

Studi Pengaruh Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Kinerja Pompa Air Sentrifugal Tenaga Surya

Hendrik V Sihombing^{1*}, Himsar Ambarita¹, Wilson Sabastian Nababan², Siwan E Peranginangin²

¹Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

²Teknik Mesin, HKBP Nommensen, Medan, Indonesia

hendrik@usu.ac.id

Abstract

The increasing demand for clean water due to population growth poses significant challenges, particularly in remote areas with limited access to electrical energy. Conventional water pumping systems powered by fossil fuels are still widely used; however, they contribute to environmental pollution. Therefore, an alternative, environmentally friendly, and sustainable energy source is required, such as solar energy. This study aims to analyse the effect of solar radiation intensity on the performance of a centrifugal water pump driven directly by a photovoltaic system without energy storage. An experimental method was employed, with data collected over a 10-hour period (08:00–18:00) at 10-minute intervals. The observed parameters included solar radiation intensity, electrical power output, and water discharge. The results show that solar radiation intensity is directly proportional to the power generated by the photovoltaic panel and the water discharge produced by the pump. The maximum radiation intensity reached 548 W/m², while the minimum operating power required for the pump was approximately 231 watts. The system was capable of producing 2430.8 liters of water per day at a head of 12 meters under an average radiation intensity of 250 W/m². These findings indicate that a direct solar-powered water pumping system has strong potential as a sustainable and environmentally friendly solution for clean water supply, especially in areas without access to conventional electricity.

Keywords: Solar Pump, Solar Radiation, Photovoltaic, Power, Water Capacity

Abstrak

Peningkatan kebutuhan air bersih seiring pertumbuhan penduduk menjadi tantangan utama, khususnya di daerah terpencil yang belum memiliki akses terhadap energi listrik. Pemanfaatan pompa air berbahan bakar fosil masih umum digunakan, namun berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, salah satunya adalah energi surya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap kinerja pompa air sentrifugal yang digerakkan secara langsung oleh panel fotovoltaik tanpa menggunakan sistem penyimpanan energi. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan pengambilan data selama 10 jam (08.00–18.00 WIB) pada interval 10 menit. Parameter yang diukur meliputi intensitas radiasi matahari, daya listrik yang dihasilkan, serta debit air yang dipompa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari memiliki hubungan berbanding lurus dengan daya keluaran panel surya dan kapasitas air yang dipompa. Intensitas radiasi maksimum tercatat sebesar 548 W/m², dengan daya minimum operasi pompa sekitar 231 watt. Sistem mampu menghasilkan total air sebesar 2430,8 liter per hari pada head 12 meter dengan rata-rata intensitas radiasi 250 W/m². Berdasarkan hasil tersebut, sistem pompa air tenaga surya langsung memiliki potensi yang baik sebagai solusi penyediaan air

bersih yang ramah lingkungan, khususnya di daerah yang tidak memiliki akses listrik konvensional.

Kata Kunci: Pompa Surya, Radiasi Matahari, Panel Surya, Daya, Kapasitas Air

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, pemenuhan air bersih sebagai salah satu kebutuhan semakin meningkat. Pada daerah yang terjangkau oleh sumber listrik konvensional, penduduk dapat menggunakan pompa air listrik, sedangkan di daerah yang belum terjangkau listrik, umumnya memperoleh air bersih dengan memanfaatkan energi fosil sebagai sumber tenaga untuk pompa air, seperti mesin diesel maupun mesin bensin. Hal ini menyebabkan peningkatan emisi CO₂ dan berdampak negatif terhadap lingkungan [1].

Pada daerah dengan paparan sinar matahari sepanjang tahun, pancaran energi matahari dapat diubah menjadi sumber energi terbarukan dengan keunggulan, ramah lingkungan atau tidak menimbulkan polusi, dan berkelanjutan [2]. Beberapa metode dapat diterapkan untuk memanfaatkan energi matahari, salah satunya adalah dengan mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Pemanfaatan energi matahari dapat dilakukan dengan mengkonversi intensitas radiasi menjadi energi listrik menggunakan panel surya atau fotovoltaiik.

