

## Optimasi Kemiringan Sel Surya untuk Meningkatkan Daya Keluaran: Pendekatan Kontekstual dalam Pembelajaran Energi Terbarukan di SMA

Eni Mulyani<sup>1</sup>, Muhamad Subhan<sup>2</sup>\*)

1) Mahasiswa Unswa

2)\* Universitas Nggusuwaru

Email : d.hans2102@gmail.com

---

### Artikel Info :

21 / Mei / 2026

Vol. 9 | No. 1

Doi : <https://doi.org/10.33627/ge.v9i1.4086>

**Abstrak :** Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi sudut kemiringan optimal sel surya guna menghasilkan daya keluaran maksimal, serta mengevaluasi efektivitasnya sebagai pendekatan pembelajaran kontekstual pada materi energi terbarukan di SMA. Penentuan sudut optimal krusial karena intensitas radiasi matahari bergantung pada posisi matahari relatif terhadap permukaan panel. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental. Eksperimen melibatkan siswa yang melakukan pengukuran tegangan, arus, dan daya pada panel surya 12 Volt 10 Watt pada variasi sudut kemiringan 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, dan 50°. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa daya keluaran maksimum sebesar 7,22 Watt diperoleh pada sudut kemiringan 20°. Analisis grafik hubungan arus terhadap daya (Gambar 1) dan sudut kemiringan terhadap daya (Gambar 2) mengonfirmasi bahwa penyimpangan sudut dari titik optimal berdampak langsung pada penurunan penyerapan foton dan arus listrik, yang berujung pada menurunnya daya secara drastis hingga 4,20 Watt pada sudut 50°. Integrasi eksperimen ini dalam pembelajaran terbukti mampu mengkonkretkan konsep konversi energi secara saintifik. Pendekatan kontekstual ini direkomendasikan untuk menunjang pembelajaran sains yang bermakna

**Kata kunci:** energi terbarukan, optimasi sudut, pembelajaran kontekstual, sel surya

**Abstract:** This study aims to investigate the optimal tilt angle of solar cells to maximize power output and to evaluate its effectiveness as a contextual learning approach for renewable energy topics in high school. Determining the optimal angle is crucial as solar radiation intensity depends on the sun's position relative to the panel's surface. The research employs a quantitative experimental approach. The experiment involved students measuring voltage, current, and power on a 12 Volt 10 Watt solar panel at tilt angles of 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, and 50°. Experimental results demonstrated that the maximum power output of 7.22 Watts was achieved at a 20° tilt angle. Graphical analysis of current versus power (Figure 1) and tilt angle versus power (Figure 2) confirmed that angle deviation from the optimal point directly impacts photon absorption and electrical current, leading to a drastic power drop to 4.20 Watts at a 50° angle. Integrating this experiment into learning has proven capable of concretizing energy conversion concepts scientifically. This contextual approach is recommended to support meaningful science learning

## PENDAHULUAN

Krisis energi global yang dipicu oleh penipisan cadangan bahan bakar fosil dan dampak perubahan iklim telah mendorong percepatan transisi menuju penggunaan energi terbarukan [1]. Di antara berbagai alternatif yang ada, energi surya menempati posisi strategis, terutama bagi negara-negara tropis seperti Indonesia yang menerima paparan sinar matahari melimpah sepanjang tahun [2]. Secara teknis, pemanfaatan energi surya dilakukan melalui teknologi *sel fotovoltaik* (PV) yang mampu mengkonversi radiasi foton menjadi energi listrik [3]. Namun, efisiensi konversi sel surya dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, meliputi suhu permukaan panel, tingkat iradiasi, serta sudut datang cahaya matahari [4].

