 11 |
| Gambar 2. 4 Konfigurasi PLTS in-grid 200kWp Gili Trawangan [16] .....              | 19 |
| Gambar 2. 5 Konfigurasi PLTS on-grid 400 kWp Gili Trawangan [16] .....             | 20 |
| Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian (sumber : google maps) .....                         | 23 |
| Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....                                           | 25 |
| Gambar 4. 1 PLTS Gili Trawangan .....                                              | 29 |
| Gambar 4. 2 Contoh crack di modul surya PLTS Gili Trawangan .....                  | 30 |
| Gambar 4. 3 layout PLTS Gili Trawangan 400 kWp yang mengalami crack .....          | 30 |
| Gambar 4. 4 Contoh Oksidasi di modul surya PLTS Gili Trawangan.....                | 31 |
| Gambar 4. 5 Contoh Korosi Pada Finger Bus Modul Fotovoltaik.....                   | 32 |
| Gambar 4. 6 Layout PLTS Gili Trawangan 400 kWp yang mengalami oksidasi.....        | 32 |
| Gambar 4. 7 Hotspot pada modul PV monokristal di Gili Trawangan .....              | 33 |
| Gambar 4. 8 Hotspot pada backsheet modul PV monokristal Gili Trawangan 400kWp..... | 34 |
| Gambar 4. 9 Hotspot pada modul PV polycrystalline Gili Trawangan 200kW .....       | 35 |
| Gambar 4. 10 Layout PLTS Gili Trawangan 400 kWp yang mengalami hotspot .....       | 36 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan .....                                       | 28 |
| Tabel 4. 1 Informasi umum modul fotovoltaik PLTS Gili Trawangan.....   | 29 |
| Tabel 4. 2 Komposisi kondisi fisik PV Module PLTS Gili Trawangan ..... | 37 |
| Tabel 4.3 Tabel Kinerja Combiner 2023.....                             | 38 |
| Tabel 4.4 Tabel Kinerja Combiner 2024.....                             | 38 |
| Tabel 4.5 Produksi Energi Bulanan .....                                | 41 |

## DAFTAR GRAFIK

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafik 4. 1 komposisi kondisi fisik PV module PLTS Gili Trawangan ..... | 37 |
| Grafik 4. 2 Perbandingan Performa Agustus tahun 2023 vs 2024.....       | 39 |
| Grafik 4. 3 Rata Rata Arus Pada Agustus Tahun 2023 dan 2024.....        | 39 |

.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Energi listrik memainkan peran vital dalam kehidupan modern dan menjadi penopang utama berbagai sektor, seperti industri, teknologi, dan lingkungan. Dengan pertumbuhan populasi dan ekonomi yang pesat, kebutuhan akan energi listrik di seluruh dunia, termasuk di Indonesia, terus meningkat secara signifikan. Saat ini, lebih dari 95% suplai energi di Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. ketergantungan ini menciptakan tantangan besar, terutama dalam hal penurunan cadangan energi fosil dan peningkatan emisi gas rumah kaca yang memicu perubahan iklim global. [1]

Dalam upaya mengurangi ketergantungan pada energi fosil, pemerintah Indonesia melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah menetapkan target ambisius untuk meningkatkan porsi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), ditargetkan kontribusi EBT sebesar 23% pada tahun 2025 dan meningkat hingga 31% pada tahun 2050 [2]. Salah satu sumber EBT yang menjadi andalan Indonesia adalah energi surya, mengingat potensi radiasi matahari yang sangat besar, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu solusi utama untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Salah satu proyek PLTS yang signifikan di Indonesia adalah PLTS Gili Trawangan, yang berlokasi di Nusa Tenggara Barat. Dengan kapasitas total sebesar 600 kWp, PLTS ini terdiri dari dua unit, yaitu PLTS 200 kWp yang dibangun pada tahun 2011 dan PLTS 400 kWp yang dibangun pada tahun 2012. Proyek ini bertujuan untuk menggantikan peran Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang sebelumnya menjadi sumber listrik utama di Gili Trawangan. Selain mengurangi emisi karbon, PLTS ini juga diharapkan mampu meningkatkan ketahanan energi lokal di daerah tersebut[3]

Namun, setelah lebih dari satu dekade beroperasi, penurunan performa modul fotovoltaik mulai terlihat dan berdampak signifikan terhadap efisiensi sistem. Data dari pengelolaan PLTS menunjukkan bahwa terjadi penurunan performa modul fotovoltaik

silikon kristal sebesar 20% antara tahun 2019 hingga 2024. Penurunan ini disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk oksidasi, retakan mikro, dan kondisi lingkungan ekstrem seperti suhu tinggi, kelembapan, dan paparan sinar ultraviolet (UV) yang terus-menerus.