Sistem fotovoltaiik menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan efek fotovoltaiik. Pada saat sel surya dengan bahan semikonduktor terpapar radiasi matahari, material tersebut akan menyerap energi foton. Ketika energi foton yang diserap lebih besar daripada *bandgap* material, elektron pada pita valensi akan tereksitasi menuju pita konduksi, menciptakan *electron-hole pairs*. Elektron bebas yang dilepaskan ini kemudian diarahkan oleh medan listrik internal pada sambungan *p-n junction* untuk mengalir melalui rangkaian eksternal, sehingga menghasilkan arus searah (DC) [3].

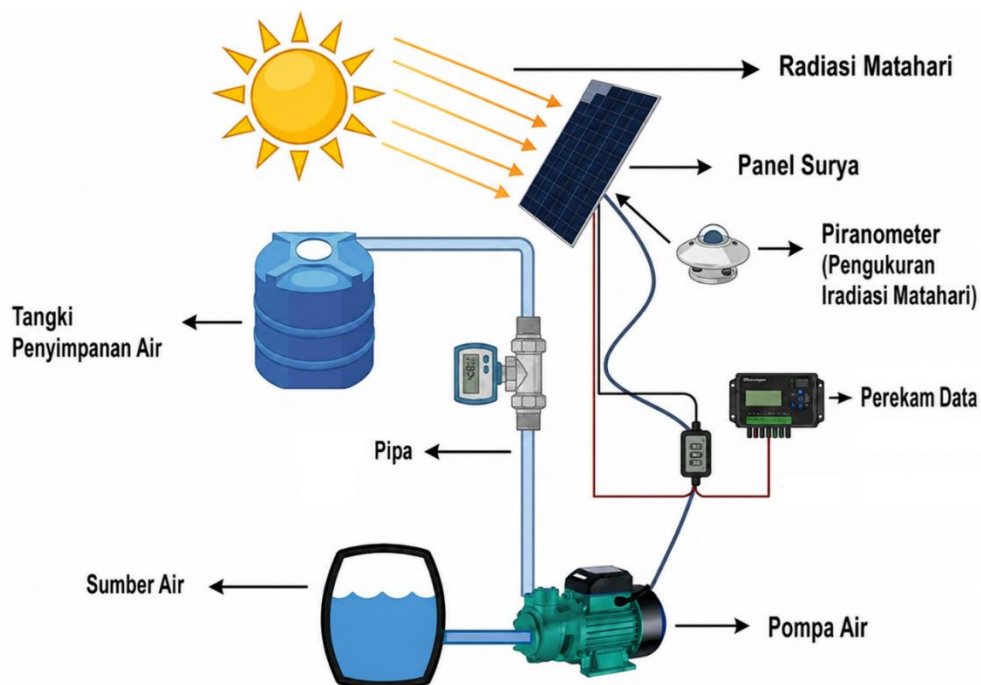
Energi surya sebagai pembangkit listrik telah dianalisis oleh banyak peneliti sebelumnya. Penerapan energi surya untuk perumahan[4], penyimpanan dingin[5], irigasi[6], [7], dan sebagainya. Energi surya sebagai pembangkit listrik pada pompa air juga telah diterapkan secara luas. Allouhi dkk. [8] meneliti sistem pompa *submersible* tenaga surya dengan sistem fotovoltaiik untuk memenuhi kebutuhan air rumah tangga. Morshed dan Abdulsalam [9] menganalisis kinerja sistem pompa air fotovoltaiik. Penelitian ini mengevaluasi sistem PV 8 x 150 wp sebagai sumber daya pompa. Pavushetti dkk [10] menggunakan energi surya untuk menggerakkan pompa air. Sistem ini digunakan untuk irigasi, dan eksperimen tersebut memanfaatkan energi dari baterai untuk menggerakkan motor arus searah. Orts-Grau dkk [11] memanfaatkan tenaga surya untuk menghasilkan daya bagi pompa air. Sistem tersebut menggunakan baterai litium sebagai penyimpanan cadangan. Banyak penelitian terdahulu menggunakan penyimpanan energi seperti baterai sebagai sumber daya tambahan untuk pompa air. Sementara sangat penting untuk menganalisis berapa besar potensi energi surya langsung yang dapat digunakan untuk memompa air.

