

Meningkatkan Ketahanan Sumber Daya Air dengan Menggunakan Pompa Tenaga Surya di Kabupaten Nganjuk

Sriwadi^{*1}, Suharno², Ida Nugroho Saputra³

^{1,2,3}Pasca Sarjana Pendidikan Guru Vokasi, Universitas Sebelas Maret

¹Teknik Otomotif SMKN 1 Lengkong

Email: ¹sriwadi67@student.uns.ac.id, ²suharno_ptm@fkip.uns.ac.id, ³nugroho@fkip.uns.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi penggunaan pompa tenaga surya dalam meningkatkan ketahanan sumber daya air di Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur, sebagai daerah agraris yang sangat bergantung pada ketersediaan air. Metode penelitian meliputi pengukuran ketersediaan air, survei terhadap petani, serta analisis dampak penggunaan pompa tenaga surya terhadap produktivitas pertanian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi ini mampu meningkatkan ketersediaan air hingga 30%, dengan peningkatan pasokan harian dari 500 liter menjadi 800 liter. Selain itu, hasil survei terhadap 100 petani menunjukkan tingkat kepuasan sebesar 85%, terutama karena penurunan biaya operasional dan peningkatan kemandirian dalam pengelolaan air. Meskipun terdapat kendala berupa tingginya biaya awal dan keterbatasan pemahaman teknologi, pompa tenaga surya terbukti memberikan kontribusi positif terhadap keberlanjutan pertanian. Dengan demikian, diperlukan dukungan berupa insentif pemerintah dan program pelatihan bagi petani guna mendorong adopsi teknologi ini secara lebih luas.

Kata kunci: keberlanjutan, ketahanan sumber daya air, Nganjuk, pertanian, pompa tenaga surya

Improving Water Resource Resilience by Using Solar-Powered Pumps in Nganjuk Regency

Abstract

This study aims to examine the potential of solar-powered water pumps in enhancing water resource resilience in Nganjuk Regency, East Java, an agrarian region highly dependent on water availability. The research employs water availability measurements, farmer surveys, and an analysis of the impact of solar-powered water pump utilization on agricultural productivity. The results indicate that the implementation of this technology increases water availability by up to 30%, with daily supply rising from 500 to 800 liters. Furthermore, a survey of 100 farmers reveals an 85% satisfaction rate, primarily due to reduced operational costs and improved water management independence. Despite challenges such as high initial investment costs and limited technical knowledge, solar-powered water pumps demonstrate significant potential in supporting sustainable agriculture. Therefore, policy support in the form of government incentives and farmer training programs is essential to promote wider adoption of this technology.

Keywords: agriculture, Nganjuk, solar powered pumps, sustainability, water resource resilience

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Nganjuk di Provinsi Jawa Timur merupakan wilayah agraris yang sangat bergantung pada ketersediaan air, khususnya untuk budidaya padi. Dalam beberapa tahun terakhir, ketahanan sumber daya air di wilayah ini menghadapi tekanan yang semakin besar akibat perubahan iklim, degradasi lingkungan, serta peningkatan kebutuhan air pertanian. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa kebutuhan air pertanian meningkat sekitar 15% per tahun, sementara ketersediaan air cenderung menurun akibat eksploitasi berlebihan dan pencemaran [1][2]. Kondisi ini diperparah oleh ketimpangan distribusi air dan kerusakan infrastruktur irigasi di sejumlah wilayah [3].

Di tingkat petani, pemenuhan kebutuhan air masih didominasi oleh penggunaan pompa berbahan bakar diesel. Teknologi ini relatif mudah digunakan, namun memiliki kelemahan berupa biaya operasional yang tinggi, ketergantungan pada bahan bakar fosil, serta dampak lingkungan berupa emisi karbon [4][5]. Fluktuasi harga bahan bakar juga meningkatkan risiko ekonomi bagi petani dan menurunkan efisiensi produksi pertanian [6].

Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif yang lebih berkelanjutan untuk mendukung ketahanan air dan produktivitas pertanian.