Secara teknis, degradasi modul fotovoltaik dapat terjadi karena *Light-Induced Degradation (LID)* dan *Potential-Induced Degradation (PID)*, yang umum terjadi pada modul silikon kristal. Di lingkungan tropis seperti Gili Trawangan, faktor eksternal seperti debu, kotoran, dan kelembapan tinggi juga mempercepat degradasi modul. Oleh karena itu, penting untuk melakukan investigasi mendalam terkait penyebab penurunan performa ini, guna memberikan rekomendasi pemeliharaan yang tepat.[4]

Penelitian ini akan melakukan analisis terhadap kondisi fisik dan elektrikal modul fotovoltaik di PLTS Gili Trawangan. Penggunaan teknologi seperti pencitraan termografi inframerah untuk mendeteksi hotspot dan pengukuran karakteristik I-V akan diterapkan untuk mengetahui tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus rangkaian pendek (Isc). Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi modul fotovoltaik di lapangan, serta memberikan solusi untuk memperpanjang umur pakai dan meningkatkan efisiensi sistem PLTS.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memperbaiki performa PLTS di Indonesia, khususnya PLTS Gili Trawangan, sehingga dapat mendukung pencapaian target EBT nasional serta memberikan referensi penting bagi pengelolaan PLTS di wilayah lain.

## **1.2. Perumusan masalah**

1. Apa saja faktor-faktor utama yang mempengaruhi penurunan performa modul fotovoltaik silikon kristal di PLTS Gili Trawangan?
2. Seberapa besar penurunan performa ini mempengaruhi produksi energi listrik di PLTS Gili Trawangan?

## **1.3. Batasan masalah**

Penelitian ini akan fokus pada analisis degradasi performa modul fotovoltaik silikon kristal di PLTS Gili Trawangan, dengan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada PLTS Gili Trawangan yang menggunakan modul fotovoltaik silikon kristal. Hasil penelitian mungkin tidak berlaku secara

umum untuk PLTS di lokasi lain yang menggunakan teknologi atau material modul yang berbeda.

2. Penelitian ini terbatas pada analisis performa modul fotovoltaik silikon kristal. Modul jenis lain, seperti thin-film, tidak menjadi bagian dari analisis dalam penelitian ini.
3. Data yang dianalisis dalam penelitian ini diambil dalam periode 2019 hingga 2024. Penelitian tidak mencakup data penurunan performa sebelum atau sesudah periode ini.
4. Analisis faktor degradasi dalam penelitian ini difokuskan pada pengaruh kondisi lingkungan (suhu, kelembapan, radiasi UV), serta degradasi material modul (oksidasi dan retakan mikro). Faktor lain seperti kesalahan desain atau kerusakan mekanis akibat penggunaan tidak masuk dalam ruang lingkup penelitian ini.
5. Penelitian ini menggunakan metode pengukuran karakteristik arus-tegangan (I-V) dan pencitraan termografi inframerah untuk mendeteksi hotspot. Selain itu, pengamatan visual sederhana dilakukan untuk mengidentifikasi kerusakan fisik yang terlihat, seperti retakan mikro atau delaminasi pada permukaan modul. Metode pengukuran elektroluminasi atau fotoluminasi tidak digunakan dalam penelitian ini.
6. Penelitian ini hanya menganalisis dampak penurunan performa modul terhadap suplai listrik yang dihasilkan oleh PLTS. Dampak lainnya, seperti biaya perawatan atau penggantian modul, tidak menjadi fokus utama dari penelitian ini.
7. Penelitian ini hanya untuk menganalisis penurunan combiner G2 dan G3

