

ANALISIS EKSPERIMENTAL DAMPAK FREKUENSI MAINTENANCE TERHADAP KINERJA PANEL SURYA FOTOVOLTAIK

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF MAINTENANCE FREQUENCY ON THE PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS

**¹Jeffry Azhari Rosman, ²Syaiful Arif, ³Regi Ramadhan, ⁴Ryan Andriansyah,
⁵Muhammad Iqbal Yasin**

^{1,2,3,4,5}*Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pamulang Serang Kota Serang
Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten 42183*

email : ¹Jeffryazhari@gmail.com, ²dosen10017@unpam.ac.id

ABSTRAK

Panel surya fotovoltaik merupakan teknologi energi terbarukan yang kinerjanya sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama akumulasi debu dan kotoran pada permukaannya. Penurunan efisiensi akibat kotoran ini menjadi masalah signifikan, namun seringkali pengguna kurang memiliki pemahaman teknis mengenai frekuensi pemeliharaan yang optimal untuk menjaga kinerja panel. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara eksperimental dampak dari tiga frekuensi pembersihan setiap minggu, dua minggu sekali, dan sebulan sekali terhadap kinerja, daya maksimum, dan efisiensi panel surya. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental kuantitatif dengan objek 6 panel surya Trinasolar 12 Monocrystalline 575WP yang terpasang di rumah peneliti. Pengumpulan data parameter (Tegangan, Arus, Suhu, Lux) dilakukan pada interval waktu 08:00 hingga 16:00 untuk setiap skenario pembersihan. Hasil penelitian menunjukkan korelasi yang jelas: frekuensi pembersihan mingguan menghasilkan kinerja paling optimal dan stabil, dengan efisiensi rata-rata tertinggi mencapai 15,49%. Sebaliknya, penundaan pembersihan berdampak signifikan; frekuensi sebulan sekali mengalami penurunan daya puncak rata-rata yang terukur sebesar 14,16% hanya dalam satu bulan (dari 2051,3 W menjadi 1760,8 W). Temuan menarik lainnya adalah daya puncak tertinggi (2493,3 W) tercapai saat suhu panel juga tertinggi (50,0°C). Analisis membuktikan ini terjadi karena dampak positif peningkatan Arus (I) akibat intensitas cahaya (Lux) yang ekstrem (137.128,6 lx) lebih dominan dari pada dampak negatif penurunan Tegangan (V) akibat suhu tinggi. Kesimpulan utama dari penelitian ini adalah frekuensi pembersihan mingguan merupakan strategi pemeliharaan yang paling efektif untuk menjaga efisiensi panel surya secara maksimal.

Kata Kunci : Panel Surya, Frekuensi Pemeliharaan, Efisiensi Panel, Kinerja Panel Surya.

ABSTRACT

Photovoltaic solar panels are a renewable energy technology whose performance is highly influenced by environmental factors, particularly the accumulation of dust and dirt on their surfaces. The efficiency loss caused by this contamination has become a significant issue; however, users often lack sufficient technical understanding regarding the optimal maintenance frequency required to maintain panel performance. This study aims to experimentally analyze the impact of three cleaning frequencies weekly, biweekly, and monthly on the performance, maximum power output, and efficiency of solar panels. The research employs a quantitative experimental method using six Trinasolar 12 Monocrystalline 575WP solar panels installed at the researcher's residence. Data parameters (Voltage, Current, Temperature, and Lux) were collected at time intervals between 08:00 and 16:00 for each cleaning scenario. The results show a clear correlation: weekly cleaning produced the most optimal and stable performance, with the highest average efficiency reaching 15.49%. In contrast, delaying the cleaning schedule had a significant impact; panels cleaned only once a month experienced an average peak power reduction of 14.16% within just one month (from 2051.3 W to 1760.8 W). Another interesting finding is that the highest peak power (2493.3 W) occurred when the panel temperature was also at its highest (50.0 °C). The analysis confirmed that this happened because the positive effect of increased current (I), caused by extremely high light intensity (137,128.6 lx), outweighed the negative impact of voltage (V) reduction due to high temperature.

Keywords : Solar Panel, Maintenance Frequency, Panel Efficiency, Solar Panel Performance.

