

Analisa Kinerja Panel Surya terhadap Intensitas Cahaya Matahari pada Sistem Kincir untuk Budidaya Kolam Air Tawar

Ridwan^{1*}, Fadhil Miftahudin¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Prodi Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Batam,
Kota Batam, Kepulauan Riau, Indonesia

*Email:

Received on dd-mm-yyyy | Revised on dd-mm-yyyy | Accepted on dd-mm-yyyy

Abstrak — Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya serta mengevaluasi kinerja model regresi linier dalam memprediksi daya keluaran panel surya. Data diperoleh melalui pengukuran langsung intensitas cahaya matahari, tegangan, dan arus listrik panel surya pada berbagai kondisi penyinaran alami. Daya panel surya dihitung berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus, kemudian dianalisis menggunakan metode regresi linier sederhana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari memiliki hubungan linier positif dan berpengaruh signifikan terhadap daya panel surya. Persamaan *regresi* yang diperoleh menunjukkan bahwa peningkatan intensitas cahaya matahari diikuti oleh peningkatan daya keluaran panel surya. Nilai *koefisien determinasi* (R^2) sebesar 98,44% menunjukkan bahwa model regresi linier memiliki tingkat kecocokan yang sangat baik. Analisis error menunjukkan bahwa sebagian besar nilai error relatif kecil, sehingga model regresi linier dinyatakan layak digunakan.

Kata Kunci : Panel Surya, Intensitas Cahaya Matahari, Daya Listrik, *Regresi Linier*

Abstract Solar energy is a renewable energy source that has great potential for development. This study aims to analyze the effect of sunlight intensity on the electrical power generated by solar panels and evaluate the performance of a linear regression model in predicting solar panel output power. Data were obtained through direct measurements of sunlight intensity, voltage, and solar panel electric current under various natural lighting conditions. Solar panel power was calculated based on the results of voltage and current measurements, then analyzed using a simple linear regression method. The results showed that sunlight intensity has a positive linear relationship and has a significant effect on solar panel power. The regression equation obtained shows that an increase in sunlight intensity is followed by an increase in solar panel output power. The coefficient of determination (R^2) value of 98.44% indicates that the linear regression model has a very good level of fit. Error analysis shows that most of the error values are relatively small, so the linear regression model is declared suitable for use.

Keywords: Solar Panel, Sunlight Intensity, Electrical Power, Linear Regression

I. PENDAHULUAN

Banyak industri, seperti pertanian dan perikanan, mulai menggunakan energi terbarukan berbasis

Matahari [1]. Efek *fotovoltaik* adalah cara panel surya menghasilkan energi dari radiasi matahari. Di negara tropis seperti Indonesia, yang memiliki dua musim, pengembangan panel surya sangat menguntungkan [2].

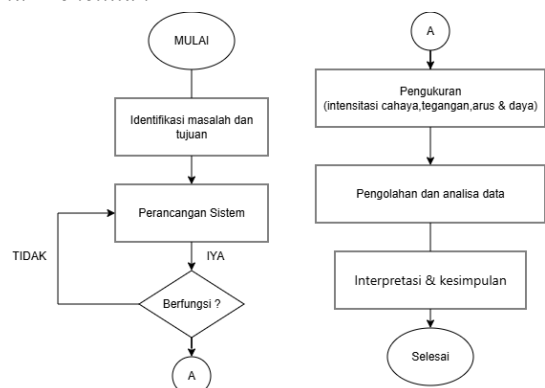
Salah satu penerapan panel surya yang semakin berkembang adalah sebagai sumber energi untuk sistem kincir air pada budidaya kolam air tawar [3]. Kincir air berperan penting dalam menyuplai oksigen ke dalam air sehingga menunjang kelangsungan hidup ikan. Namun, ketidakstabilan daya yang dihasilkan panel surya akibat fluktuasi intensitas cahaya matahari dapat menyebabkan kincir air beroperasi secara tidak konsisten, bahkan berhenti, sehingga mengganggu suplai oksigen dalam kolam [4].