Penelitian ini mengevaluasi kinerja sistem pompa air bertenaga surya secara langsung. Perhitungan dilakukan terhadap jumlah air yang dipompa menggunakan pompa air tenaga surya, di mana panel surya digunakan untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik DC guna mengoperasikan pompa air. Percobaan ini dilakukan pada ketinggian yang telah ditentukan. Diharapkan penelitian ini dapat dimanfaatkan dan

diterapkan di daerah-daerah dengan pasokan listrik dan sumber energi konvensional yang terbatas, serta diharapkan dapat menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan air harian.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan metode eksperimental. Perancangan sistem pompa air tenaga ditunjukkan pada gambar 1 dengan ketinggian maksimum 12 meter. Komponen utama pengujian antara lain pompa air DC, panel surya kapasitas 250 WP, dan tangki air. Sementara alat ukur yang digunakan antara lain *multitester*, *pyranometer*, tang ampere, *flowmeter*. Pompa air DC bertipe sentrifugal dengan spesifikasi ditunjukkan pada tabel 1. Proses pengumpulan data dilakukan selama 10 jam (pukul 08:00 – 18:00) dengan mencatat data intensitas radiasi matahari serta mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya ke pompa air untuk setiap 10 menit menggunakan multimeter. Pengukuran debit air yang dihasilkan setiap 10 menit dilakukan bersamaan dengan pengukuran besar arus dan tegangan. Data radiasi matahari diukur dan dicatat secara otomatis melalui *Microstation Data Logger*.



Gambar 1. Skema pengujian pompa air tenaga surya

Tahapan pengujian dilakukan sebagai berikut: pertama, pastikan pompa air terhubung dengan benar ke sumber air menuju tangki penyimpanan melalui sistem pipa yang ada. Panel surya kapasitas 250 WP dengan spesifikasi ditunjukkan pada tabel 2 ditempatkan pada sudut 0° . Kemudian, sambungkan kabel dari panel surya ke pompa air dan pastikan pompa air beroperasi dengan baik setelah kabel daya disambungkan. Ukur dan catat data selama penelitian dengan interval waktu setiap 10 menit. Setelah pukul 18.00, penelitian selesai; putuskan sambungan kabel daya antara panel surya dan pompa air. Setelah proses pengukuran data selesai, dilakukan pengolahan data uji untuk memperoleh nilai-nilai daya yang dihasilkan, serta banyaknya air yang dipompa.

Tabel 1. Spesifikasi Pompa Air

Item	Nilai
Daya listrik	180 Watt
Voltase	12 Volt
Debit air maksimum	1.5 m ³ /jam
Daya dorong maksimum	15 m
Inlet dan Outlet	1 in
Ukuran	24 cm x 11 cm x 15 cm

Berdasarkan hasil pengukuran, untuk mendapatkan karakteristik panel surya menggunakan persamaan berikut:

$$P_{in} = I_x A \quad (1)$$

Dimana P_{in} merupakan daya output panel surya, I_x intensitas matahari, dan A luas permukaan panel surya. Sementara untuk menganalisa kinerja dari pompa air tenaga surya menggunakan persamaan berikut:

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H \quad (2)$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

