

## PENERAPAN POMPA AIR TENAGA SURYA UNTUK IRIGASI PERTANIAN SKALA KECIL DI KABUPATEN SIMALUNGUN

Immanuelta Sitepu<sup>1)\*</sup>, Ebbit Dermawan Purba<sup>2)</sup>, Darwan Edyanto Saragih<sup>3)</sup>, Joni Wilson Sitopu<sup>4)</sup>

<sup>1),2),3),4)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Simalungun, Pematangsiantar, Indonesia  
\*Email: immanuelstp@yahoo.com

### Abstract

*Simalungun Regency is an agrarian region in North Sumatra that still faces challenges in providing irrigation water, particularly for small-scale farms with limited access to stable electricity. This community service program aimed to implement and demonstrate solar-powered water pump technology as an energy-efficient, environmentally friendly, and locally appropriate alternative for irrigation. The implementation method included partner needs assessment, off-grid solar water pumping system design, prototype development and installation, operation training, maintenance assistance, and system performance evaluation through measurements of solar radiation, voltage, current, panel power, water discharge, pump head, hydraulic power, system efficiency, and daily water volume. Five days of field testing from 08:00 to 16:00 showed that system performance increased from morning to midday and decreased in the afternoon in accordance with variations in solar radiation intensity. The maximum panel output ranged from 408 to 414 W, maximum water discharge was 0.95-0.98 L/s, maximum pump head was 11 m, maximum hydraulic power was 102-106 W, and system efficiency ranged from 17.0% to 25.5%. The daily average discharge was 0.69-0.75 L/s, producing 19.87-21.60 m<sup>3</sup>/day during 8 hours of operation. The results indicate that solar water pumping is technically feasible as appropriate technology to support small-scale irrigation, reduce dependence on fossil fuels, and strengthen farmers' energy independence in Simalungun Regency.*

*Keywords: Community Service, Solar Water Pump, Agricultural Irrigation, Renewable Energy, Simalungun.*

### Abstrak

Kabupaten Simalungun merupakan salah satu daerah agraris di Sumatera Utara yang masih menghadapi kendala penyediaan air irigasi, terutama pada lahan pertanian skala kecil yang belum memiliki akses energi listrik yang stabil. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan menerapkan dan mendemonstrasikan teknologi pompa air tenaga surya sebagai alternatif penyediaan air irigasi yang hemat energi, ramah lingkungan, dan sesuai dengan kebutuhan petani. Metode pelaksanaan meliputi identifikasi kebutuhan mitra, perancangan sistem pompa air tenaga surya off-grid, pembuatan dan pemasangan prototipe, pelatihan pengoperasian, pendampingan perawatan, serta evaluasi kinerja sistem melalui pengukuran radiasi matahari, tegangan, arus, daya panel, debit air, head pompa, daya hidrolik, efisiensi sistem, dan volume air harian. Data pengujian selama lima hari pada pukul 08.00-16.00 WIB menunjukkan bahwa kinerja sistem meningkat dari pagi menuju siang dan menurun pada sore hari mengikuti perubahan intensitas radiasi matahari. Daya panel maksimum berada pada kisaran 408-414 W, debit air maksimum 0,95-0,98 L/s, head maksimum 11 m, daya hidrolik tertinggi 102-106 W, dan efisiensi sistem berada pada kisaran 17,0-25,5%. Rekapitulasi pengamatan menunjukkan debit rata-rata harian sebesar 0,69-0,75 L/s dengan volume air 19,87-21,60 m<sup>3</sup>/hari selama 8 jam operasi. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa pompa air tenaga surya layak diterapkan sebagai teknologi tepat guna untuk mendukung irigasi pertanian skala kecil, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, dan meningkatkan kemandirian energi petani di Kabupaten Simalungun.

## **Kata Kunci: Pengabdian Masyarakat, Pompa Air Tenaga Surya, Irigasi Pertanian, Energi Terbarukan, Simalungun**

### **PENDAHULUAN**

Pertanian merupakan sektor penting bagi masyarakat Kabupaten Simalungun karena menjadi sumber pendapatan utama bagi banyak rumah tangga pedesaan. Ketersediaan air irigasi menjadi salah satu faktor yang menentukan keberhasilan produksi tanaman, terutama pada lahan kecil yang jauh dari jaringan irigasi permanen. Pada beberapa lokasi, petani masih mengandalkan pompa berbahan bakar bensin atau diesel untuk mengangkat air dari kolam, sungai kecil, parit, sumur dangkal, atau embung menuju lahan pertanian. Cara tersebut relatif mudah digunakan, tetapi menimbulkan biaya operasional yang cukup besar dan bergantung pada ketersediaan bahan bakar.

Kondisi tersebut mendorong perlunya penerapan teknologi tepat guna yang sederhana, hemat biaya operasional, dan dapat dikelola langsung oleh kelompok petani. Pompa air tenaga surya menjadi salah satu pilihan karena Kabupaten Simalungun berada di wilayah tropis dengan penyinaran matahari yang cukup baik sepanjang tahun. Panel surya dapat mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik untuk menggerakkan pompa air, sehingga sistem dapat bekerja secara mandiri tanpa jaringan listrik. Untuk lahan pertanian skala kecil, teknologi ini dapat dirancang dalam kapasitas yang tidak terlalu besar, menyesuaikan kebutuhan debit, head, luas lahan, dan kemampuan ekonomi masyarakat.

Artikel ini disusun sebagai artikel pengabdian kepada masyarakat yang berangkat dari naskah perancangan dan pengujian pompa air tenaga surya untuk irigasi pertanian skala kecil di Simalungun. Fokus artikel bukan hanya pada analisis teknis, tetapi juga pada aspek penerapan kepada masyarakat, yaitu bagaimana teknologi diperkenalkan, dipasang, diuji, dan dijelaskan kepada petani agar dapat digunakan secara berkelanjutan. Dengan demikian, kegiatan ini diharapkan memberikan kontribusi langsung pada peningkatan produktivitas pertanian dan

pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Permasalahan utama mitra dalam kegiatan ini meliputi tingginya biaya operasional pompa konvensional, keterbatasan akses listrik di beberapa titik lahan, belum optimalnya pemanfaatan energi terbarukan untuk pertanian, serta rendahnya pemahaman teknis petani mengenai sistem pompa tenaga surya. Selain itu, sebagian petani belum memiliki data sederhana mengenai hubungan antara waktu operasi, radiasi matahari, debit air, dan volume air yang dapat dihasilkan. Informasi tersebut penting agar petani dapat menentukan waktu pemompaan yang paling efektif.