Salah satu solusi yang berkembang adalah penggunaan solar-powered water pump (pompa tenaga surya). Teknologi ini memanfaatkan energi terbarukan untuk menggerakkan sistem pompa air, sehingga mampu mengurangi biaya operasional, meningkatkan efisiensi energi, serta mendukung praktik pertanian berkelanjutan [7][8]. Laporan dari International Renewable Energy Agency (IRENA) dan World Bank menunjukkan bahwa pemanfaatan energi surya di sektor pertanian berpotensi meningkatkan water resource resilience dan agricultural productivity, sekaligus menekan emisi gas rumah kaca [9][10]. Selain itu, integrasi pompa tenaga surya dengan sistem irigasi modern terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 20–30% [11].

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji implementasi pompa tenaga surya di sektor pertanian. Studi di beberapa daerah di Indonesia, seperti Jember dan Blitar, menunjukkan bahwa teknologi ini mampu meningkatkan produktivitas pertanian dan menurunkan biaya operasional petani secara signifikan [12][13]. Penelitian lain juga menegaskan bahwa adopsi teknologi energi terbarukan dalam irigasi dapat memperkuat ketahanan pangan di wilayah rentan kekeringan [14][15]. Namun demikian, sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada aspek teknis dan ekonomi secara umum, serta belum secara spesifik mengkaji keterkaitan antara penggunaan pompa tenaga surya dengan ketahanan sumber daya air (water resource resilience) pada konteks lokal yang memiliki karakteristik sosial-ekonomi dan lingkungan yang berbeda [16][17].

Berdasarkan kajian tersebut, terdapat research gap berupa keterbatasan penelitian yang mengintegrasikan aspek teknis, sosial, dan lingkungan dalam mengevaluasi peran pompa tenaga surya terhadap ketahanan sumber daya air di tingkat daerah, khususnya di Kabupaten Nganjuk. Selain itu, belum banyak penelitian yang menggabungkan data kuantitatif (ketersediaan air dan produktivitas) dengan persepsi petani sebagai pengguna teknologi [18][19].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi penggunaan pompa tenaga surya dalam meningkatkan ketahanan sumber daya air di Kabupaten Nganjuk melalui pendekatan yang komprehensif. Novelty penelitian ini terletak pada integrasi analisis teknis (ketersediaan air), ekonomi (efisiensi biaya), dan sosial (tingkat kepuasan petani) dalam satu kerangka kajian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan model pemanfaatan energi terbarukan di sektor pertanian, serta menjadi dasar rekomendasi kebijakan bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam mendorong adopsi teknologi yang berkelanjutan [20].

2. LITERATURE REVIEW

Permasalahan utama dalam pengelolaan sumber daya air di daerah agraris, termasuk Kabupaten Nganjuk, tidak hanya terletak pada keterbatasan kuantitas air, tetapi juga pada distribusi yang tidak merata dan penurunan kualitas air. Laporan Dinas PUPR menunjukkan bahwa sekitar 40% desa di Nganjuk masih memiliki akses terbatas terhadap air bersih [21]. Kondisi ini sejalan dengan temuan global yang menyatakan bahwa ketimpangan akses air menjadi faktor utama rendahnya produktivitas pertanian di wilayah pedesaan [22]. Selain itu, pencemaran akibat aktivitas pertanian dan industri turut memperburuk kondisi sumber daya air, sehingga pendekatan teknologi menjadi salah satu solusi yang banyak dikaji [23].

Dalam konteks tersebut, penggunaan solar-powered water pump mulai banyak diteliti sebagai alternatif teknologi yang lebih berkelanjutan dibandingkan pompa berbahan bakar fosil. Secara umum, studi-studi sebelumnya sepakat bahwa pompa tenaga surya mampu menurunkan biaya operasional secara signifikan. Misalnya, laporan Kementerian ESDM menunjukkan efisiensi biaya hingga 50% dibandingkan pompa diesel [24]. Temuan ini konsisten dengan penelitian oleh Chandel et al. yang menekankan bahwa efisiensi energi dan biaya menjadi keunggulan utama teknologi ini [7]. Namun demikian, beberapa penelitian juga menyoroti bahwa keuntungan ekonomi tersebut sangat bergantung pada skala penggunaan dan biaya investasi awal yang relatif tinggi [16].