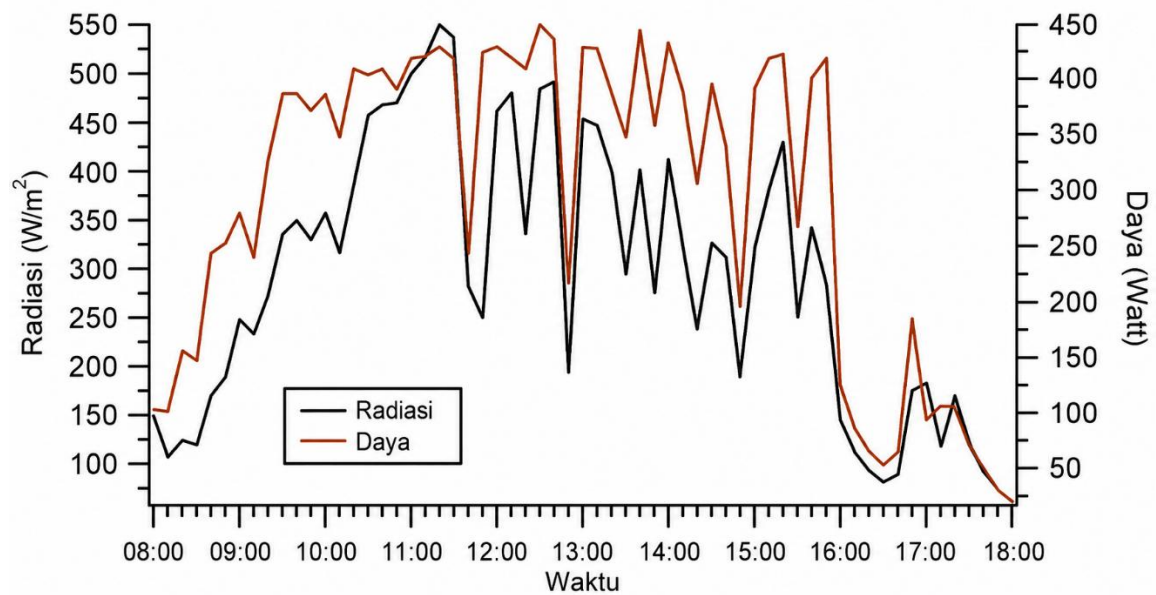
Dimana P_h merupakan daya hidrolis pompa, ρ densitas fluida, g gravitasi, H head, sementara Q merupakan debit aliran pompa, V kecepatan aliran fluida dan t merupakan waktu mengalirkan fluida.

Tabel 2. Spesifikasi Panel Surya

Item	Nilai
Daya maksimum (Pm)	250 WP
Voltase maksimum (Vmp)	18.6 V
Kuat arus (Imp)	13.45 A
Open-Circuit Voltase (Voc)	22.25 V
Short-Circuit Current (Isc)	14.39 A

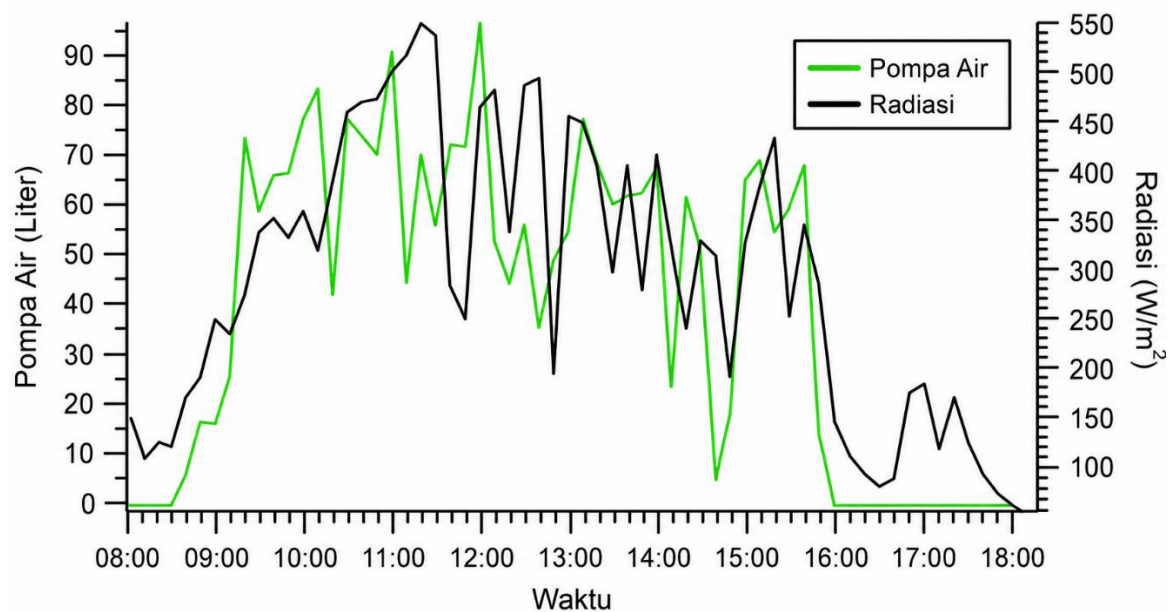
3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Studi eksperimental pompa air tenaga surya dilakukan di Medan, dengan titik koordinat 3°34'04.7"N, 98°39'14.3"E. Kondisi pengujian pada ketinggian (*head*) 12 meter. Hasil pengujian selama 10 jam ditunjukkan pada grafik intensitas radiasi. Pengukuran berupa intensitas radiasi, daya listrik, serta kapasitas air..