Tujuan kegiatan pengabdian ini adalah menerapkan sistem pompa air tenaga surya off-grid untuk irigasi pertanian skala kecil, memberikan pelatihan pengoperasian dan perawatan dasar kepada petani, mengevaluasi kinerja sistem melalui pengujian lapangan, serta menyusun rekomendasi penerapan teknologi sesuai kondisi lahan di Kabupaten Simalungun. Luaran kegiatan berupa rancangan sistem, prototipe/paket teknologi sederhana, data performa harian, panduan operasional, dan rekomendasi pengembangan untuk kelompok petani.

### **METODE**

#### **PENGABDIAN**

##### **Pendekatan Kegiatan**

Metode kegiatan pengabdian menggunakan pendekatan partisipatif dan terapan. Pendekatan partisipatif dilakukan dengan melibatkan petani atau calon pengguna sejak tahap identifikasi kebutuhan, penentuan sumber air, estimasi kebutuhan irigasi, hingga evaluasi kemudahan penggunaan alat. Pendekatan terapan digunakan melalui perancangan, instalasi, dan pengujian sistem pompa air tenaga surya secara langsung di lapangan.

Tahapan kegiatan terdiri atas lima bagian utama, yaitu survei awal dan identifikasi masalah, perancangan sistem, pembuatan atau penyusunan prototipe,

### **PELAKSANAAN**

pelatihan dan pendampingan penggunaan, serta evaluasi kinerja. Setiap tahap diarahkan agar teknologi yang diterapkan tidak hanya dapat bekerja secara teknis, tetapi juga mudah dipahami dan dirawat oleh pengguna

### Lokasi, Sasaran, dan Waktu Pelaksanaan

Kegiatan diarahkan pada lahan pertanian skala kecil di Kabupaten Simalungun, dengan sasaran petani atau kelompok tani yang membutuhkan suplai air irigasi namun memiliki keterbatasan akses energi. Sistem diuji pada rentang waktu operasi 08.00-16.00 WIB karena periode tersebut merupakan waktu efektif pemanfaatan energi surya harian. Pengamatan dilakukan selama lima hari untuk melihat kecenderungan performa sistem pada beberapa variasi intensitas radiasi matahari.

Sasaran kegiatan mencakup petani pengguna pompa air, anggota kelompok tani, mahasiswa pendamping, serta pihak lokal yang berpotensi mengembangkan teknologi energi terbarukan untuk pertanian. Kegiatan pelatihan meliputi pengenalan komponen, cara menghidupkan dan mematikan sistem, pemeriksaan sambungan kabel dan pipa, pembersihan panel, serta pencatatan sederhana debit dan waktu pemompaan

### Rancangan Sistem Pompa Air Tenaga Surya

Sistem yang diterapkan merupakan sistem pompa air tenaga surya off-grid. Komponen utama terdiri atas panel surya, controller, inverter atau driver pompa sesuai jenis pompa, baterai opsional, pompa air, pipa hisap, pipa tekan, dan saluran distribusi air ke lahan. Pada sistem tanpa baterai, pompa bekerja mengikuti ketersediaan radiasi matahari. Pada sistem dengan baterai atau reservoir, kontinuitas suplai air dapat ditingkatkan karena air atau energi dapat

disimpan untuk digunakan pada waktu radiasi rendah.

Gambar 1 memperlihatkan alur kerja sistem pompa air tenaga surya. Panel surya menerima radiasi matahari dan menghasilkan arus listrik. Daya listrik tersebut diatur oleh controller dan diteruskan ke driver atau inverter untuk menggerakkan pompa. Pompa kemudian mengalirkan air dari sumber menuju reservoir atau saluran irigasi. Prinsip ini relatif sederhana sehingga cocok diperkenalkan sebagai teknologi tepat guna untuk petani.



**Gambar 1:** Skema sistem pompa air tenaga surya off-grid untuk irigasi pertanian skala kecil.

### Parameter Pengamatan

Parameter teknis yang diamati dalam kegiatan ini meliputi intensitas radiasi matahari (G), tegangan panel, arus panel, daya panel, debit air, head pompa, daya hidrolik, efisiensi sistem, dan volume air harian. Daya panel dihitung dari perkalian tegangan dan arus, sedangkan daya hidrolik dihitung berdasarkan hubungan antara massa jenis air, percepatan gravitasi, debit, dan head. Efisiensi sistem dihitung dari perbandingan daya hidrolik terhadap daya listrik panel.

**Tabel 1. Parameter Pengamatan Kegiatan Pengabdian**

No.	Parameter	Satuan	Fungsi
1	Radiasi matahari	W/m <sup>2</sup>	Menunjukkan energi matahari yang diterima panel
2	Tegangan dan arus	V, A	Dasar perhitungan daya listrik panel
3	Daya panel	W	Energi listrik masukan untuk pompa
4	Debit air	L/s	Kapasitas aliran air ke lahan
5	Head pompa	m	Ketinggian angkat atau tekanan kerja pompa
6	Daya hidrolik	W	Energi efektif untuk memindahkan air
7	Efisiensi sistem	%	Perbandingan keluaran hidrolik terhadap daya panel
8	Volume harian	m <sup>3</sup> /hari	Jumlah air yang tersedia untuk irigasi

### Tahapan Pelaksanaan

Tahap survei awal dilakukan untuk mengetahui kondisi lahan, sumber air, kebutuhan irigasi, dan kendala yang dialami petani. Informasi yang dikumpulkan meliputi jarak sumber air ke lahan, tinggi angkat air, pola penyiraman, kapasitas pompa yang biasa digunakan, serta biaya bahan bakar atau listrik yang dikeluarkan.