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang menyebabkan penurunan performa modul fotovoltaik silikon kristal di PLTS Gili Trawangan.
2. Mengukur dan menganalisis besaran penurunan performa modul fotovoltaik berdasarkan parameter elektrik kritis.
3. Menganalisis dampak penurunan performa modul terhadap suplai listrik yang dihasilkan oleh PLTS Gili Trawangan.
4. Menyusun rekomendasi teknis untuk mitigasi penurunan performa dan

pemeliharaan optimal modul fotovoltaik silikon kristal di PLTS Gili Trawangan.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan berbagai manfaat, baik manfaat Teoritis maupun Praktis, sebagai berikut:

1. Penelitian ini akan menambah literatur ilmiah terkait faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan performa modul fotovoltaik silikon kristal di lingkungan tropis. Temuan ini dapat menjadi referensi bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengelolaan dan optimasi performa PLTS di wilayah dengan kondisi lingkungan yang serupa.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan oleh akademisi dan peneliti untuk memahami lebih mendalam tentang mekanisme degradasi modul dan pengaruhnya terhadap efisiensi sistem PLTS secara keseluruhan. Ini juga dapat memicu penelitian lebih lanjut mengenai perbaikan teknologi modul yang lebih tahan terhadap kondisi ekstrem.
3. Penelitian ini dapat membantu pengelola PLTS untuk mengembangkan prosedur pemeliharaan yang lebih efektif, seperti inspeksi menggunakan pencitraan termografi inframerah dan pengukuran I-V secara rutin. Hal ini akan membantu mendeteksi masalah performa modul secara dini dan mencegah penurunan efisiensi yang lebih parah.
4. Dengan adanya pemeliharaan yang lebih terarah dan rekomendasi untuk mengatasi penurunan performa modul, pengelola PLTS dapat mengurangi biaya operasional jangka panjang yang disebabkan oleh penurunan kinerja dan penggantian modul yang tidak terencana.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Berikut ini adalah susunan penulisan skripsi secara umum :

#### **❖ Bagian awal**

Pada bagian awal mencakup lembar judul penelitian, lembar persetujuan penelitian, halaman abstrak, kata pengantar, lembar daftar isi, daftar gambar dan tabel daftar pustaka.

#### **• Bagian Isi**

Secara umum pada bagian pembahasan skripsi, membahas berikut ini :

- **Bab 1 Pendahuluan**
  - 1.1 Latar belakang penelitian
  - 1.2 Rumusan masalah penelitian
  - 1.3 Batasan masalah penelitian
  - 1.4 Tujuan penelitian
  - 1.5 Manfaat penelitian
  - 1.6 Sistematika penulisan
- **Bab II Tinjauan Pustaka**
  - 1.1 Penelitian terdahulu
  - 1.2 Landasan Teori
- **Bab III Metode Penelitian**
  - 3.1 Lokasi dan waktu penelitian
  - 3.2 Tahap penelitian
  - 3.3 Alat yang digunakan
  - 3.4 Metode pengumpulan data
  - 3.5 Proses pelaksanaan penelitian
  - 3.6 Jadwal kegiatan
- **Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan**
  - 4.1 Penyampaian hasil penelitian
  - 4.2 Pembahasan hasil penelitian
- **Bab V Penutup**
  - 5.1 Kesimpulan Penelitian
  - 5.2 Saran

❖ **Bagian Akhir**

Pada bagian ini terdiri atas daftar pustaka dan lampiran data penelitian

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, pengamatan lapangan, serta analisis data yang dilakukan di PLTS Gili Trawangan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

##### **1. Kondisi Kerusakan Modul Fotovoltaik**

Setelah beroperasi selama  $\pm 12-13$  tahun, PLTS di Gili Trawangan mengalami penurunan kinerja akibat kerusakan modul fotovoltaik yang signifikan. Dari total 2240 modul PV yang terpasang pada unit G2 dan G3, ditemukan berbagai bentuk kerusakan, yaitu *micro crack*, oksidasi, serta *hotspot*.