Berbagai faktor eksternal, seperti intensitas radiasi matahari, suhu permukaan panel, dan kecepatan angin di sekitar pemasangan, memengaruhi kinerja panel surya. Karena intensitas cahaya yang diterima panel surya berkorelasi langsung dengan jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan, intensitas cahaya yang diterima panel lebih besar [5]. Semakin banyak foton yang diserap oleh material semikonduktor panel, semakin banyak elektron yang tereksitasi dan mengalir, yang menghasilkan arus dan daya yang lebih besar [6].

Metode regresi linier sederhana digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis hubungan antara dua variabel, intensitas cahaya matahari dan daya listrik yang dihasilkan panel surya pada sistem kincir air. Metode regresi linier dipilih karena metode ini dapat menggambarkan hubungan kuantitatif antara dua variabel, menghasilkan persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi daya keluaran yang didasarkan pada intensitas cahaya yang diukur [7]. Untuk budidaya kolam air tawar, model prediksi ini diharapkan dapat membantu mengelola beban energi dengan lebih efisien.

II. METODE

A. Alur Penelitian

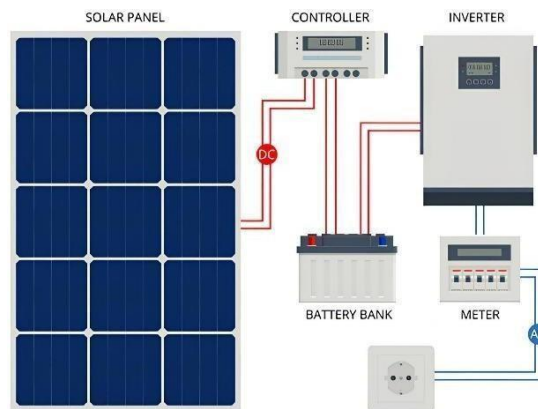


Gambar 1. Flow Sistem

Metodologi penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi masalah dan menetapkan tujuan. Langkah selanjutnya adalah tahap perancangan sistem yang kemudian langsung dilanjutkan dengan proses pengujian untuk memastikan bahwa sistem dapat beroperasi dengan baik. Secara otomatis, alur akan dialihkan kembali ke tahap perancangan untuk melakukan perubahan atau perbaikan jika sistem yang dinilai tidak berfungsi dengan baik. Namun, setelah sistem dipastikan beroperasi secara optimal, langkah berikutnya adalah proses pengukuran untuk mendapatkan data fisik seperti intensitas cahaya, tegangan, arus, dan daya. Data mentah ini kemudian diproses dan dianalisis secara menyeluruh. Sebelum menyatakan siklus proses secara keseluruhan, hasil analisis diinterpretasikan untuk menghasilkan kesimpulan akhir yang sah yang menjawab tujuan awal.

B. Panel Surya

Penelitian ini menggunakan sistem panel surya yang terhubung dengan kincir air pada kolam budidaya air tawar. Komponen utama sistem terdiri dari panel surya, *MPPT charge controller*, baterai (*battery bank*), *inverter*, dan kincir air. Panel surya berfungsi menangkap energi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi listrik arus searah (DC), yang kemudian diatur oleh *controller* sebelum disimpan di baterai dan dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) oleh inverter untuk menggerakkan kincir air [8].



Gambar 2. Sistem Elektrikal

Pengukuran panel surya biasanya dilakukan dalam satuan *watt peak* (Wp), yang menunjukkan kapasitas daya listrik paling besar yang dapat dihasilkan dalam kondisi penyinaran ideal. Panel ini terbuat dari material semikonduktor dengan dua kutub negatif dan positif, yang memungkinkan aliran muatan listrik [9]. Lapisan semikonduktor menyerap energi foton dari cahaya matahari dan memicu perpindahan elektron, yang menghasilkan perbedaan potensial atau tegangan listrik antara kedua kutub [10].