I. PENDAHULUAN

Teknologi solar photovoltaic (PV) telah mengalami perkembangan pesat dan menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang paling banyak digunakan dan ramah

lingkungan (Dzulfikar & Broto, 2016). Panel surya, yang tersusun dari sel fotovoltaik berbahan semikonduktor, bekerja mengonversi energi matahari secara langsung menjadi energi listrik. Proses ini memanfaatkan efek fotolistrik, di mana cahaya matahari memicu pelepasan elektron dan menghasilkan arus listrik (Pardede dkk., 2022).

Penerapan panel surya semakin meluas di skala rumah tangga untuk mengurangi ketergantungan pada listrik dari PLN. Meskipun demikian, dalam praktiknya, efisiensi panel surya dapat menurun akibat berbagai faktor. Permasalahan utama yang sering terjadi adalah penurunan efisiensi akibat akumulasi debu dan kotoran pada permukaan panel. Kotoran ini menghalangi penyerapan cahaya matahari, sehingga menurunkan daya keluaran dan efisiensi sistem. Permasalahan yang dihadapi pengguna adalah kurangnya pemahaman teknis mengenai frekuensi pembersihan yang tepat untuk menjaga kinerja optimal panel surya. Ketidaktepatan dalam prosedur pembersihan dapat menyebabkan penurunan efisiensi, mempercepat degradasi komponen, serta meningkatkan risiko gangguan teknis. Beberapa penelitian terdahulu telah menyoroti pentingnya kebersihan panel. Studi-studi ini secara konsisten menunjukkan bahwa perawatan berkala sangat penting untuk meningkatkan efisiensi panel surya (Ruliyanta dkk., 2024). Penelitian secara spesifik membandingkan output daya antara panel yang kotor dan bersih (Nurlis dkk., 2020). Sebagai contoh, P.A. Sujana, dkk menemukan bahwa modul surya yang dibersihkan menghasilkan daya lebih tinggi (13,63 W) dibandingkan yang tidak dibersihkan (13,45 W) (P.A. dkk., 2017). Syafiatun et al juga menemukan peningkatan produksi energi sebesar 1,63% setelah membersihkan panel yang telah dibiarkan kotor selama satu tahun (Syafiatun dkk., 2023). Studi lain berfokus pada kuantifikasi polutan, yang menemukan bahwa panel bersih dan kering menghasilkan daya tertinggi (5,42 Watt) sementara panel terpolusi dan kering menghasilkan daya terendah (4,43 Watt) (Talawo dkk., 2022).

Dalam hal efisiensi, Rendy Pambudiarso menghitung adanya peningkatan efisiensi rata-rata sebesar 0,8% setelah panel dibersihkan (Rendy, 2021). Sementara itu, Kadek Putra Aristyawan mencatat peningkatan efisiensi yang lebih signifikan, yaitu dari 15,2% (sebelum dibersihkan) menjadi 16,3% (setelah dibersihkan) (Aristyawan, 2024). Isu kebersihan ini juga mendorong pengembangan solusi teknologi, seperti analisis sistem pembersih debu (Meilany dkk., 2024) dan perancangan pembersih otomatis berbasis IoT (Angga & Sitti, 2023).

Meskipun penelitian-penelitian tersebut mengkonfirmasi pentingnya kebersihan, masih terdapat celah dalam pemahaman mengenai frekuensi pemeliharaan yang optimal. Selain kebersihan, kinerja panel sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan suhu permukaan. Batas suhu optimal untuk efisiensi terbaik adalah 25° Celsius (Widiantara & Sugiarta, 2019), dan suhu yang lebih tinggi dari itu akan menurunkan daya keluaran, sekitar 0,5% per derajat (Abdullah dkk., 2023).

II. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode eksperimental kuantitatif. Data diperoleh melalui pengukuran langsung pada sistem panel surya yang terpasang.

A. Lokasi dan Waktu Penelitian Penelitian dilaksanakan di lokasi rumah peneliti, yaitu di Grand Balaraja Residence, Desa Solear, Kecamatan Solear, Kabupaten Tangerang. Koordinat lokasi adalah 6°17'07.8"S 106°24'52.0"E. Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan, mulai tanggal 1 Juli 2025 hingga 30 September 2025.