Salah satu parameter paling krusial yang dapat direkayasa untuk memaksimalkan penyerapan iradiasi matahari adalah penentuan sudut kemiringan (*tilt angle*) panel surya [5]. Berdasarkan hukum kosinus Lambert, intensitas cahaya yang diterima oleh suatu permukaan akan maksimal apabila cahaya jatuh secara tegak lurus terhadap permukaan tersebut [6]. Mengingat lintasan semu matahari berubah-ubah sepanjang tahun akibat deklinasi bumi, pengaturan sudut kemiringan panel surya harus disesuaikan dengan letak garis lintang geografis lokasi instalasi [7]. Beberapa penelitian teknis menegaskan bahwa kesalahan dalam menentukan sudut kemiringan dapat mengurangi daya keluaran panel surya hingga 15-20% dari kapasitas potensialnya [8].

Dalam konteks pendidikan, pemahaman mendalam tentang teknologi energi terbarukan telah menjadi amanat dalam Kurikulum Merdeka, khususnya pada mata pelajaran IPA Terpadu dan Fisika tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA) [9]. Tantangan utama di lapangan saat ini adalah kecenderungan pembelajaran yang masih bersifat teoretis-deduktif. Siswa sering kali hanya dihadapkan pada rumus-rumus fisika terkait daya dan konversi energi tanpa dilibatkan dalam pengalaman empiris, sehingga sains dirasakan berjarak dari realitas kehidupan (*gap analysis*) [10]. Padahal, pembelajaran fisika idealnya mengedepankan pendekatan kontekstual (*Contextual Teaching and Learning*) di mana peserta didik dapat mengkonstruksi pemahamannya melalui interaksi langsung dengan fenomena alam dan teknologi di sekitarnya [11].

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi sudut kemiringan optimal sel surya guna meningkatkan daya keluaran, sekaligus mengeksplorasi implementasi eksperimen ini sebagai sarana pembelajaran kontekstual di SMA. Dengan memadukan kaidah rekayasa energi dan ilmu pedagogik, penelitian ini tidak hanya mencari jawaban teknis atas posisi panel yang paling efisien, tetapi juga menghadirkan kebaruan dalam bentuk pengalaman belajar bermakna. Siswa diajak untuk terlibat langsung melakukan pengukuran kelistrikan dan membuktikan postulat fisika, sehingga terbentuk literasi energi berkelanjutan yang esensial bagi generasi masa depan

## METODE PENELITIAN

### Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental untuk menguji optimasi daya keluaran sel surya, dipadukan dengan desain observasional deskriptif untuk melihat keterlaksanaan pembelajaran fisika secara kontekstual di kelas.

### Waktu dan Tempat Penelitian

Eksperimen kelistrikan dan pengambilan data dilaksanakan pada bulan Agustus 2025, berlokasi di area terbuka lapangan sekolah, pada saat kondisi cuaca cerah (*clear sky*) antara pukul 09.00 hingga 12.30 WITA untuk meminimalisasi fluktuasi pergerakan matahari yang ekstrem.

### Prosedur Penelitian

Siswa secara berkelompok melakukan praktik langsung menggunakan modul eksperimen sel surya. Prosedur penelitian mensyaratkan siswa melakukan pengukuran arus dan daya secara bertahap pada berbagai sudut kemiringan panel surya tegangan 12 Volt 10 Watt. Panel diletakkan pada penyangga yang dilengkapi dengan busur derajat, dengan variasi sudut uji meliputi 0° (mendatar), 10°, 20°, 30°, 40°, dan 50°.

### Data, Instrumen, dan Teknik Pengumpulan Data

Data utama berupa Tegangan (V) dan Arus (I) diperoleh menggunakan instrumen multimeter digital. Siswa melakukan pengukuran arus, dan daya pada berbagai sudut kemiringan panel surya tegangan 12 Volt 10 Watt. Data sekunder berupa respons belajar dicatat melalui lembar observasi. Data eksperimen ditampilkan pada gambar grafik, yang diplot menggunakan microsoft excel sebagai bagian dari analisis data saintifik.