Tahap perancangan dilakukan dengan menentukan kapasitas panel, jenis pompa, kebutuhan pipa, head kerja, dan posisi pemasangan panel. Panel harus ditempatkan di area terbuka yang tidak terhalang bayangan pohon atau bangunan. Arah dan kemiringan panel disesuaikan agar menerima radiasi matahari secara optimal.

Tahap instalasi dilakukan dengan memasang panel surya, controller, inverter/driver, pompa, dan jaringan pipa. Setelah seluruh komponen terpasang, dilakukan pemeriksaan awal terhadap sambungan listrik, kebocoran pipa, kestabilan dudukan panel, dan kelancaran aliran air. Tahap ini juga dimanfaatkan sebagai media pembelajaran langsung bagi petani.

Tahap pelatihan meliputi pengenalan fungsi setiap komponen, cara membaca indikator sederhana, cara membersihkan panel, cara memeriksa debit air, cara menghindari kerusakan akibat kabel longgar atau pipa tersumbat, serta cara mencatat waktu operasi. Pelatihan disampaikan dengan bahasa teknis yang sederhana agar mudah dipahami oleh pengguna.

Tahap evaluasi dilakukan melalui pencatatan data pada beberapa waktu pengamatan. Data kemudian dianalisis untuk menjelaskan waktu operasi terbaik, potensi volume air harian, efisiensi sistem, serta hal-hal yang perlu diperbaiki agar sistem lebih sesuai dengan kebutuhan lapangan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Perancangan dan Penerapan Sistem

Penerapan sistem pompa air tenaga surya dilakukan sebagai contoh pemanfaatan energi terbarukan pada sektor pertanian. Sistem dirancang agar mampu mengalirkan air pada head maksimum sekitar 11 m dengan debit mendekati 1 L/s saat kondisi radiasi tinggi. Kapasitas tersebut dinilai cukup relevan untuk lahan pertanian skala kecil karena dapat menghasilkan volume air harian sekitar 20 m<sup>3</sup> selama 8 jam operasi efektif.

*Dari sisi teknis, sistem menunjukkan pola kerja yang konsisten. Pada pagi hari, radiasi matahari masih relatif rendah sehingga arus dan daya panel belum maksimal. Memasuki pukul 10.00-13.00 WIB, radiasi meningkat dan sistem menghasilkan daya, debit, dan efisiensi yang lebih tinggi. Setelah sore hari, penurunan radiasi menyebabkan penurunan daya panel dan debit air. Pola tersebut menjadi bahan edukasi penting bagi petani bahwa waktu pemompaan terbaik adalah menjelang siang hingga awal siang*

#### Hubungan Radiasi Matahari dan Daya Panel

Data pengujian menunjukkan bahwa radiasi matahari memiliki hubungan positif dengan daya panel. Pada salah satu hari pengamatan, radiasi meningkat dari 420 W/m<sup>2</sup> pada pukul 08.00 menjadi 940 W/m<sup>2</sup> pada pukul 12.00. Peningkatan tersebut diikuti oleh kenaikan daya panel dari 187 W menjadi 414 W. Setelah pukul 12.00, radiasi menurun dan daya panel ikut turun hingga 220 W pada pukul 16.00. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari merupakan faktor utama yang mengendalikan keluaran listrik panel surya.

**Tabel 2. Contoh Data Hubungan Radiasi, Daya Panel, dan Debit Air**

No.	Waktu	Radiasi (W/m <sup>2</sup> )	Daya Panel (W)	Debit (L/s)
1	08:00	420	187	0,42
2	09:00	550	252	0,55
3	10:00	720	319	0,71
4	11:00	860	382	0,86
5	12:00	940	414	0,95
6	13:00	900	398	0,92
7	14:00	780	342	0,80
8	15:00	620	281	0,65
9	16:00	480	220	0,50



**Gambar 2:** Pola hubungan radiasi matahari dan daya panel terhadap waktu.

Pada kegiatan pengabdian, grafik ini digunakan sebagai media penjelasan kepada petani. Petani dapat memahami bahwa pompa tenaga surya tidak bekerja dengan keluaran yang sama sepanjang hari. Kinerja terbaik terjadi ketika matahari cukup kuat dan panel tidak tertutup bayangan. Karena itu, penempatan panel dan pembersihan permukaan panel menjadi bagian penting dari perawatan harian.

**Debit Air, Head, dan Daya Hidrolik**

Debit air dan head menunjukkan kemampuan pompa dalam memenuhi

kebutuhan irigasi. Hasil pengamatan menunjukkan debit meningkat dari 0,42 L/s pada pagi hari menjadi 0,95 L/s pada pukul 12.00, sedangkan head meningkat dari 8 m menjadi 11 m. Daya hidrolik juga meningkat dari 33 W menjadi 102 W pada periode yang sama. Peningkatan ini membuktikan bahwa ketika daya listrik yang tersedia lebih besar, pompa mampu menghasilkan aliran air dan tekanan kerja yang lebih baik.

**Tabel 3. Debit, Head, dan Daya Hidrolik Pompa**

No.	Waktu	Debit (L/s)	Head (m)	Daya Hidrolik (W)
1	08:00	0,42	8	33
2	09:00	0,55	9	49
3	10:00	0,71	10	70
4	11:00	0,86	10	84
5	12:00	0,95	11	102
6	13:00	0,92	11	99
7	14:00	0,80	10	78
8	15:00	0,65	9	57
9	16:00	0,50	8	39

Bagi petani, debit air menjadi parameter yang paling mudah diamati karena berhubungan langsung dengan kecepatan pengisian saluran atau bak penampung. Jika sistem menghasilkan debit rata-rata 0,70 L/s selama 8 jam operasi, maka volume air yang diperoleh dapat mencapai sekitar 20 m<sup>3</sup> per hari. Jumlah ini dapat membantu penyiraman lahan kecil, terutama untuk tanaman hortikultura, palawija, dan tanaman lain yang membutuhkan penyiraman rutin, seperti gambar dibawah ini:





**Gambar 3:** Desain pompa dalam memenuhi kebutuhan irigasi

**Efisiensi Sistem**

Efisiensi sistem dihitung sebagai perbandingan antara daya hidrolik yang dihasilkan pompa dan daya listrik panel. Hasil pengujian menunjukkan efisiensi berada pada kisaran 17,0-25,5%. Nilai efisiensi meningkat dari pagi menuju siang, mencapai puncak pada pukul 12.00-13.00, kemudian menurun pada sore hari. Efisiensi tertinggi menunjukkan periode ketika sistem paling efektif mengubah energi listrik dari panel menjadi energi hidrolik untuk mengalirkan air.