B. Objek dan Instrumen Penelitian Objek penelitian adalah sistem panel surya yang terpasang, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a) Panel Surya: 6 unit panel Trina Vertex Monocrystalline 575WP49.
- b) Konfigurasi: Rangkaian Seri.
- c) Spesifikasi Total: Daya maksimum total teoritis adalah 3450W (6 X 575W). Luas total permukaan (A) adalah 16,56 m² (dihitung dari 6 panel x 2,4 m x 1,15 m).

Instrumen yang digunakan untuk pengumpulan data meliputi:

- a) Avometer (Multimeter Digital): Tipe EZREN DT-9205A, digunakan untuk mengukur Tegangan DC (V) dan Arus DC (A).
- b) Lux Meter: Tipe AS803 Kuber, digunakan untuk mengukur intensitas iluminasi (Lux) dengan rentang 1-200.000 lux.
- c) Termometer Inframerah: Tipe Bobatest Non-Kontak Laser, digunakan untuk mengukur suhu permukaan panel (°C).
- d) Alat Pembersih: Spons, kain mikrofiber, dan air bersih.

C. Prosedur Penelitian Penelitian dibagi menjadi tiga skenario frekuensi pembersihan, di mana setiap skenario berlangsung selama satu bulan penuh:

- a) Skenario 1 (Juli 2025): Frekuensi Pembersihan Mingguan. Panel dibersihkan setiap tujuh hari (tanggal 1, 7, 14, 21, 28 Juli).
- b) Skenario 2 (Agustus 2025): Frekuensi Pembersihan Dua Mingguan. Panel dibersihkan setiap dua minggu (tanggal 1 dan 14 Agustus).

- c) Skenario 3 (September 2025): Frekuensi Pembersihan Sebulan Sekali. Panel hanya dibersihkan satu kali pada awal bulan (tanggal 1 September).

Untuk setiap skenario, pembersihan dilakukan secara manual sebelum pukul 07:00 pagi. Pengumpulan data (V, A, Suhu, Lux) dilakukan setiap hari pada lima interval waktu tetap: 08:00, 10:00, 12:00, 14:00, dan 16:00 WIB.

D. Teknik Analisis Data Data primer yang terkumpul dianalisis secara kuantitatif:

- a) Perhitungan Daya Keluaran (P_{out}): Dihitung menggunakan persamaan dasar $P = V \times I$.
- b) Perhitungan Efisiensi (η): Efisiensi dihitung sebagai perbandingan antara daya keluaran (P_{out}) dan daya masukan (P_{in}), dengan rumus $\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\%$.
- c) Perhitungan Daya Masukan (P_{in}): Dihitung dengan rumus $P_{in} = I_r \times A$. Luas total panel (A) adalah 16,56 m². Intensitas radiasi (I_r) dalam W/m² diperoleh dengan mengonversi data Lux menggunakan faktor konversi 1 lux = 0,0079 W/m², berdasarkan penelitian sebelumnya (Zein Muhamad; Oky Sanjaya Putra, 2022).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengumpulan data dan analisis dari ketiga skenario untuk menjawab rumusan masalah.

1. Hasil Skenario 1: Frekuensi Pembersihan Mingguan Pada skenario ini, panel dijaga dalam kondisi bersih secara konsisten. Kinerja harian menunjukkan pola yang dapat diprediksi: daya, suhu, dan lux meningkat dari pagi, mencapai puncak sekitar pukul 12:00, dan menurun pada sore hari.

Kinerja puncak pada skenario ini tercatat pada Minggu ke-4 (21-27 Juli). Pada periode tersebut, daya puncak rata-rata harian tertinggi mencapai 2493,3 W. Data menarik dari temuan ini adalah bahwa daya puncak tersebut dicapai pada kondisi:

A. Waktu: 12: 00

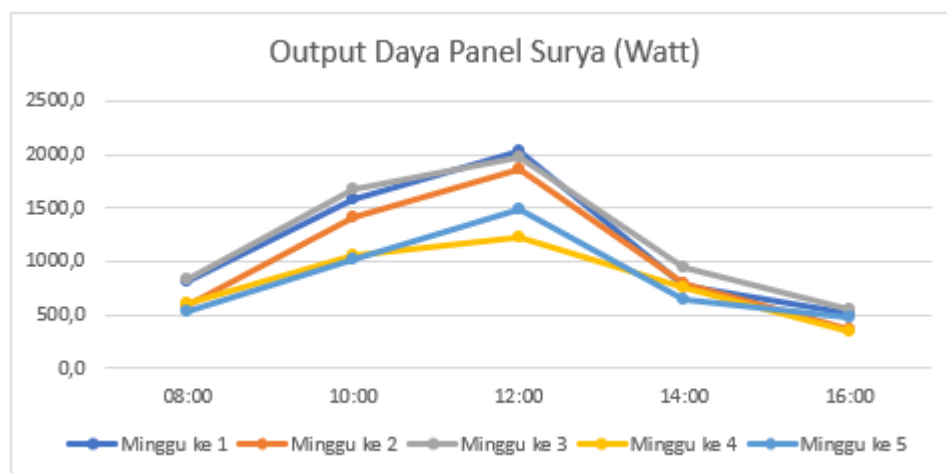
B. Suhu Panel: 50°C (Suhu rata-rata tertinggi yang tercatat)

C. Intensitas Cahaya: 137.128,6 (Intensitas rata-rata tertinggi yang tercatat)

Secara keseluruhan, pembersihan mingguan menghasilkan efisiensi rata-rata selama sebulan penuh sebesar 15,49%.

2. Hasil Skenario 2: Frekuensi Pembersihan Dua Mingguan Skenario ini menguji dampak interval pembersihan yang lebih lama. Hasil pengujian selama bulan Agustus menunjukkan:

- A. Minggu ke-1 dan ke-3 (setelah pembersihan): Panel menunjukkan kinerja yang baik. Kinerja puncak skenario ini tercatat pada Minggu ke-3 (14-20 Agustus) dengan daya puncak rata-rata harian 1966,8 W.
- B. Minggu ke-2, ke-4, dan ke-5 (menjelang pembersihan/setelah 1 minggu kotor): Terjadi tren penurunan performa. Penurunan paling drastis terlihat pada Minggu ke-5 (28-31 Agustus), di mana daya puncak rata-rata harian hanya 1488,5 W.



Gambar 1. Rata-rata Daya Panel Surya (Watt) dengan Frekuensi Pembersihan Dua Mingguan

Gambar 1 menunjukkan bahwa interval dua minggu merupakan "titik kritis" di mana akumulasi debu mulai memberikan dampak signifikan terhadap penurunan kinerja. Efisiensi rata-rata selama sebulan penuh pada skenario ini adalah 14,91%.

3. Hasil Skenario 3: Frekuensi Pembersihan Sebulan Sekali Skenario ini secara efektif mengukur dampak soiling loss (kerugian akibat kotoran) kumulatif selama sebulan penuh.

- a) Minggu ke-1 (01-06 Sept): Segera setelah pembersihan, panel mencatat daya puncak rata-rata harian sebesar 2051,3 W.
- b) Minggu ke-2 s/d ke-4: Kinerja panel menunjukkan tren penurunan yang stabil seiring bertambahnya akumulasi debu.
- c) Minggu ke-5 (28-30 Sept): Di akhir periode, panel dalam kondisi paling kotor. Daya puncak rata-rata harian yang tercatat turun drastis menjadi 1760,8 W.

Penurunan dari 2051,3 W menjadi 1760,8 W ini mewakili kerugian performa daya sebesar 14,16% dalam kurun waktu satu bulan akibat akumulasi debu . Efisiensi rata-rata selama sebulan penuh pada skenario ini adalah 14,98%.