Jika ditinjau dari dampak terhadap ketersediaan air, hasil penelitian menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Rahman et al. (2020) menemukan peningkatan akses air hingga 40% di wilayah pedesaan Kabupaten Malang [19], sementara Campana et al. (2017) menunjukkan peningkatan efisiensi penggunaan air sebesar 20–30% melalui integrasi dengan sistem irigasi modern [11]. Di sisi lain, Closas dan Rap (2017) mengingatkan bahwa peningkatan akses air melalui pompa tenaga surya berpotensi memicu eksploitasi air tanah secara berlebihan jika tidak diimbangi dengan regulasi yang tepat [16]. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun teknologi ini efektif secara teknis, dampaknya terhadap keberlanjutan sumber daya air masih menjadi perdebatan dalam literatur.

Dari aspek sosial, beberapa penelitian menekankan pentingnya penerimaan dan persepsi petani terhadap teknologi. Studi oleh Rahman et al. (2020) menunjukkan bahwa tingkat adopsi teknologi sangat dipengaruhi oleh pengetahuan, kemudahan penggunaan, dan manfaat ekonomi yang dirasakan [19]. Namun, penelitian lain menemukan bahwa keterbatasan pemahaman teknis dan kurangnya pelatihan menjadi hambatan utama dalam

implementasi teknologi energi terbarukan di sektor pertanian [18]. Dengan demikian, faktor sosial-ekonomi menjadi variabel penting yang menentukan keberhasilan adopsi pompa tenaga surya.

Meskipun berbagai studi telah membahas aspek teknis, ekonomi, dan sosial dari pompa tenaga surya, sebagian besar penelitian masih dilakukan secara parsial dan tidak terintegrasi. Beberapa penelitian berfokus pada efisiensi energi dan biaya [7][24], sementara yang lain menitikberatkan pada peningkatan produktivitas atau akses air [11][19]. Selain itu, kajian yang secara spesifik menghubungkan penggunaan pompa tenaga surya dengan water resource resilience pada konteks lokal, seperti Kabupaten Nganjuk, masih sangat terbatas [17].

Berdasarkan sintesis tersebut, posisi penelitian ini menjadi penting karena mengisi kesenjangan (research gap) dengan mengintegrasikan tiga aspek utama secara simultan, yaitu: (1) dampak teknis terhadap ketersediaan air, (2) efisiensi ekonomi dalam penggunaan energi, dan (3) persepsi serta tingkat kepuasan petani. Keunikan (novelty) penelitian ini terletak pada pendekatan komprehensif yang menggabungkan analisis kuantitatif dan kualitatif dalam satu kerangka evaluasi, serta fokus pada konteks lokal Kabupaten Nganjuk yang memiliki karakteristik spesifik terkait distribusi air dan ketergantungan pada pertanian.

3. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed methods dengan desain studi kasus kuantitatif–kualitatif untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif terkait dampak teknis, ekonomi, dan sosial dari penggunaan pompa tenaga surya. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur perubahan ketersediaan air dan efisiensi penggunaan pompa, sedangkan pendekatan kualitatif digunakan untuk menganalisis persepsi serta tingkat kepuasan petani. Penelitian dilaksanakan di beberapa wilayah pertanian di Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur, yang telah menerapkan pompa tenaga surya, dengan durasi penelitian selama ± 2 bulan yang mencakup tahap pra-implementasi, implementasi, dan evaluasi pasca-implementasi. Subjek penelitian adalah petani pengguna pompa tenaga surya yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling dengan kriteria telah menggunakan teknologi tersebut minimal 3 bulan, memiliki lahan pertanian aktif, dan bersedia menjadi responden. Jumlah responden sebanyak 100 petani yang dinilai representatif untuk menggambarkan kondisi di lokasi penelitian.

Instrumen penelitian meliputi alat ukur teknis seperti flow meter untuk mengukur debit air dan alat uji kualitas air sederhana, kuesioner terstruktur untuk mengukur persepsi petani terkait biaya operasional, produktivitas, dan tingkat kepuasan, serta panduan wawancara semi-terstruktur untuk menggali informasi lebih mendalam. Kuesioner disusun menggunakan skala Likert (1–5) untuk mengukur tingkat kepuasan dan persepsi responden. Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pengukuran langsung terhadap volume air yang dipompa (liter/hari) sebelum dan sesudah penggunaan pompa tenaga surya, penyebaran kuesioner kepada responden, wawancara mendalam untuk memperoleh data kualitatif, serta observasi lapangan untuk melihat kondisi sistem irigasi dan penggunaan pompa secara langsung. Pengambilan data dilakukan secara berkala guna memastikan konsistensi dan akurasi hasil.

Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan analisis deskriptif kuantitatif untuk menghitung rata-rata, persentase, dan perubahan ketersediaan air serta biaya operasional, serta analisis komparatif (before–after) untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penggunaan pompa tenaga surya. Selain itu, analisis kualitatif dilakukan melalui tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan terhadap hasil wawancara. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan narasi interpretatif. Untuk menjamin validitas dan reliabilitas data, dilakukan uji validitas instrumen melalui expert judgment dan uji coba terbatas, serta uji reliabilitas menggunakan koefisien Cronbach's Alpha. Selain itu, digunakan teknik triangulasi data dengan membandingkan hasil pengukuran, survei, dan wawancara, serta cross-check lapangan untuk memastikan kesesuaian data dengan kondisi aktual.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kriteria Pemilihan Pompa Tenaga Surya

Pemilihan pompa tenaga surya dalam penelitian ini didasarkan pada tiga kriteria utama, yaitu efisiensi energi, kapasitas pompa, dan biaya investasi. Pompa dengan efisiensi tinggi diprioritaskan untuk memaksimalkan pemanfaatan energi matahari, sementara kapasitas pompa disesuaikan dengan kebutuhan air lahan pertanian. Dari sisi ekonomi, pemilihan teknologi mempertimbangkan kemampuan finansial petani agar tetap terjangkau dalam jangka panjang.

Proses implementasi dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu survei lokasi, instalasi sistem (panel surya, pompa, dan jaringan irigasi), serta pelatihan petani. Faktor teknis seperti intensitas radiasi matahari, kedalaman sumber air, dan aksesibilitas lokasi menjadi pertimbangan utama dalam instalasi. Pelatihan diberikan untuk memastikan keberlanjutan penggunaan teknologi. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang

menekankan pentingnya kesesuaian teknis dan kapasitas pengguna dalam keberhasilan adopsi teknologi energi terbarukan [7][11].

a. Dampak Pompa Tenaga Surya terhadap Ketersediaan Air di Nganjuk

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pompa tenaga surya memberikan peningkatan signifikan terhadap ketersediaan air di lahan pertanian. Secara kuantitatif, terjadi peningkatan ketersediaan air sebesar 30% dibandingkan sebelum penggunaan pompa tenaga surya.

Temuan ini menguatkan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa teknologi solar-powered water pump mampu meningkatkan akses dan efisiensi penggunaan air, khususnya di daerah dengan keterbatasan sumber daya air [11][19]. Peningkatan ini disebabkan oleh kemampuan pompa tenaga surya dalam beroperasi secara lebih stabil tanpa ketergantungan pada ketersediaan bahan bakar, sehingga frekuensi pemompaan air menjadi lebih optimal.

b. Perbandingan Pasokan Air Sebelum dan Sesudah Menggunakan Pompa Tenaga Surya

Untuk memperjelas perubahan yang terjadi, perbandingan pasokan air sebelum dan sesudah penggunaan pompa tenaga surya disajikan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 1. Perbandingan Pasokan Air Harian

Kondisi	Pasokan Air (liter/hari)
Sebelum (pompa diesel)	500
Sesudah (pompa surya)	800
Peningkatan	+300 (60%)

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pasokan air meningkat dari 500 liter menjadi 800 liter per hari atau meningkat sebesar 60%. Peningkatan ini tidak hanya berdampak pada ketersediaan air, tetapi juga meningkatkan fleksibilitas petani dalam mengelola irigasi.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Campana et al. yang menunjukkan bahwa integrasi pompa tenaga surya dengan sistem irigasi dapat meningkatkan efisiensi distribusi air secara signifikan [11]. Namun demikian, perlu dicatat bahwa peningkatan akses air juga berpotensi meningkatkan eksploitasi sumber air jika tidak diimbangi dengan pengelolaan yang berkelanjutan, sebagaimana diingatkan oleh Closas dan Rap [16]. Oleh karena itu, aspek regulasi dan manajemen air tetap menjadi faktor penting.

c. Umpan Balik dari Komunitas Lokal tentang Efektivitas Pompa Tenaga Surya

Hasil survei terhadap 100 petani menunjukkan bahwa mayoritas responden memberikan penilaian positif terhadap penggunaan pompa tenaga surya. Ringkasan hasil survei disajikan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 2. Hasil Survei Kepuasan Petani