**Tabel 4. Efisiensi Sistem Pompa Tenaga Surya**

No.	Waktu	Daya Panel (W)	Daya Hidrolik (W)	Efisiensi (%)
1	08:00	187	33	17,6
2	09:00	252	49	19,4
3	10:00	319	70	21,9
4	11:00	382	84	22,0
5	12:00	414	102	24,6
6	13:00	398	99	24,8
7	14:00	342	78	22,8
8	15:00	281	57	20,3
9	16:00	220	39	17,7



**Gambar 4:** Daya hidrolik dan efisiensi sistem terhadap waktu.

Efisiensi total sistem dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain efisiensi panel, losses pada kabel dan controller, efisiensi motor pompa, kondisi pipa, serta head aktual. Efisiensi yang diperoleh dalam kegiatan ini masih tergolong wajar untuk sistem skala kecil sederhana. Peningkatan efisiensi dapat dilakukan melalui pemilihan pompa yang lebih sesuai dengan karakteristik panel, pengurangan panjang pipa yang tidak perlu, penggunaan kabel dengan ukuran yang memadai, serta penempatan panel pada posisi yang tepat.

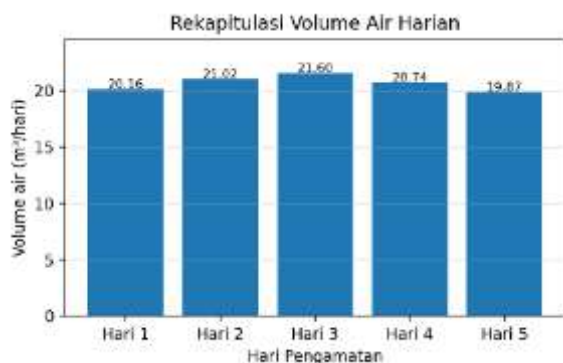
Volume Air Harian dan Kesesuaian untuk Irigasi

Rekapitulasi lima hari pengamatan menunjukkan bahwa debit rata-rata harian berada pada kisaran 0,69-0,75 L/s. Dengan lama operasi 8 jam per hari, volume air yang dihasilkan berada pada kisaran 19,87-21,60 m<sup>3</sup>/hari. Volume tertinggi terjadi pada hari ketiga, yaitu 21,60 m<sup>3</sup>/hari, sedangkan volume terendah terjadi pada hari kelima, yaitu 19,87 m<sup>3</sup>/hari. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi radiasi matahari dan performa aliran air harian.

**Tabel 5. Rekapitulasi Volume Air Harian Selama Lima Hari Pengamatan**

No.	Hari	Rata-rata Debit (L/s)	Lama Operasi (jam)	Volume (m <sup>3</sup> /hari)
1	Hari 1	0,70	8	20,16
2	Hari 2	0,73	8	21,02
3	Hari 3	0,75	8	21,60
4	Hari 4	0,72	8	20,74

5	Hari 5	0,69	8	19,87
---	--------	------	---	-------



**Gambar 5:** Volume air harian yang dihasilkan sistem pompa tenaga surya.

Dari sudut pandang pengabdian, volume air harian ini menjadi indikator yang mudah dipahami oleh petani. Jika kebutuhan air tanaman dapat dihitung secara sederhana, petani dapat memperkirakan luas lahan yang dapat dilayani oleh sistem. Untuk penerapan lebih luas, sistem dapat dikombinasikan dengan reservoir air sehingga pompa bekerja pada siang hari untuk mengisi bak, kemudian air digunakan secara bertahap sesuai kebutuhan irigasi.

**Dampak Kegiatan terhadap Mitra**

Kegiatan pengabdian memberikan beberapa dampak langsung bagi mitra. Pertama, petani memperoleh pemahaman mengenai alternatif energi untuk pompa air. Sebelumnya, pompa sering dipahami hanya sebagai alat yang membutuhkan bensin, diesel, atau listrik PLN. Melalui demonstrasi ini, petani dapat melihat bahwa energi matahari dapat dimanfaatkan langsung untuk menggerakkan pompa air.

Kedua, kegiatan ini membantu meningkatkan literasi energi terbarukan di tingkat masyarakat. Petani memahami komponen dasar seperti panel surya, controller, inverter/driver, pompa, kabel, dan pipa. Pengetahuan sederhana ini penting agar pengguna tidak hanya menerima alat, tetapi juga mampu melakukan perawatan dasar dan mengenali tanda-tanda gangguan.

Ketiga, teknologi ini berpotensi menurunkan biaya operasional dalam jangka panjang. Pada pompa konvensional, biaya bahan bakar menjadi beban rutin. Pada pompa tenaga surya, biaya operasional harian

relatif rendah setelah sistem terpasang. Penghematan tersebut dapat dialihkan untuk kebutuhan pertanian lain seperti benih, pupuk, perawatan tanaman, atau perbaikan saluran irigasi.

Keempat, kegiatan ini mendukung pertanian yang lebih ramah lingkungan. Penggunaan energi surya mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan emisi gas buang dari mesin pompa. Walaupun kapasitas sistem masih kecil, penerapan secara bertahap pada banyak kelompok tani dapat memberikan dampak lingkungan yang lebih besar.

**Kendala Pelaksanaan dan Solusi**

Beberapa kendala ditemukan selama proses penerapan. Kendala pertama adalah fluktuasi radiasi matahari. Pada saat cuaca mendung, daya panel menurun sehingga debit air berkurang. Solusi yang dapat diterapkan adalah menggunakan reservoir air agar air yang dipompa saat radiasi tinggi dapat disimpan untuk digunakan pada waktu lain.