4. Analisis Perbandingan Efisiensi Rata-Rata Analisis kuantitatif efisiensi rata-rata (η) untuk total periode pengujian (satu bulan penuh per skenario) disajikan pada Tabel 1. Efisiensi panel surya (η) dihitung menggunakan rumus dasar:

$$I_r = Lux \text{ (Intensitas cahaya rata – rata yang diukur)} \times 0,0079 \text{ } W/m^2$$

$$I_r = 59948,45 \times 0,0079 \text{ } W/m^2$$

$$I_r \approx 473,59 \text{ } W/m^2$$

$$P_{in} = I_r \times A$$

$$P_{in} = 473,59 \text{ } W/m^2 \times 16,56 \text{ } m^2$$

$$P_{in} = 7842,65 \text{ Watt}$$

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\%$$

$$\eta = \left(\frac{1215,5 \text{ Watt}}{7842,65 \text{ Att}} \right) \times 100\%$$

$$\eta = 0,1549 \times 100\%$$

$$\eta = 15,49\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, hasil efisiensi daya listrik diperoleh sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan Efisiensi Rata-Rata Hasil Penelitian

Frekuensi Pembersihan	Rata-rata Lux (lx)	Rata-rata Daya (Watt)	Efisiensi Rata-rata (η)
Mingguan (Juli)	59948,45	1215,5	15,49%
Dua Mingguan (Agustus)	52929,71	1032,7	14,91%
Sebulan Sekali (Sept)	53438,35	1047,5	14,98%

Hasil perhitungan efisiensi mengkonfirmasi bahwa frekuensi pembersihan mingguan secara jelas menghasilkan efisiensi rata-rata tertinggi (15,49%). Sementara itu, frekuensi yang lebih jarang menghasilkan efisiensi yang lebih rendah. Adanya anomali di mana efisiensi 'Sebulan Sekali' (14,98%) sedikit lebih tinggi dari 'Dua Mingguan' (14,91%) kemungkinan besar dipengaruhi oleh variasi kondisi lingkungan,

seperti perbedaan rata-rata intensitas cahaya (Lux) yang diterima panel selama periode pengujian yang berbeda (Agustus vs September). Namun, temuan utamanya tetap konsisten: interval pembersihan yang lebih singkat (mingguan) adalah yang paling optimal.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis eksperimental yang telah dilakukan terhadap dampak frekuensi *maintenance* (pembersihan) terhadap kinerja panel surya fotovoltaik, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a) Pengaruh Frekuensi Pembersihan terhadap Efisiensi: Frekuensi pembersihan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap efisiensi panel surya. Frekuensi pembersihan Mingguan terbukti menjadi strategi pemeliharaan yang paling optimal. Hal ini dikonfirmasi oleh hasil perhitungan efisiensi rata-rata tertinggi yang dicapai, yaitu sebesar 15,49%.
- b) Perbedaan Daya Maksimum: Terdapat perbedaan daya maksimum yang jelas antara ketiga frekuensi pembersihan. Frekuensi Mingguan menunjukkan kemampuan untuk mencapai daya puncak tertinggi dan paling stabil, dengan daya puncak rata-rata harian mencapai 2493,3 W pada minggu ke-4. Kinerja yang stabil ini disebabkan oleh permukaan panel yang terus terjaga kebersihannya. Frekuensi Dua Mingguan dan Sebulan Sekali menghasilkan daya yang lebih rendah.
- c) Perubahan (Penurunan) Efisiensi: Perubahan efisiensi akibat akumulasi kotoran terkonfirmasi secara kuantitatif. Pada pengujian frekuensi sebulan sekali, daya puncak rata-rata turun dari 2051,3 W (Minggu 1) menjadi 1760,8 W (Minggu 5). Penurunan performa daya ini mewakili kerugian efisiensi sebesar 14,16% hanya dalam kurun waktu satu bulan akibat akumulasi debu.

B. SARAN

Saran Berdasarkan kesimpulan dan keterbatasan penelitian, berikut adalah beberapa saran yang dapat diajukan:

- a) Untuk Pengguna Panel Surya (Praktis): Penerapan pembersihan setiap minggu sangat disarankan untuk menjaga efisiensi panel surya tetap maksimal dan

menghindari kerugian daya yang signifikan akibat akumulasi debu, terutama pada musim kemarau.