### Teknik Analisis Data

Daya listrik (P) dihitung menggunakan persamaan  $P = V \times I$ . Data tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik hubungan antar variabel untuk ditarik kesimpulan fisisnya, baik secara kuantitatif maupun pemaknaan pedagogisnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

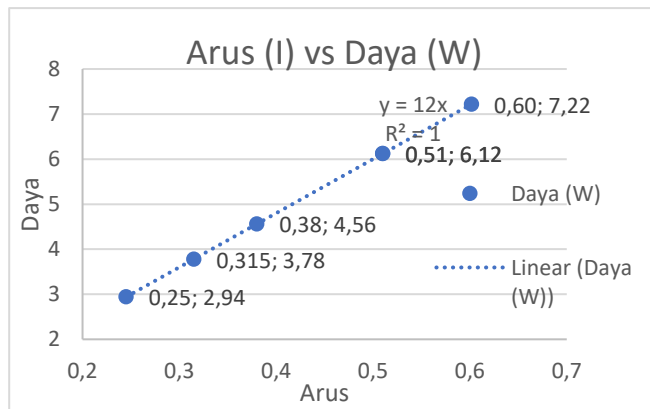
### Analisis Kuantitatif Daya Keluaran Sel Surya

Pengambilan data dilakukan oleh peserta didik dengan mencatat nilai tegangan dan arus secara cermat pada tiap perubahan sudut. Tabel 1 merangkum rata-rata hasil pengukuran yang telah dikonversi menjadi daya keluaran.

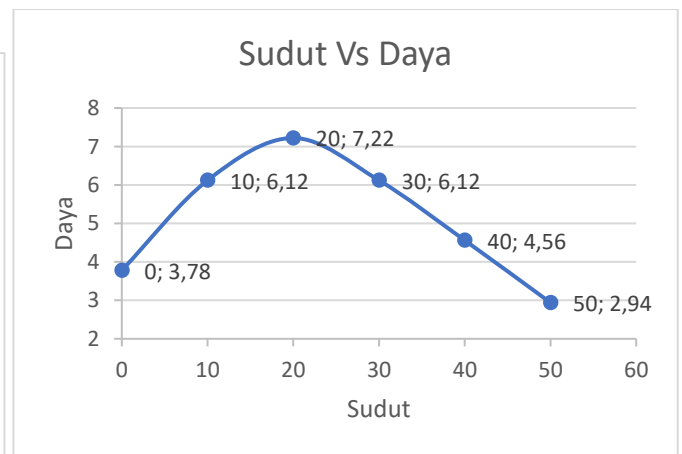
**Tabel 1. Rata-rata Hasil Pengukuran Kelistrikan Sel Surya pada Berbagai Sudut**

Sudut Kemiringan	Rata-rata Tegangan (Volt)	Rata-rata Arus (Ampere)	Daya Keluaran (Watt)	Ket.
0°	12,20	0,31	3,78	-
10°	12,00	0,51	6,12	-
20°	12,00	0,60	7,22	Optimal
30°	12,10	0,51	6,12	-
40°	12,07	0,38	4,56	-
50°	12,00	0,25	2,94	-

Berdasarkan Tabel 1, nilai daya keluaran menunjukkan variasi yang signifikan seiring dengan perubahan sudut kemiringan. Daya keluaran puncak dicapai pada saat panel surya berada di posisi kemiringan 20°, yakni sebesar 7,22 Watt (mendekati spesifikasi maksimal panel 10 Watt). Analisis fisis dari data tersebut diekstraksi ke dalam dua bentuk grafik utama yang dikerjakan oleh siswa



Gambar 1. Hubungan Arus (I) vs Daya (P)



Gambar 1. Hubungan Sudut vs Daya

Menganalisis Gambar 1 mengenai Arus vs Daya, terlihat pola linearitas positif yang sangat kuat terkonfirmasi bahwa fluktuasi daya keluaran sangat bergantung pada besaran arus yang dihasilkan oleh panel surya. Sifat fotovoltaik menunjukkan bahwa tegangan cenderung stabil (relatif konstan) pada rentang iluminasi tertentu, namun kuat arus listrik (I) sangat sensitif terhadap perubahan intensitas foton (cahaya) yang menumbuk permukaan panel. Peningkatan arus selalu berbanding lurus dengan peningkatan daya listrik yang dikonversi.