Kendala kedua adalah kebutuhan pemilihan pompa yang sesuai. Jika pompa terlalu besar, panel tidak mampu menyediakan daya yang cukup. Jika pompa terlalu kecil, debit air tidak memenuhi kebutuhan irigasi. Oleh karena itu, pemilihan pompa harus didasarkan pada debit, head, luas lahan, dan kapasitas panel.

Kendala ketiga adalah pemahaman pengguna terhadap komponen listrik. Untuk mengurangi risiko kesalahan penggunaan, diperlukan panduan sederhana berupa SOP pemasangan, pemeriksaan kabel, pembersihan panel, dan langkah mengamankan sistem saat hujan lebat atau tidak digunakan.

**Pembahasan Teknologi Tepat Guna**

Pompa air tenaga surya dapat dikategorikan sebagai teknologi tepat guna karena memenuhi beberapa kriteria, yaitu menggunakan sumber energi lokal yang tersedia melimpah, dapat diterapkan pada skala kecil, biaya operasional rendah, perawatan relatif sederhana, dan manfaatnya langsung dirasakan oleh masyarakat. Kesesuaian teknologi ini semakin kuat pada

Inmanuela Sitepu, Ebbit Dermawan Purba, Darwan Edyanto Saragih, Joni Wilson Sitepu wilayah pertanian yang jauh dari jaringan listrik tetapi memiliki paparan matahari yang baik.

Dalam konteks Kabupaten Simalungun, penerapan pompa air tenaga surya dapat diarahkan pada lahan hortikultura, palawija, tanaman perkebunan kecil, dan lahan sawah tadah hujan yang membutuhkan air tambahan. Sistem juga dapat diterapkan sebagai pompa pengisi bak penampung di lahan pertanian. Dengan konsep ini, pompa tidak harus bekerja sepanjang hari; cukup bekerja pada saat radiasi tinggi untuk mengisi bak, kemudian distribusi air dapat dilakukan secara gravitasi atau menggunakan kran sederhana.

Kunci keberhasilan penerapan teknologi bukan hanya pada alat, tetapi juga pada penguatan kapasitas pengguna. Petani perlu dilibatkan dalam perencanaan agar sistem sesuai kebutuhan. Selain itu, perlu dibuat perhitungan sederhana mengenai kebutuhan air tanaman, volume air harian, waktu operasi, dan pemeliharaan sistem. Dengan demikian, teknologi tidak berhenti sebagai prototipe, tetapi benar-benar dapat digunakan dalam kegiatan produksi pertanian.

Sistem yang diterapkan dalam kegiatan ini masih dapat dikembangkan. Pengembangan dapat dilakukan dengan menambah kapasitas panel, memperbaiki pemilihan pompa, menambah baterai jika dibutuhkan, memasang sensor debit sederhana, serta menggunakan rangka panel yang lebih kuat dan mudah diatur kemiringannya. Untuk kelompok tani yang memiliki beberapa petak lahan, sistem dapat dibuat komunal dengan reservoir yang lebih besar.

### **Profil Permasalahan Mitra dan Kebutuhan Teknologi**

Mitra sasaran dalam kegiatan ini merupakan petani skala kecil yang membutuhkan suplai air untuk kegiatan penyiraman dan irigasi tambahan. Pada umumnya, petani mengelola lahan dengan luas terbatas dan menggunakan sumber air yang tersedia di sekitar lahan, seperti kolam kecil, parit, sumur dangkal, atau aliran air permukaan. Permasalahan muncul ketika sumber air berada lebih rendah dari lahan

atau berada pada jarak tertentu sehingga petani membutuhkan pompa untuk memindahkan air.

Sebelum adanya penerapan pompa tenaga surya, pengoperasian pompa biasanya dilakukan menggunakan mesin berbahan bakar bensin atau diesel. Sistem tersebut membutuhkan biaya harian untuk bahan bakar, oli, dan perawatan mesin. Selain itu, suara mesin relatif bising dan menghasilkan emisi gas buang. Pada kondisi tertentu, petani juga kesulitan mengoperasikan pompa ketika bahan bakar tidak tersedia atau harga bahan bakar meningkat. Kondisi ini menyebabkan proses penyiraman tidak selalu dilakukan pada waktu yang dibutuhkan tanaman.

Kebutuhan teknologi yang diidentifikasi adalah sistem pompa yang mampu bekerja mandiri, mudah dipindahkan, dapat dipahami oleh pengguna, dan tidak memerlukan biaya bahan bakar harian. Pompa air tenaga surya menjawab kebutuhan tersebut karena memanfaatkan energi matahari yang tersedia di lahan pertanian. Teknologi ini juga sejalan dengan konsep pertanian berkelanjutan, khususnya dalam penggunaan energi bersih dan pengurangan biaya operasional produksi.

Dalam kegiatan pengabdian, kebutuhan mitra tidak hanya dipandang sebagai kebutuhan alat, tetapi juga kebutuhan pengetahuan. Petani perlu memahami waktu operasi optimum, keterbatasan sistem saat mendung, pentingnya pembersihan panel, serta cara menjaga pompa dan jaringan pipa agar tidak cepat rusak. Karena itu, kegiatan ini menggabungkan penerapan teknologi dan edukasi teknis sederhana.

### **Rancangan Materi Edukasi kepada Petani**

Materi edukasi disusun dalam bentuk sederhana agar dapat dipahami oleh petani tanpa latar belakang teknik. Materi pertama adalah pengenalan energi surya, yaitu penjelasan bahwa panel surya menghasilkan listrik ketika menerima cahaya matahari. Semakin kuat intensitas matahari, semakin besar arus listrik yang dihasilkan. Penjelasan ini dikaitkan langsung dengan hasil pengamatan lapangan, dimana debit air meningkat pada siang hari dan menurun pada sore hari.

Materi kedua adalah pengenalan komponen sistem. Petani diperkenalkan pada panel surya, kabel, controller, inverter atau driver, pompa, pipa hisap, pipa tekan, dan reservoir. Setiap komponen dijelaskan fungsinya, tanda kerusakan sederhana, dan cara perawatan dasar. Misalnya, panel harus dibersihkan dari debu dan kotoran, kabel tidak boleh terkelupas, sambungan pipa harus diperiksa dari kebocoran, serta pompa tidak boleh dibiarkan bekerja tanpa air.