- b) Untuk Pengembangan Penelitian Lanjutan (Akademis): a. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan membandingkan efisiensi di lokasi berbeda (misalnya, kawasan industri atau pinggir jalan raya) guna menganalisis dampak jenis polutan yang beragam . b. Penelitian selanjutnya sebaiknya menguji frekuensi pembersihan dengan jenis panel surya yang berbeda (seperti polycrystalline atau thin film). c. Diperlukan penelitian perbandingan kuantitatif antara metode pembersihan manual dengan sistem pembersihan otomatis untuk menentukan metode mana yang paling hemat biaya dan energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Pranoto, S.E., M.M., selaku ketua Yayasan Sasmita Jaya , Bapak Dr. E Nurzaman, AM., M.M., M.Si., selaku Rektor Universitas Pamulang , Bapak Dr. Imam Sofi'I, SE, S.Ag, M.Ag., M.Pd. selaku Direktur Universitas Pamulang Kampus Serang , Bapak Yohan, S.Si., M.Si. selaku ketua program studi teknik mesin , dan Bapak Syaiful Arif S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan dorongan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Putri, M., Iriani, J., Hulu, F. N., & Cholish. (2023). *Sistem Pendinginan Permukaan Panel Surya Dalam Optimalisasi Kerja Panel Surya Dengan*. 6(1), 61–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.30596/rele.v6i1.15491>
- Angga, R., & Sitti, N. (2023). *Kontrol Otomatis Pembersih Panel Surya Berbasis Iot Dengan Menggunakan Platform Angga Renaldi*.
- Aristyawan, K. P. (2024). *Alternatif Sistem Pembersihan Untuk Meningkatkan Efisiensi Modul Surya Monokristalin Di Lingkungan Berdebu*.
- Dzulfikar, D., & Broto, W. (2016). *Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga*. V, SNF2016-ERE-73-SNF2016-ERE-76. <https://doi.org/10.21009/0305020614>
- Meilany, M., Dika Satria, Pusparina A, R., Dhia Saputro, A., Fasial Tanjung, B., & Hidayat, R. (2024). Analisis Output Daya pada Sistem Pembersih Debu berbasis ESP32 terhadap Panel Surya. *Jurnal Komputer dan Elektro Sains*, 2(2), 16–21. <https://doi.org/10.58291/komets.v2i2.169>
- Nurlis, E. E., Heru, A., & A, D. S. (2020). *Analisa Pengaruh Kondisi Panel Surya Kotor Dengan Panel Surya*. 1025–1040. <https://doi.org/https://doi.org/10.36312/jcm.v4i1.3342>

- P.A., S., I.N.S., K., & I.A.D, G. (2017). *Pengaruh Kebersihan Modul Surya Terhadap Unjuk Kerja PLTS. October 2015.*
- Pardede, R., Satria, H., Ridwan, A., & Putri, S. M. (2022). Sosialisasi Budaya Hidup Bersih Menggunakan Teknologi Pemilah Sampah Otomatis Berbasis Panel Surya. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 6(4), 2895. <https://doi.org/10.31764/jmm.v6i4.9226>
- Rendy, P. (2021). *Analisis Pengaruh Kebersihan Panel Surya Terhadap Efisiensi Panel Surya Plts Rooftop Kapasitas 131.320 Kw Di Pt. Indonesia Power Bali.*
- Ruliyanta, R., Kusumoputro, R. A. S., & Hartoyo, P. (2024). Peningkatan Efisiensi Panel Surya Melalui Perawatan Berkala. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 8(1), 544. <https://doi.org/10.31764/jmm.v8i1.20255>
- Syafiatun, S., I, N. S. kumara, & I, N. S. (2023). *Analisa kebersihan panel surya terhadap keluaran plts on-grid 200 kwp bandara.* 10(4), 253–262.
- Talawo, D. C. P., Ilham, J., & Amali, L. M. K. (2022). Pengaruh Polutan pada Permukaan Panel Surya Terhadap Kinerja Panel Surya Kapasitas 10 Wp. *Jambura Industrial Review*, 2(1), 31–38. <https://doi.org/10.37905/jirev.2.1.31-38>
- Widiantara, I. B. G., & Sugiarta, N. (2019). Pengaruh Penggunaan Pendingin Air Terhadap Output Panel Surya Pada Sistem Tertutup. *Matrix : Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, 9(3), 110–115. <https://doi.org/10.31940/matrix.v9i3.1582>
- Zein Muhamad; Oky Sanjaya Putra, R. M. (2022). *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Pos Batas Security PT. Gula Putih Mataram Kabupaten Lampung Tengah.* 9(April).