Daya yang dihasilkan panel surya dihitung berdasarkan persamaan:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Di mana P adalah daya keluaran (*Watt*), V adalah tegangan (*Volt*), dan I adalah arus (*Ampere*). Daya maksimum panel

(PMPP) diperoleh ketika panel beroperasi pada titik daya maksimum[11]:

$$PMPP = VMP \times IMP \quad (2)$$

Efisiensi konversi energi (η) adalah parameter penting lainnya yang digunakan untuk mengukur kinerja panel surya selain daya keluaran. Sebuah istilah "efisiensi" mengacu pada seberapa efektif panel surya dalam mengonversi energi matahari yang diterima menjadi energi listrik yang dapat digunakan [11]. Tidak semua energi foton yang mengenai permukaan panel dapat diubah menjadi energi listrik karena refleksi permukaan, rekombinasi lubang elektron, dan disipasi panas pada material semikonduktor. Oleh karena itu, nilai efisiensi panel surya pada kondisi nyata selalu lebih kecil dari 100%. Efisiensi panel surya ditunjukkan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{G \times A} \times 100\% \quad (2)$$

Di mana η adalah efisiensi panel surya (%), P adalah daya keluaran panel (*Watt*), A adalah luas permukaan panel (m^2), dan G adalah intensitas cahaya matahari (W/m^2). Nilai efisiensi akan menurun apabila daya yang dihasilkan tidak meningkat secara proporsional terhadap intensitas cahaya yang diterima, misalnya akibat kenaikan suhu permukaan panel [12].

C. Regresi linier sederhana

Persamaan matematis regresi linier sederhana adalah: Metode analisis statistik regresi linier sederhana digunakan untuk mensimulasikan hubungan antara satu variabel bebas (X) dan satu variabel terikat (Y). Tujuan utama dari regresi linier adalah untuk memprediksi nilai Y berdasarkan nilai X, sekaligus mengetahui seberapa besar pengaruh X terhadap Y [13].

$$Y = a + bX + e \quad (3)$$

Di mana a adalah konstanta (*intersep*), b adalah koefisien regresi (*kemiringan garis*), dan e adalah galat (*error*) model. Nilai b menunjukkan besarnya perubahan Y untuk setiap perubahan satu satuan X.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4)$$

Kualitas model regresi dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2), yang menunjukkan seberapa besar variasi variabel terikat dapat dijelaskan oleh variabel bebas. Nilai R^2 mendekati 1 menandakan bahwa model regresi sangat baik dalam menjelaskan hubungan antara kedua variabel. SSR adalah jumlah kuadrat regresi, SST adalah jumlah kuadrat total, dan SSE adalah jumlah kuadrat error [14].

D. Hubungan Intensitas Cahaya dan Daya Panel Surya

Secara fisika, hubungan antara intensitas cahaya matahari (G) dan daya panel surya (P) bersifat linier dalam kondisi suhu panel yang relatif stabil, sehingga dapat dinyatakan sebagai:

$$P \approx k \cdot G \quad (5)$$

Di mana k adalah konstanta yang bergantung pada karakteristik panel. Karena hubungan ini mendekati linier, penggunaan regresi linier sederhana sangat tepat untuk menganalisis dan memprediksi performa panel terhadap variasi intensitas cahaya [15].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data pengukuran Lapangan

Data dikumpulkan selama tiga hari, dan hasilnya disajikan dalam Tabel 1, yang merupakan rekapitulasi lengkap dari data pengukuran yang digunakan dalam analisis regresi.

Nilai daya keluaran panel surya (P) pada setiap waktu pengukuran tidak dihitung secara langsung; sebaliknya, persamaan berikut digunakan untuk menghitung nilai tegangan (V) dan arus (I):

$$P = 1,88 \times 0,08 = 1.50 \text{ W} \quad (6)$$

TABEL I

Data Pengukuran Intensitas Cahaya dan Daya Panel Surya

Hari	Waktu	Intensitas (W/m ²)	V (V)	I (A)	P (W)
1	08.00	210	18,8	0,08	1,50
1	09.00	330	19,2	0,13	2,50
1	10.00	420	19,6	0,17	3,33
1	11.00	497	20,0	0,22	4,40
1	12.00	520	20,3	0,25	5,08
1	13.00	500	20,2	0,23	4,85
1	14.00	390	19,5	0,16	3,12
1	15.00	280	19,0	0,11	2,09
1	16.00	180	16,0	0,05	1,11
2	08.00	190	18,6	0,07	1,30
2	09.00	260	19,0	0,10	1,90
2	10.00	350	19,5	0,14	2,70
2	11.00	420	19,7	0,18	3,55
2	12.00	470	22,0	0,22	4,20
2	13.00	430	19,8	0,19	3,76
2	14.00	310	19,2	0,12	2,30
2	15.00	230	18,9	0,08	1,70
2	16.00	160	18,4	0,05	0,92
3	08.00	170	18,5	0,06	1,11
3	09.00	240	18,9	0,09	1,70
3	10.00	300	19,2	0,14	2,30
3	11.00	360	19,5	0,18	2,93
3	12.00	410	19,8	0,21	3,56
3	13.00	380	19,6	0,17	3,14
3	14.00	260	19,0	0,10	1,90
3	15.00	200	18,7	0,07	1,31
3	16.00	150	18,3	0,05	0,92