Materi ketiga adalah praktik pengoperasian. Petani dilatih untuk menempatkan panel pada area terbuka, memastikan pompa terisi air sesuai jenisnya,

memeriksa aliran keluar, mencatat waktu operasi, dan memperkirakan volume air yang dihasilkan. Dengan pendekatan praktik langsung, petani dapat memahami hubungan antara kondisi matahari dan kinerja pompa secara lebih nyata.

Materi keempat adalah perawatan dan keselamatan. Petani diberi pemahaman agar tidak menyentuh komponen listrik dengan tangan basah, tidak meletakkan sambungan listrik di area tergenang, mematikan sistem saat terjadi hujan lebat atau petir, serta menyimpan komponen portabel di tempat aman. Materi ini penting agar teknologi dapat digunakan secara aman dan berkelanjutan.

**Tabel 6. Rancangan Materi Edukasi dan Pendampingan Mitra**

No.	Materi Pelatihan	Tujuan	Bentuk Kegiatan
1	Pengenalan energi surya	Memahami sumber energi sistem	Diskusi dan demonstrasi panel
2	Komponen sistem	Mengenal fungsi setiap bagian	Identifikasi langsung pada alat
3	Operasi pompa	Mampu menghidupkan dan memantau aliran	Praktik lapangan
4	Perawatan dasar	Mengurangi risiko kerusakan	Simulasi pemeriksaan panel, kabel, dan pipa
5	Keselamatan kerja	Menghindari risiko listrik dan mekanik	Penjelasan SOP singkat

**Prosedur Operasional Sederhana untuk Mitra**

Agar sistem dapat digunakan secara mandiri oleh petani, disusun prosedur operasional sederhana. Prosedur ini berfungsi sebagai panduan harian dalam mengoperasikan pompa air tenaga surya. Pada tahap awal, pengguna perlu memeriksa posisi panel dan memastikan tidak ada bayangan yang menutupi permukaan panel. Bayangan kecil sekalipun dapat menurunkan produksi listrik panel, terutama jika mengenai sebagian sel panel.

Tahap berikutnya adalah pemeriksaan pipa dan pompa. Pipa hisap harus berada pada sumber air dan tidak tersumbat. Sambungan pipa harus rapat agar tidak terjadi kebocoran yang menurunkan debit. Untuk beberapa jenis pompa, pengguna perlu memastikan pompa tidak bekerja dalam keadaan kering. Setelah sistem aktif, petani

dapat mengamati aliran air dan memastikan air mengalir ke saluran irigasi atau reservoir.

Selama operasi, pengguna dianjurkan mencatat waktu mulai dan waktu berhenti pemompaan. Catatan ini dapat digunakan untuk memperkirakan volume air harian. Jika debit rata-rata sekitar 0,70 L/s, maka operasi selama satu jam dapat menghasilkan sekitar 2,52 m<sup>3</sup> air. Perhitungan sederhana seperti ini membantu petani merencanakan penyiraman sesuai kebutuhan tanaman.

Setelah pemakaian, sistem perlu diperiksa kembali. Panel dibersihkan secara berkala, kabel digulung rapi jika menggunakan sistem portabel, dan pipa diperiksa dari endapan atau kotoran. Perawatan sederhana yang dilakukan secara rutin dapat memperpanjang umur pakai komponen dan menjaga performa sistem tetap stabil.

**Tabel 7. Prosedur Operasional Sederhana Sistem Pompa Air Tenaga Surya**

No.	Tahap	Langkah Operasional	Indikator Berhasil
1	Sebelum operasi	Periksa panel, kabel, pipa, dan sumber air	Panel bersih, kabel aman, pipa tidak bocor
2	Saat operasi	Aktifkan sistem dan amati debit air	Air mengalir stabil menuju lahan/reservoir
3	Pemantauan	Catat waktu operasi dan kondisi cuaca	Data harian tersedia untuk evaluasi
4	Setelah operasi	Bersihkan panel dan periksa sambungan	Sistem siap digunakan kembali
5	Perawatan berkala	Cek pompa, pipa, dan kedudukan panel	Kerusakan dapat dicegah lebih awal

### Analisis Manfaat Ekonomi Sederhana

Walaupun artikel ini tidak menyajikan analisis ekonomi rinci, manfaat ekonomi sederhana dapat dijelaskan melalui pengurangan biaya bahan bakar. Pada pompa berbahan bakar fosil, petani harus menyediakan biaya untuk bensin atau diesel setiap kali melakukan penyiraman. Biaya tersebut bersifat berulang dan dapat meningkat mengikuti harga bahan bakar. Pada sistem tenaga surya, biaya bahan bakar harian dapat ditekan karena sumber energi utama berasal dari matahari.

Manfaat ekonomi juga muncul dari peningkatan kepastian penyiraman. Ketika air dapat dipompa secara mandiri pada siang hari, petani memiliki peluang lebih besar untuk menjaga kelembapan lahan pada periode kritis pertumbuhan tanaman. Ketersediaan air yang lebih teratur dapat membantu meningkatkan produktivitas, mengurangi risiko tanaman layu, dan mendukung intensifikasi lahan kecil.

Namun demikian, investasi awal sistem tenaga surya masih menjadi tantangan. Panel surya, controller, pompa, kabel, dan pipa membutuhkan biaya awal yang lebih besar dibandingkan membeli pompa konvensional kecil. Oleh karena itu, model penerapan yang disarankan adalah sistem komunal kelompok tani, bantuan stimulan pemerintah desa, program CSR, atau skema pembiayaan bertahap. Dengan penggunaan bersama, biaya investasi dapat dibagi dan manfaat sistem dapat dirasakan oleh lebih banyak anggota.

Analisis ekonomi lanjutan perlu menghitung biaya investasi, biaya pemeliharaan, umur pakai panel, umur pakai pompa, penghematan bahan bakar, nilai tambah hasil pertanian, serta periode pengembalian investasi. Perhitungan tersebut akan membantu pemerintah daerah dan

kelompok tani menentukan skala sistem yang paling sesuai.