Gambar 2. Hubungan antara intensitas radiasi terhadap daya panel surya

Berdasarkan hasil pengukuran intensitas radiasi ditunjukkan pada Gambar 2, tren intensitas radiasi matahari berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan oleh panel surya untuk pompa air. Peningkatan intensitas radiasi matahari sejalan dengan peningkatan daya keluaran panel surya. Daya listrik yang dihasilkan cenderung konstan pada pukul 10.00 hingga 16.00 Wib. Tingkat radiasi tertinggi tercatat pada pukul 11.20 WIB, yaitu sebesar 548 W/m², sementara nilai rata-rata intensitas radiasi sebesar 250 W/m².



Gambar 3. Hubungan antara intensitas radiasi terhadap kapasitas air yang dipompakan

Peningkatan intensitas radiasi matahari sejalan pada peningkatan debit air yang dihasilkan oleh pompa. Pompa air mulai beroperasi pada daya minimum 231 watt, namun jika nilai daya dibawah nilai minimum maka pompa tidak mampu mengalirkan air. Hasil pengujian

dengan ketinggian (*head*) 12 meter pompa air tenaga surya menghasilkan total kapasitas air sebesar 2430,8 liter per hari (10 jam).

Ketersediaan radiasi matahari yang memadai merupakan faktor penting. Hal ini terjadi ketika intensitas radiasi matahari pada suatu waktu tercatat rendah dan secara langsung memengaruhi nilai dampak terhadap peningkatan kapasitas air yang dihasilkan pompa setiap jam pengukuran data, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Hal ini disebabkan oleh atmosfer, awan, atau benda langit lainnya yang menghalangi radiasi matahari selama pengukuran data penelitian. Daya yang dihasilkan oleh radiasi matahari sangat memengaruhi volume keluaran pompa air yang dapat dihasilkan pada perbedaan ketinggian 12 meter. Dapat dilihat bahwa air dapat dipompa pada rentang daya antara 231 watt hingga 447,9 watt sebagai daya keluaran maksimum yang diukur dalam percobaan ini, sementara pada nilai daya 229 watt ke bawah, pompa air belum mampu bekerja untuk mengangkat air.