Dari data pada Tabel 1 terlihat bahwa intensitas cahaya matahari mencapai puncak sekitar pukul 12.00 WIB pada setiap hari pengukuran. Hari pertama memiliki intensitas tertinggi mencapai 520 W/m² dengan daya keluaran 5,08 W, sedangkan hari ketiga memiliki intensitas yang lebih rendah dengan

puncak 410 W/m² dan daya 3,56 W. Pola ini konsisten dengan posisi matahari yang mencapai titik tertinggi pada tengah hari.

B. Persamaan Regresi Linier

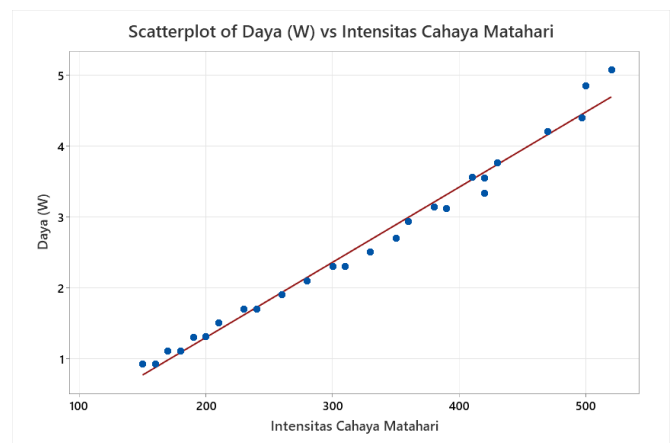
Berdasarkan analisis regresi linier sederhana menggunakan Minitab terhadap 27 pasang data intensitas cahaya dan daya panel surya, diperoleh persamaan regresi:

$$P = -0,8250 + 0,010613G \quad (7)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan intensitas cahaya sebesar 1 W/m² akan meningkatkan daya keluaran panel surya sebesar 0,010613 W. Nilai konstanta $-0,8250$ merupakan *intersep* yang bernilai negatif kecil, mencerminkan bahwa panel surya tidak dapat menghasilkan daya tanpa adanya cahaya, dan nilai ini muncul akibat noise pengukuran lapangan seperti pengaruh suhu dan ketidakstabilan sensor

TABLE II
Koefisien Regresi Linier

Term	Koef.	SE Koef.	T-Value	P-Value
<i>Konstanta</i> (a)	-0,8250	0,0905	-9,11	0,000
Intensitas Cahaya (b)	0,010613	0,000268	39,66	0,000



Gambar 3. Scatterplot hubungan intensitas cahaya matahari terhadap daya panel surya

C. Uji Signifikansi (Uji t)

Tabel II menunjukkan nilai t-value variabel intensitas cahaya sebesar 39,66 dengan p-value = 0,000 ($p < 0,05$), menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan dari intensitas cahaya matahari terhadap daya keluaran panel surya. Nilai t-value yang sangat besar menunjukkan hubungan yang kuat dan konsisten antara kedua variabel sesuai dengan uji t.

D. Uji Kelayakan Model (Uji F / ANOVA)

Uji F (ANOVA) dilakukan untuk memastikan apakah model regresi secara keseluruhan layak digunakan. Hasil analisis disajikan pada Tabel III

TABLE III
Hasil Uji F Model Regresi (ANOVA)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	38,4461	38,4461	1573,10	0,000
Error	25	0,6110	0,0244		
Total	26	39,0571			

Dengan nilai $F = 1573,10$ dan $p\text{-value} = 0,000$ ($p < 0,05$), model regresi yang digunakan dianggap sangat signifikan dan valid secara statistik. Artinya, hubungan antara intensitas cahaya matahari dan daya panel surya dapat dijelaskan dengan baik dengan model ini. Nilai F yang sangat tinggi juga menunjukkan bahwa kemungkinan kesalahan dalam penggunaan model sangat kecil.