### Analisis Lingkungan dan Keberlanjutan

Penerapan pompa air tenaga surya memiliki manfaat lingkungan karena mengurangi penggunaan bahan bakar fosil pada kegiatan irigasi. Mesin pompa berbahan bakar bensin atau diesel menghasilkan emisi gas buang dan kebisingan. Dengan mengganti sebagian penggunaan pompa konvensional menggunakan pompa tenaga surya, petani dapat mengurangi emisi pada kegiatan budidaya harian.

Dari sisi keberlanjutan, sistem tenaga surya memiliki umur pakai panel yang relatif panjang jika dirawat dengan baik. Perawatan utama berupa pembersihan panel, perlindungan kabel, dan pemeriksaan sambungan. Komponen yang paling mungkin membutuhkan penggantian lebih cepat adalah pompa, controller, baterai jika digunakan, serta komponen mekanik seperti pipa dan sambungan. Oleh karena itu, pelatihan perawatan menjadi faktor kunci keberlanjutan program.

Keberlanjutan sosial juga perlu diperhatikan. Teknologi akan lebih mudah bertahan jika pengguna merasa memiliki, memahami manfaatnya, dan mampu memperbaiki gangguan kecil. Untuk itu, kegiatan pengabdian perlu melibatkan petani dalam proses pemasangan dan pengujian, bukan hanya menyerahkan alat. Pendekatan ini dapat meningkatkan rasa kepemilikan dan kemampuan lokal dalam mengelola teknologi.

### Evaluasi Keberhasilan Kegiatan

Keberhasilan kegiatan dapat dinilai dari beberapa indikator. Indikator teknis meliputi kemampuan sistem menghasilkan debit air, head, volume harian, dan efisiensi yang memadai. Berdasarkan data pengamatan, sistem mampu menghasilkan

debit rata-rata harian sekitar 0,69-0,75 L/s dan volume air sekitar 20 m<sup>3</sup>/hari. Indikator ini menunjukkan bahwa sistem dapat mendukung irigasi skala kecil.

Indikator edukatif meliputi meningkatnya pemahaman mitra terhadap fungsi komponen dan cara pengoperasian alat. Setelah pelatihan, pengguna diharapkan mampu menjelaskan fungsi panel, pompa, controller, kabel, dan pipa; mampu mengoperasikan alat dengan aman; serta mampu melakukan perawatan sederhana seperti membersihkan panel dan memeriksa kebocoran.

Indikator sosial ekonomi meliputi adanya minat mitra untuk menggunakan teknologi, potensi pengurangan biaya bahan bakar, dan peluang penerapan pada lahan lain. Dalam jangka panjang, keberhasilan kegiatan dapat dilihat dari keberlanjutan penggunaan alat setelah program selesai, kemampuan kelompok tani melakukan perawatan, dan replikasi sistem oleh petani lain.

Indikator keberhasilan kegiatan meliputi: (1) aspek teknis berupa debit, head, volume air, dan efisiensi; (2) aspek edukasi berupa kemampuan mitra memahami komponen dan SOP; (3) aspek ekonomi berupa potensi pengurangan biaya bahan bakar; (4) aspek lingkungan berupa pengurangan emisi dan kebisingan; serta (5) aspek keberlanjutan berupa kemampuan petani melakukan perawatan dan replikasi sistem.

### **Rencana Tindak Lanjut**

Rencana tindak lanjut pertama adalah penyusunan modul singkat penggunaan pompa air tenaga surya. Modul dapat berisi gambar komponen, langkah operasi, cara menghitung volume air sederhana, jadwal pembersihan panel, dan daftar periksa kerusakan. Modul ini penting agar pengetahuan tidak hilang setelah kegiatan pelatihan selesai.

Rencana kedua adalah pengembangan sistem demonstrasi di lahan percontohan. Lahan percontohan dapat menjadi tempat belajar bagi petani lain yang ingin melihat langsung cara kerja pompa tenaga surya. Dengan adanya contoh nyata, penerimaan

masyarakat terhadap teknologi dapat meningkat.

Rencana ketiga adalah melakukan pengujian lanjutan dengan variasi kapasitas panel dan pompa. Pengujian ini diperlukan untuk menemukan konfigurasi paling ekonomis sesuai kebutuhan lahan. Misalnya, untuk lahan kecil dapat digunakan panel dan pompa berkapasitas lebih rendah, sedangkan untuk lahan komunal dapat digunakan sistem dengan panel lebih besar dan reservoir yang lebih memadai.

Rencana keempat adalah menjalin kerja sama dengan pemerintah desa, dinas pertanian, perguruan tinggi, dan pelaku usaha lokal. Kerja sama ini dapat mendukung pengadaan komponen, pelatihan teknisi lokal, dan replikasi teknologi pada lokasi lain. Dengan dukungan kelembagaan, teknologi pompa air tenaga surya dapat berkembang dari kegiatan pengabdian menjadi program pemberdayaan masyarakat yang berkelanjutan.

### **Potensi Replikasi pada Kelompok Tani Lain**

Potensi replikasi teknologi pompa air tenaga surya di Kabupaten Simalungun cukup besar karena wilayah ini memiliki banyak lahan pertanian yang tersebar pada berbagai kondisi topografi. Replikasi dapat dilakukan pada lahan sayuran, palawija, tanaman perkebunan rakyat, pembibitan, serta lahan pekarangan produktif. Sistem skala kecil dapat dimanfaatkan untuk penyiraman rutin, sedangkan sistem yang lebih besar dapat diarahkan untuk pengisian bak penampung komunal.

Agar replikasi berjalan baik, diperlukan pemetaan kebutuhan air dan karakteristik lokasi. Setiap lokasi memiliki kebutuhan berbeda karena dipengaruhi oleh luas lahan, jenis tanaman, jarak sumber air, tinggi angkat air, dan pola tanam. Oleh karena itu, sebelum pemasangan sistem, kelompok tani perlu melakukan survei sederhana. Data minimal yang harus dikumpulkan meliputi sumber air, jarak ke lahan, tinggi permukaan lahan terhadap sumber air, jam penyinaran efektif, dan kebutuhan penyiraman harian.