Indikator	Persentase (%)
Kepuasan terhadap teknologi	85
Penurunan biaya operasional	80
Peningkatan kemandirian air	83
Rekomendasi ke petani lain	87

Tingkat kepuasan petani mencapai 85%, yang menunjukkan penerimaan teknologi yang tinggi. Petani menyatakan bahwa penggunaan pompa tenaga surya mampu mengurangi biaya operasional serta meningkatkan kemandirian dalam pengelolaan air.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Rahman et al. yang menyatakan bahwa tingkat adopsi teknologi sangat dipengaruhi oleh manfaat ekonomi dan kemudahan penggunaan yang dirasakan oleh petani [19]. Selain itu, peningkatan kemandirian energi juga menjadi faktor penting dalam mendukung keberlanjutan sistem pertanian berbasis energi terbarukan.

d. Pembahasan Umum

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pompa tenaga surya tidak hanya meningkatkan ketersediaan dan pasokan air, tetapi juga memberikan dampak ekonomi dan sosial yang positif. Dari sisi teknis, peningkatan ketersediaan air sebesar 30% menunjukkan kontribusi nyata terhadap water resource resilience. Dari sisi ekonomi, penurunan biaya operasional memperkuat keberlanjutan usaha tani, sedangkan dari sisi sosial, tingkat kepuasan petani yang tinggi menunjukkan keberhasilan adopsi teknologi.

Namun demikian, hasil ini juga perlu dilihat secara kritis. Beberapa penelitian sebelumnya mengingatkan bahwa keberhasilan teknologi ini sangat bergantung pada dukungan kebijakan, pelatihan, dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan [16][17]. Oleh karena itu, implementasi pompa tenaga surya perlu diintegrasikan dengan strategi pengelolaan air yang lebih luas agar tidak menimbulkan dampak negatif jangka panjang.

5. SIMPULAN DAN IMPLIKASI

5.1. Implikasi Temuan Penelitian Terhadap Ketahanan Sumber Daya Air di Nganjuk

Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan pompa tenaga surya meningkatkan ketersediaan air hingga 30% dan pasokan air harian dari 500 menjadi 800 liter, serta memperoleh tingkat kepuasan petani sebesar 85%. Hasil ini menegaskan bahwa pompa tenaga surya berkontribusi nyata terhadap peningkatan ketahanan sumber daya air di Kabupaten Nganjuk.

Implikasi dari temuan ini adalah meningkatnya kemampuan petani dalam menjaga keberlanjutan produksi pertanian, yang secara langsung mendukung ketahanan pangan daerah. Selain itu, penggunaan energi terbarukan melalui pompa tenaga surya juga berkontribusi pada pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mendukung agenda pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya pada aspek akses air bersih dan energi ramah lingkungan.

Secara kebijakan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa adopsi teknologi pompa tenaga surya dapat menjadi strategi efektif dalam pengelolaan sumber daya air di daerah agraris. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan kolaboratif antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta dalam mengembangkan sistem pengelolaan air yang terintegrasi dan berkelanjutan..

a. Tantangan dan Keterbatasan Penggunaan Pompa Tenaga Surya

Meskipun memberikan manfaat yang signifikan, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa keterbatasan. Pertama, biaya investasi awal pompa tenaga surya masih relatif tinggi sehingga menjadi kendala bagi sebagian petani dalam mengadopsi teknologi ini. Kedua, keterbatasan pengetahuan dan keterampilan teknis petani mempengaruhi optimalisasi penggunaan dan pemeliharaan sistem. Ketiga, efektivitas pompa tenaga surya sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, sehingga berpotensi menurunkan kinerja pada saat intensitas matahari rendah.

Selain keterbatasan tersebut, penelitian ini juga memiliki batasan pada cakupan wilayah dan jumlah responden, sehingga generalisasi hasil masih terbatas pada konteks Kabupaten Nganjuk. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan cakupan yang lebih luas dan pendekatan yang lebih mendalam.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan tersebut, beberapa saran dapat diberikan, yaitu: (1) pemerintah perlu menyediakan insentif seperti subsidi atau skema pembiayaan untuk mendorong adopsi teknologi, (2) pelatihan teknis bagi petani perlu ditingkatkan untuk mendukung keberlanjutan penggunaan, dan (3) pengembangan sistem pendukung, seperti kombinasi dengan sumber energi lain, perlu dipertimbangkan untuk menjaga stabilitas pasokan air.

6. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa saran yang dapat diajukan meliputi dukungan kebijakan pemerintah, pelatihan petani, dan penelitian lanjutan. Pemerintah daerah perlu menyediakan insentif, seperti subsidi atau skema pembiayaan, serta kebijakan yang mendorong adopsi pompa tenaga surya sebagai bagian dari strategi pengelolaan sumber daya air dan ketahanan pangan. Selain itu, diperlukan program pelatihan teknis dan pendampingan berkelanjutan bagi petani untuk meningkatkan pemahaman, keterampilan operasional, serta pemeliharaan pompa tenaga surya agar pemanfaatannya lebih optimal. Di sisi lain, penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada evaluasi jangka panjang terkait efisiensi, keberlanjutan, serta dampak sosial-ekonomi dari penggunaan pompa tenaga surya, termasuk pengembangan inovasi teknologi dan sistem pendukungnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. S. K. Nganjuk, *Kabupaten Nganjuk dalam Angka 2023*. Nganjuk: BPS, 2023.
- [2] K. PUPR, *Laporan Kondisi Sumber Daya Air Indonesia*. Jakarta, 2021.
- [3] D. P. K. Nganjuk, "Laporan Tahunan Sektor Pertanian," Nganjuk, 2022.
- [4] J. Burney and R. Naylor, "Smallholder irrigation as a poverty alleviation tool in sub-Saharan Africa," *World Dev.*, vol. 40, no. 1, pp. 110–123, 2012.

-
- [5] S. Foster and H. Garduño, "Irrigated agriculture and groundwater resources—towards an integrated vision and sustainable relationship," *Water Sci. Technol.*, vol. 67, no. 6, pp. 1165–1172, 2013.
- [6] T. Shah, "Energy–irrigation nexus in South Asia," *Energy Policy*, vol. 75, pp. 50–61, 2014.
- [7] S. S. Chandel, "Review of solar photovoltaic water pumping system technology," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 1084–1099, 2015.
- [8] I. Odeh, "Economic viability of solar water pumping systems," *Sol. Energy*, vol. 80, no. 7, pp. 850–860, 2006.
- [9] IRENA, *Renewable Energy for Agriculture*. Abu Dhabi, 2020.
- [10] W. Bank, *Solar Pumping: The Basics*. Washington DC, 2019.
- [11] P. E. Campana, "Optimizing agricultural water management with solar-powered irrigation," *Appl. Energy*, vol. 192, pp. 141–154, 2017.
- [12] E. Suryani, "Implementation of solar-powered irrigation systems in East Java," *J. Tek. Pertan.*, vol. 9, no. 2, pp. 85–92, 2021.
- [13] B. Prasetyo, "Analysis of solar pump adoption in Indonesian agriculture," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, p. 12034.
- [14] FAO, *Water for Sustainable Food and Agriculture*. Rome, 2018.
- [15] M. Giordano, "Global groundwater? Issues and solutions," *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol. 44, pp. 1–26, 2019.
- [16] A. Closas, "Solar-based groundwater pumping for irrigation: sustainability challenges," *Energy Policy*, vol. 104, pp. 33–37, 2017.
- [17] A. Mukherji, "Solar irrigation pumps and India's groundwater economy," *Econ. Polit. Wkly.*, vol. 52, no. 48, pp. 27–35, 2017.
- [18] R. Fishman, "Can solar irrigation improve agricultural outcomes? Evidence from India," *Am. Econ. J. Econ. Policy*, vol. 8, no. 3, pp. 144–176, 2016.
- [19] M. M. Rahman, "Farmers' perception and adoption of solar irrigation technology," *Sustainability*, vol. 12, no. 4, p. 1614, 2020.
- [20] A. Kumar, "Solar irrigation for sustainable agriculture: A review," *Renew. Energy*, vol. 179, pp. 134–148, 2021.
- [21] D. P. K. Nganjuk, "Laporan Infrastruktur dan Sumber Daya Air," Nganjuk, 2022.
- [22] U. Nations, *The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water*. Paris, 2021.
- [23] S. Siebert, "Groundwater use for irrigation – a global inventory," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 14, pp. 1863–1880, 2010.
- [24] K. E. dan S. D. Mineral, "Laporan Energi Terbarukan di Sektor Pertanian," Jakarta, 2021.