E. Koefisien Determinasi (R^2)

Hasil analisis menunjukkan nilai *koefisien determinasi* (R^2) sebesar 98,44%, yang berarti 98,44% variasi daya panel surya dapat dijelaskan oleh perubahan intensitas cahaya matahari. Sementara itu, sisanya sebesar 1,56% dipengaruhi oleh faktor lain seperti suhu permukaan panel, arah datang cahaya, dan kondisi awan. Ringkasan model disajikan pada Tabel IV.

TABLE IV
Ringkasan Model Regresi

S	R^2	R^2 (adj)	R^2 (pred)
0,1563	98,44%	98,37%	98,05%

Nilai R^2 yang sangat tinggi sebesar 98,44% untuk data lapangan menunjukkan bahwa hasil pengukuran cukup konsisten dan bahwa kondisi eksperimen dikontrol dengan baik. Nilai *koefisien* korelasi $r = 0,992$ juga mengonfirmasi hal ini, menunjukkan bahwa tingkat keeratan hubungan antara intensitas cahaya matahari dan daya panel surya hampir sempurna.

F. Analisis Nilai Error (Residual)

Nilai *error* (residual) merupakan selisih antara daya aktual hasil pengukuran dan daya hasil prediksi model regresi, dihitung menggunakan:

$$P_{\text{prediksi}} = -0,8250 + (0,010613 \times 210) = 1,4037 \text{ W} \quad (8)$$

$$e = 1,50 - 1,4037 = 0,0963 \text{ W} \quad (9)$$

Nilai *error* ditemukan berada di antara $-0,302 \text{ W}$ dan $0,386 \text{ W}$, menurut analisis seluruh 27 data. Sebagian besar nilai *error* berada di rentang $\pm 0,2 \text{ W}$, yang kecil dibandingkan dengan nilai daya yang diukur. Hal ini menunjukkan bahwa model regresi linier benar-benar tepat.

Tiga observasi tidak biasa (*unusual observations*) ditemukan pada data ke-3 (std. resid. = $-2,00$), ke-5 (std. resid. = $2,69$), dan ke-6 (std. resid. = $2,53$). Diperkirakan bahwa penyimpangan ini disebabkan oleh perubahan intensitas cahaya karena tutupan awan dan perubahan sudut datang sinar matahari. Namun, asumsi regresi linier tetap terpenuhi karena pola *residual* secara keseluruhan tersebar secara acak.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Hubungan linier positif yang sangat signifikan antara intensitas cahaya matahari dan daya keluaran panel surya ditunjukkan dalam persamaan regresi $P = -0,8250 + 0,010613G$. Setiap peningkatan intensitas sebesar 1 W/m^2 menghasilkan kontribusi daya sebesar $0,0106 \text{ W}$, dengan ambang batas intensitas minimum sekitar $77,7 \text{ W/m}^2$ yang diperlukan untuk panel mulai menghasilkan daya efektif.
- 2) Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 98,44%, nilai F sebesar $1573,10$ ($p < 0,001$), dan koefisien korelasi r sebesar $0,992$ menunjukkan bahwa model regresi linier yang dihasilkan sangat layak digunakan. Variasi daya 98,44% dihasilkan oleh fluktuasi intensitas cahaya, sementara 1,56% terakhir dipengaruhi oleh variabel eksternal lainnya, seperti suhu permukaan panel.
- 3) Menurut analisis *error*, sebagian besar nilai residu relatif kecil (berkisar antara $-0,302 \text{ W}$ dan $0,386 \text{ W}$), sehingga model regresi linier terbukti akurat dan dapat digunakan sebagai acuan untuk memprediksi kinerja dan stabilitas operasional sistem kincir air berbasis panel surya pada budidaya kolam air tawar.