Model penerapan yang direkomendasikan adalah model bertahap. Tahap pertama berupa unit demonstrasi kecil untuk membuktikan manfaat teknologi. Tahap kedua berupa pelatihan teknisi lokal atau anggota kelompok tani yang memiliki kemampuan dasar perakitan. Tahap ketiga berupa pengembangan unit tambahan sesuai kebutuhan lahan. Pendekatan bertahap ini lebih realistis karena memberi kesempatan kepada masyarakat untuk belajar, mengevaluasi, dan menyesuaikan teknologi sebelum melakukan investasi yang lebih besar.

Perguruan tinggi dapat berperan sebagai pendamping teknis melalui kegiatan pengabdian berkelanjutan, penelitian mahasiswa, dan pelatihan masyarakat. Pemerintah desa dapat mendukung melalui dana ketahanan pangan, program inovasi desa, atau penguatan sarana pertanian. Sementara itu, kelompok tani berperan sebagai pengguna, perawat, sekaligus penyebar pengetahuan kepada petani lain. Sinergi ketiga pihak ini diperlukan agar pompa air tenaga surya tidak hanya menjadi alat demonstrasi, tetapi benar-benar menjadi solusi irigasi yang dapat direplikasi.

Strategi replikasi dilakukan melalui beberapa tahap: unit percontohan untuk membuktikan manfaat teknologi, pelatihan lokal agar petani mampu mengoperasikan sistem, evaluasi kebutuhan berdasarkan debit dan head aktual, pengembangan komunal melalui penambahan panel atau reservoir, serta monitoring berkala untuk menjaga keberlanjutan penggunaan alat.

## KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat melalui penerapan pompa air tenaga surya untuk irigasi pertanian skala kecil di Kabupaten Simalungun menunjukkan bahwa teknologi ini layak digunakan sebagai alternatif penyediaan air irigasi. Sistem mampu bekerja mengikuti ketersediaan energi matahari, dengan kinerja terbaik pada pukul 12.00-13.00 WIB ketika radiasi, daya panel, debit, head, daya hidrolik, dan efisiensi berada pada nilai tinggi.

Hasil pengamatan menunjukkan daya panel maksimum berada pada kisaran 408-414 W, debit maksimum 0,95-0,98 L/s, head maksimum 11 m, daya hidrolik tertinggi 102-106 W, dan efisiensi sistem 17,0-25,5%. Rekapitulasi lima hari menunjukkan volume air harian sekitar 19,87-21,60 m<sup>3</sup>/hari selama 8 jam operasi. Jumlah ini cukup potensial untuk mendukung kebutuhan irigasi skala kecil, terutama jika dikombinasikan dengan reservoir penyimpanan air.

Dari sisi pemberdayaan masyarakat, kegiatan ini meningkatkan pemahaman petani terhadap teknologi energi terbarukan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan membuka peluang penerapan teknologi tepat guna di sektor pertanian. Pompa air tenaga surya dapat menjadi solusi praktis untuk mendukung produktivitas petani di wilayah yang memiliki keterbatasan akses energi tetapi memiliki potensi radiasi matahari yang baik

## Saran

Penerapan berikutnya disarankan menggunakan periode pengujian yang lebih panjang, termasuk pada musim kemarau dan musim hujan, agar diperoleh gambaran performa sistem yang lebih lengkap. Pengujian juga perlu dilakukan pada beberapa jenis lahan dan variasi head untuk mengetahui batas kemampuan sistem secara lebih nyata.

Analisis ekonomi perlu ditambahkan, meliputi biaya investasi awal, biaya perawatan, penghematan bahan bakar, umur pakai komponen, dan periode pengembalian investasi. Informasi ini penting agar petani dan pemerintah desa dapat menilai kelayakan adopsi teknologi secara finansial.

Untuk menjaga kontinuitas suplai air, sistem sebaiknya dikombinasikan dengan bak penampung atau reservoir. Penambahan baterai dapat dipertimbangkan, tetapi harus disesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan biaya mitra karena baterai meningkatkan investasi dan membutuhkan perawatan tambahan.

Perguruan tinggi, pemerintah daerah, dan kelompok tani perlu bekerja sama dalam program pelatihan, pembuatan panduan operasional, serta pendampingan perawatan berkala. Dengan pendampingan yang baik,

teknologi pompa air tenaga surya dapat diterapkan secara lebih luas sebagai bagian dari pertanian berkelanjutan di Kabupaten Simalungun

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Simalungun, mitra petani di Kabupaten Simalungun, serta semua pihak yang membantu pelaksanaan kegiatan pengabdian, pengumpulan data, dan penyusunan artikel ini

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2023). Data radiasi matahari wilayah Sumatera Utara. BMKG.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2024). Statistik radiasi matahari rata-rata harian wilayah Simalungun. BMKG.
- Çengel, Y. A. (2012). Fluid Mechanics and Thermodynamics: Fundamentals and Applications. New York: McGraw-Hill.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. Hoboken, NJ: Wiley.
- Dinas Pertanian Kabupaten Simalungun. (2024). Data penggunaan pompa irigasi pertanian di Kabupaten Simalungun. Simalungun: Dinas Pertanian Kabupaten Simalungun.
- Hutapea. (2020). Performa pompa DC 12 V untuk irigasi lahan jagung di Serdang Bedagai.
- Mekhilef, S., Saidur, R., & Safari, A. (2012). A review on solar energy use in industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1777-1790.
- Nasution, dkk. (2022). Perancangan sistem hybrid PV-baterai untuk kebutuhan irigasi sawah 0,5 ha di Toba Samosir.
- Patel, dkk. (2021). Kinerja pompa DC submersible 750 W pada sistem tenaga surya.

Sari, dkk. (2019). Perancangan sistem pompa air tenaga surya 500 Wp untuk irigasi sayuran di Lembang.

Wicaksono, B. (2020). Analisis desain pompa air tenaga surya untuk irigasi lahan pertanian. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*.