- Modul yang mengalami *microcrack* teridentifikasi sebanyak 666 unit (30%).
- Modul yang mengalami oksidasi sebanyak 985 unit (44%)
- Modul yang mengalami *hotspot* sebanyak 184 unit (8%)

Jika angka-angka tersebut dijumlahkan secara langsung, totalnya akan melebihi 100% karena terdapat overlap (tumpang tindih), di mana satu modul bisa mengalami lebih dari satu jenis kerusakan sekaligus. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan akumulasi, yakni menghitung total modul unik yang benar-benar mengalami kerusakan tanpa menghitung ganda.

Hasil akumulasi menunjukkan bahwa sekitar 1415 modul (63%) mengalami kerusakan, sedangkan sisanya sekitar 825 modul (37%) masih berfungsi normal. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar modul telah mengalami degradasi yang cukup serius, yang memengaruhi keandalan dan performa sistem PLTS secara keseluruhan.

##### **2. Penurunan Performa Produksi Energi**

Kerusakan pada modul fotovoltaik berdampak langsung terhadap performa produksi energi. Hasil analisis menunjukkan bahwa arus rata-rata ( $I_{pm}$ ) mengalami penurunan dari 60,64 A (2023) menjadi 48,77 A (2024), setara dengan penurunan 19,59 %. Selain itu, produksi energi bulanan juga turun dari 43.586,08 kWh (Agustus 2023) menjadi 33.077,95 kWh (Agustus 2024), dengan penurunan sekitar 24%.

## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang diberikan agar penelitian berikutnya lebih baik lagi yaitu sebagai berikut:

1. Melakukan pengecekan rutin menggunakan alat termografi inframerah untuk mendeteksi kerusakan fisik dan hotspot lebih awal, dan memanfaatkan sistem pemantauan real-time untuk memantau kinerja modul secara langsung dan mencegah penurunan performa yang tidak terdeteksi.
2. Untuk menghindari bertambahnya kejadian hotspot, pembersihan modul harus dilakukan secara rutin untuk menghindari munculnya penumpukan kotoran berupa debu dan kotoran burung, serta melakukan pemangkasan pohon disekitar lingkungan PLTS Gili Trawangan yang memberikan efek bayangan (shading) ke modul fotovoltaik. Pembersihan sebaiknya menggunakan air dankain yang halus dan meresap air untuk mendapatkan hasil yang lebih bersih dan menghindari kerusakan pada modul fotovoltaik.
3. Pemeliharaan rutin modul fotovoltaik type diperlukan utamanya modul fotovoltaik tipe monocrystalline dengan memberikan lapisan sealant dengan kualitas yang baik untuk mencegah terjadinya oksidasi/korosi akibat masuknya moisture (uap air dan embun) pada layar antara kaca pelindung dan lapisan enkapsulasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Anindhita, F., Sugiyono, A., Ode, L., & Abdul, *Outlook energi indonesia 2018: Energi berkelanjutan untuk transportasi darat.*, no. September. 2018.
- [2] Presiden Republik Indonesia, “Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017: Rencana Umum Energi Nasional,” *Peratur. Pres.*, pp. 67–69, 2017.
- [3] S. Aryza, A. Putera, and U. Siahaan, “Implementasi Energi Surya Sebagai Sumber Suplai Alat Pengereng Pupuk Petani Portabel,” vol. 2, no. 1, pp. 12–18, 2017.
- [4] M. Köntges *et al.*, *Review of Failures of Photovoltaic Modules*, no. April 2015. 2014.
- [5] R. Ebner, B. Kubicek, and G. Újvári, “Non-destructive techniques for quality control of PV modules : infrared thermography , electro- and photoluminescence imaging,” pp. 8104–8109, 2013.
- [6] D. C. Jordan and S. R. Kurtz, “Photovoltaic degradation rates - An Analytical Review,” *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 21, no. 1, pp. 12–29, 2013, doi: 10.1002/pip.1182.
- [7] H. H. and J. B. S. Pingel, O. Frank, M. Winkler, S. Oaryan, T. Geipel, “POTENTIAL INDUCED DEGRADATION OF SOLAR CELLS AND PANELS S. Pingel, O. Frank, M. Winkler, S. Oaryan, T. Geipel, H. Hoehne and J. Berghold SOLON SE, Am Studio 16, 12489 Berlin, Germany,” *35th IEEE PVSC.*, pp. 2817–2822, 2010, [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5616823>
- [8] S. Hegedus, *Photovoltaic Science*. 2003.
- [9] H. Annison, “Book review: Book review,” *Criminol. Crim. Justice*, vol. 11, no. 3, pp. 277–278, 2011, doi: 10.1177/1748895811401979.
- [10] Sariman, A. S, K. M, and B. I, “Analisa Efisiensi Pengaruh Parameter Cahaya Matahari Pada Fotovoltaik 100Wp Jenis Polikristal , Monokristal Dan Amorphous,” *Tek. Elektro, Univ. Sriwijaya, Palembang*, no. Esdm 2015, pp. 23–24, 2019.
- [11] R. M. Swanson, “Photovoltaics power up,” *Science (80-. )*, vol. 324, no. 5929, pp. 891–892, 2009, doi: 10.1126/science.1169616.
- [12] I. Pembangkit and L. Tenaga, “Dos & Don ’ ts”.
- [13] S. W. Putri, G. Marausna, and E. E. Prasetyo, “ANALISIS PENGARUH