Suhu permukaan panel, arah kemiringannya terhadap matahari, dan kondisi lingkungan sekitar adalah beberapa faktor tambahan yang berpengaruh pada kinerja panel surya. Hasil penelitian ini mendorong penelitian lebih lanjut tentang topik ini. Selain itu, pengamatan pada kondisi cuaca yang berbeda dan selama periode waktu yang lebih lama dapat menghasilkan hasil yang lebih menyeluruh. Selain itu, ada kemungkinan untuk mengembangkan model regresi yang telah dibuat sebelumnya dengan menambahkan variabel tambahan untuk meningkatkan akurasi prediksi daya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Artikel, "Pemberdayaan Masyarakat Melalui Pemanfaatan Energi Surya Pada Usaha Budidaya Lele di Desa Klasmek," vol. 7, no. 2, pp. 2417–2423, 2026.
- [2] A. Pendahuluan, "POTENSI ENERGI SURYA FOTOVOLTAIK," pp. 76–79, 2020.
- [3] A. Stefanie, "Designing a Control System to Regulate an AC Electric Motor Using Arduino Uno on a Solar Floating Aerator," vol. 12, no. 1, 2024.
- [4] F. Huda *et al.*, "IMPLEMENTATION OF TURBINE TYPE AERATOR FOR SUSTAINABLE SUPPLY OF DISSOLVED OXYGEN FOR SHRIMP FARMING Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau UDANG," vol. 5, no. 1, pp. 392–403, 2021, doi: 10.19166/jspc.v5i1.1759.
- [5] A. H. Siregar, P. Harahap, U. Muhammadiyah, and S. Utara, "Efficiency," vol. 13, no. 2, pp. 97–102, 2024.
- [6] S. Prayogi, *Sel Surya dalam Konsep Fisika*. Mitra Cendekia Media, 2023.
- [7] T. Arifianto, Y. A. Pangestu, D. S. Oktaria, Lady Silk, and D. I. Pratiwi, "Prediksi Daya Pada Panel Surya

Menggunakan Metode Time Series dan Analisis Regresi,” vol. 4, no. 01, pp. 52–63, 2022.

- [8] M. Rifaldi, N. R. Alham, N. Izzah, M. N. Ihsan, and M. Sugianto, “Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan,” vol. 1, no. 1, pp. 16–24, 2023.
- [9] D. Amalia, H. Abdillah, and T. W. Hariyadi, “Analisa Perbandingan Daya Keluaran Panel Surya Tipe Monokristalin 50 wp Yang Dirangkai Seri Dan Paralel Pada Instalasi PLTS Off-Grid,” vol. 8, no. 1, pp. 12–21, 2022.
- [10] A. Bintoro, “ANALISA PENGARUH PERUBAHAN SUHU TERHADAP TEGANGAN PANEL SURYA JENIS MONO-CRYSTALLINE KAPASITAS DAYA 50 Wp,” vol. 11, pp. 22–25, 2022.
- [11] K. Dahlan, K. N. Anou, D. Napitupulu, and H. Hamzah, “Simulasi dan Pemodelan Sistem Optimalisasi Daya Panel Surya Menggunakan Metode Pelacakan Titik Daya Maksimum,” vol. 10, no. 1, pp. 6–12, 2024, doi: 10.31605/saintifik.v10i1.462.
- [12] I. Fajar, N. Diansyah, and S. Handoko, “IMPLEMENTASI DAN EVALUASI PERFORMA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON GRID STUDI KASUS SMP N 3 PURWODADI,” vol. 10, no. 4, pp. 4–11, 2021.
- [13] S. Lestari, S. Informasi, T. Dan, I. Komputer, U. Potensi, and S. Lestari, “Analisis Algoritma Regresi Linear Sederhana dalam Memprediksi Tingkat Penjualan Album K-pop,” vol. 2, no. 1, pp. 199–209, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i1.1692.
- [14] K. Rahayu, M. K. Aidid, and Z. Rais, “ANALISIS REGRESI DATA PANEL PADA ANGKA PARTISIPASI MURNI (APM) JENJANG PENDIDIKAN SMP SEDERAJAT DI PROVINSI JAWA BARAT PADA TAHUN 2018-2021,” vol. 5, no. 2, pp. 64–73, 2023, doi: 10.35580/variasiunm113.
- [15] J. Edi *et al.*, “Jurnal Inovator Analisa Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluar Dan Efisiensi Pada Panel Surya,” vol. 7, no. 2, pp. 72–77, 2024.