Selanjutnya, Pada Gambar 2. Sudut Kemiringan vs Daya, grafik memperlihatkan kurva non-linear dengan titik puncak (*peak*) di angka 10°, lalu menitik turun membentuk gradien negatif yang curam hingga menyentuh daya 4,20 Watt pada sudut 50°. Temuan ini sangat relevan dan rasional dengan lokasi pengujian. Kawasan Kota Bima secara geografis terletak pada lintang sekitar 8° Lintang Selatan. Saat tengah hari, matahari tidak sepenuhnya berada di titik zenit 0° mutlak, melainkan memiliki sudut deklinasi. Memiringkan panel sebesar 10° menghadap ekuator memberikan orientasi permukaan yang paling tegak lurus terhadap radiasi matahari dibandingkan meletakkannya datar (0°). Sebaliknya, pada sudut 40° dan 50°, luasan penampang efektif (*effective area*) panel yang menerima cahaya mengecil drastis mengikuti prinsip trigonometri kosinus, mengakibatkan *drop* tegangan dan hilangnya hampir 50% potensi daya.

### Implementasi Pendekatan Kontekstual dalam Pembelajaran

Penerapan eksperimen optimasi sudut kemiringan sel surya dengan variasi rentang yang luas (0° hingga 50°) ini tidak sekadar berfungsi sebagai aktivitas pengambilan data praktikum, melainkan sebuah perwujudan dari *Contextual Teaching and Learning* (CTL) yang menjadi ruh dalam Kurikulum Merdeka. Kurikulum Merdeka menekankan pentingnya pembelajaran yang berpusat pada siswa (*student-centered learning*) dan berbasis lingkungan nyata, di mana materi pembelajaran tidak lagi disajikan secara abstrak atau terisolasi dari kehidupan sehari-hari siswa. Dengan menghadapkan peserta didik langsung pada perangkat panel surya 12V 10W, multimeter, dan fenomena radiasi matahari

di halaman sekolah, dinding pemisah antara teori fisika di dalam buku teks dengan realitas teknologi rekayasa di dunia nyata dapat diruntuhkan.

Keterkaitan erat antara pendekatan kontekstual ini dengan *pembelajaran mendalam (deep learning)* terlihat ketika siswa tidak lagi diarahkan untuk melakukan penghafalan rumus daya ( $P = V \times I$ ) secara mekanis atau linier. Pembelajaran mendalam menuntut terjadinya retensi pemahaman jangka panjang melalui proses kognitif tingkat tinggi (HOTS), seperti menganalisis, mengevaluasi, dan mengkreasi. Saat siswa mengamati data dan memplot Gambar 1 (Arus vs Daya) serta Gambar 2 (Sudut Kemiringan vs Daya), mereka ditantang untuk berpikir kritis dalam menginterpretasikan pola grafik yang dihasilkan. Siswa diajak menganalisis mengapa kurva hubungan sudut terhadap daya berbentuk parabola non-linear dan mengapa titik puncaknya berada tepat di angka  $10^\circ$ , bukan pada sudut  $0^\circ$  (datar) ataupun sudut ekstrem seperti  $40^\circ$  dan  $50^\circ$ .

Proses rekonstruksi pengetahuan ini mengarahkan siswa pada pemahaman konseptual yang hakiki: mereka berhasil mengorelasikan konsep geometri sudut datang cahaya dan hukum kosinus Lambert dengan efisiensi material semikonduktor fotovoltaik dalam mengeksitasi elektron. Lebih jauh lagi, siswa dapat mengaitkan hasil eksperimen tersebut secara spasial dengan letak geografis wilayah mereka yang berada di dekat garis khatulistiwa. Pemahaman seperti inilah yang mendefinisikan *deep learning*, di mana indikator keberhasilannya adalah kemampuan siswa transfer pengetahuan—menggunakan konsep yang dipelajari di kelas untuk menganalisis mengapa orientasi pemasangan panel surya atau atap rumah di lingkungan sekitar mereka dibuat miring dengan sudut tertentu.