Kinerja pompa air yang digerakkan oleh energi radiasi matahari bergantung pada beberapa faktor, seperti ketersediaan radiasi matahari di lokasi pengujian, *Total Dynamic Head* (TDH), dan energi hidrolik. Keuntungan yang dapat diperoleh dari sistem ini antara lain biaya operasional dan pemeliharaan yang rendah, pemeliharaan yang mudah, minimnya polusi lingkungan, serta pemasangan yang lebih cepat dan mudah dipindahkan. Namun, kendalanya adalah biaya awal yang tinggi dan ketergantungan pada radiasi matahari yang lebih tinggi. Dengan kelebihan dan keunggulan tersebut, sistem ini sangat cocok untuk diterapkan di daerah yang memiliki potensi radiasi matahari namun tidak terjangkau oleh listrik, seperti untuk irigasi, peternakan, atau penyediaan air bersih.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja pompa air tenaga surya. Peningkatan intensitas radiasi matahari secara langsung meningkatkan daya keluaran panel surya, serta berdampak pada peningkatan debit air yang dihasilkan oleh pompa. Pompa air mulai beroperasi pada daya minimum 231 watt, sedangkan pada daya di bawah nilai minimum pompa tidak mampu menaikkan air. Dalam kondisi pengujian dengan ketinggian (*head*) 12 meter dan rata-rata intensitas radiasi sebesar 250 W/m², sistem mampu menghasilkan total kapasitas air sebesar 2430,8 liter per hari. Secara keseluruhan, sistem pompa air tenaga surya langsung tanpa penyimpanan energi menunjukkan kinerja yang baik dan memiliki potensi besar sebagai solusi penyediaan air bersih yang ramah lingkungan, khususnya di daerah terpencil yang belum memiliki akses terhadap listrik konvensional. Namun demikian, kinerja sistem sangat dipengaruhi oleh ketersediaan radiasi matahari, sehingga faktor kondisi cuaca menjadi salah satu kendala utama dalam penerapannya.

5. REFERENSI

- [1] N. M. Eshra and M. G. Salem, "Solar Energy Application in Drainage Pumping Stations to Save Water and Reducing CO₂ Emission," *Energy Reports*, vol. 6, no. April, pp. 354–366 (2020)
- [2] H. V. Sihombing and H. Ambarita, "A preliminary test of solar roof top in Medan city of Indonesia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 452, no. 1, pp. 1–7, (2020)
- [3] S. Joshi, M. Karamta, and B. Pandya, "Small scale wind & solar photovoltaic energy conversion system for DC microgrid applications," *Mater. Today Proc.*, vol. 62, (2022) pp. 7092–7097.
- [4] H. Biglarian and S. Abdollahi, "Utilization of on-grid photovoltaic panels to offset electricity consumption of a residential ground source heat pump," *Energy*, vol. 243, p. 122770,

- (2022)
- [5] H. Ambarita, C. Sitanggang, and R. Sipayung, "Performance of a Photovoltaic Solar Cold Storage," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1542, no. 1, (2020) pp. 8–13.
 - [6] P. Santra, "Performance evaluation of solar PV pumping system for providing irrigation through micro-irrigation techniques using surface water resources in hot arid region of India," *Agric. Water Manag.*, vol. 245, no. September 2020, p. 106554 (2021)
 - [7] J. M. Carricondo-Antón, M. A. Jiménez-Bello, J. Manzano Juárez, A. Royuela Tomas, and A. Sala, "Evaluating the use of meteorological predictions in directly pumped irrigational operations using photovoltaic energy," *Agric. Water Manag.*, vol. 266 (2022) pp. 0–2.
 - [8] A. Allouhi et al., "PV water pumping systems for domestic uses in remote areas: Sizing process, simulation and economic evaluation," *Renew. Energy*, vol. 132 (2019) pp. 798–812.
 - [9] M. Hadwan and A. Alkholidi, "Assessment of factors influencing the sustainable performance of photovoltaic water pumping systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92 (2018) pp. 307–318.
 - [10] P. Abhilash, R. N. Kumar, and R. P. Kumar, "Solar powered water pump with single axis tracking system for irrigation purpose," *Mater. Today Proc.*, vol. 39 (2020) pp. 553–557.
 - [11] S. Orts-Grau et al., "Photovoltaic Water Pumping: Comparison between Direct and Lithium Battery Solutions," *IEEE Access*, vol. 9 (2021) pp. 101147–101163.