## INTENSITAS CAHAYA MATAHARI TERHADAP DAYA Pendahuluan

Energi listrik telah menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan manusia , hampir setiap sendi kehidupan manusia telah melibatkan listrik di dalamnya . Energi Listrik merupakan sumber day,” vol. 8, no. 1.

- [14] I. Factors and M. Techniques, “Performance , Influencing Factors , and Mitigation Techniques,” *Eneriges*, vol. 15, no. 7595, 2022.
- [15] C. Buerhop, D. Schlegel, M. Niess, C. Vodermayr, R. Weißmann, and C. J. Brabec, “Solar Energy Materials & Solar Cells Reliability of IR-imaging of PV-plants under operating conditions,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 107, pp. 154–164, 2012, doi: 10.1016/j.solmat.2012.07.011.
- [16] E. Meilia Suryanti and I. Bagus Fery Citarsa, “ANALISIS UNJUK KERJA SISTEM FOTOVOLTAIK ON-GRID PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) GILI TRAWANGAN [Photovoltaic System Performance Analysis On-Grid On Solar Power Plant (PLTS) Gili Trawangan],” *Dielektrika*, vol. 1, no. 2, pp. 82–95, 2014.
- [17] D. A. N. I. Matahari, “ANALISIS KELUARAN ENERGI LISTRIK PADA PANEL SURYA 60 WP DITINJAU DARI SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP PENGARUH SUHU ANALISIS KELUARAN ENERGI LISTRIK PADA PANEL SURYA 60 WP,” 2022.
- [18] S. Teknika *et al.*, “ANALISA DAYA PADA PANEL SURYA DI PEMBANGKIT 30 KVA GEDUNG KANTOR PT . ENERGI LISTRIK BATAM,” vol. 5, no. 1, pp. 57–69, 2022.
- [19] Y. Setyaningrum, D. Pembimbing, and D. Fisika, “NRP 1113 100 031 Dosen Pembimbing Prof . Dr . Darminto , M . Sc Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2017 i,” 2017.
- [20] Y. M. Simanjuntak *et al.*, “Kata Kunci : PLTS , Modul praktikum , daya output modul surya , besar arus BCR , pengisian baterai , daya output inverter Pada siang hari , saa matahari bersinar , radiasi yang dihasilkan dari cahaya matahari ditangkap oleh panel surya , maka electron – electron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P , sehingga pada terminal keluaran dari panel berbeda – beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan di dalam panel surya tersebut . Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah ( DC ) yang besar tegangan keluarannya tergantung dengan jumlah sel surya yang

dipasang dalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut . Keluaran dari panel surya ini sudah dapat digunakan langsung ke beban yang memerlukan sumber tegangan DC dengan konsumsi arus yang kecil . Pada saat malam hari kondisi panel surya tidak disinari cahaya matahari , maka keluaran dari panel surya ini harus dihubungkan ke sebuah media penyimpanan ( batere / ACCU ). Tetapi ini tidak langsung dihubungkan begitu saja dari panel surya ke batere , tetapi harus dihubungkan ke rangkaian regulator / BCR , dimana didalam rangkaian tersebut terdapat rangkaian pengisi baterai otomatis ( Automatic Charger ). ( Sutarno , 2013 ),” 2017.