Selain itu, integrasi riset fungsional ini ke dalam struktur instruksional kelas juga menstimulasi ketercapaian *Dimensi Profil Lulusan*, khususnya pada dimensi *bernalar kritis* dan *kreatif*. Siswa dilatih untuk memiliki literasi data yang kuat melalui keterampilan proses sains (KPS), mulai dari mengkalibrasi instrumen, mengontrol variabel perancu (seperti fluktuasi awan saat tengah hari), hingga menyajikan argumentasi ilmiah berbasis bukti empiris (*evidence-based argument*). Melalui pendekatan pembelajaran sains yang bermakna dan kontekstual ini, fisika tidak lagi dipandang sebagai mata pelajaran yang menakutkan atau sekadar tumpukan rumus matematis, melainkan sebuah instrumen aplikatif yang krusial dalam menjawab tantangan global terkait krisis energi dan keberlanjutan lingkungan.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa sudut kemiringan sangat menentukan intensitas penyerapan radiasi matahari, arus listrik, dan daya total pada sistem fotovoltaik. Pada uji coba panel surya 12 Volt 10 Watt, efisiensi maksimal terbukti berada pada sudut kemiringan  $20^\circ$  dengan daya keluaran puncak mencapai 7,22 Watt. Berdasarkan grafik analisis data, penyimpangan arah di atas  $20^\circ$  (yakni  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ , hingga  $50^\circ$ ) menyebabkan penurunan drastis pada kuat arus listrik dan mereduksi daya hingga di angka 4,20 Watt.

Di sisi lain, pelaksanaan pengukuran kelistrikan secara langsung dengan berbagai variasi sudut ini terbukti sangat efektif diimplementasikan sebagai metode pembelajaran kontekstual di SMA. Siswa tidak hanya menghafal teori energi, tetapi dapat membuktikan konsep konversi secara saintifik. Untuk penelitian lanjutan, disarankan agar sekolah mengintegrasikan mikrokontroler untuk merancang instrumen otomatis pencatat suhu dan intensitas cahaya, guna memperkaya variabel fisika yang dianalisis dalam materi kelistrikan dan radiasi termal

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Johansson, T. B., Kelly, H., Reddy, A. K., & Williams, R. H. (2012), *Renewable energy: sources for fuels and electricity*, Island press, Washington, DC.
- [2] Rumbayan, M., Abudureyimu, A., & Nagasaka, K. (2012), Mapping of solar energy potential in Indonesia using artificial neural network and geographical information system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1437–1449.
- [3] Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006), *Physics of semiconductor devices*, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [4] El-Sebaili, A. A., Al-Hazmi, F. S., Al-Ghamdi, A. A., & Yaghmour, S. J. (2010), Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia, *Applied Energy*, 87(2), 568–576.
- [5] Kacira, M., Simsek, M., Babur, Y., & Demirkol, S. (2004), Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey, *Renewable Energy*, 29(8), 1265–1275.
- [6] Lunde, P. J. (1980), *Solar thermal engineering: space heating and hot water systems*, John Wiley and Sons, New York.
- [7] Handayani, N. A., & Ariyanti, D. (2012), Potency of solar energy applications in Indonesia, *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(2), 33–38.
- [8] Stanciu, C., & Stanciu, D. (2014), Optimum tilt angle for flat plate collectors all over the World—A declination dependence formula and comparisons of three solar radiation models, *Energy Conversion and Management*, 81, 133–143.

- [9] Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2024), *Panduan Implementasi Kurikulum Merdeka*, Pusat Kurikulum dan Perbukuan, Jakarta.
- [10] Suparno, P. (2007), *Metodologi Pembelajaran Fisika Konstruktivistik & Menyenangkan*, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- [11] Johnson, E. B. (2002), *Contextual teaching and learning: What it is and why it's here to stay*, Corwin Press, California.