

TANTANGAN PENYEDIAAN LISTRIK DI LAHAN PERTANIAN TERBATAS : KESEIMBANGAN ANTARA KEBUTUHAN ENERGI DAN LUASAN LAHAN

1st Nur Cahya Utama

Faculty of Electrical Engineering
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

nurcahyautamaa@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Ir Agus Virgono, M.T.

Faculty of Electrical Engineering
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

avirgono@telkomuniversity.ac.id

3rd Randy Erfa Saputra, S.T.,M.T.

Faculty of Electrical Engineering
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

resaputra@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Meningkatnya permintaan listrik di daerah pertanian terpencil dengan lahan terbatas menghadirkan tantangan krusial bagi pembangunan berkelanjutan. Makalah ini mengusulkan solusi energi surya menggunakan panel surya modular dengan struktur geometris unik—bentuk gelombang, kerucut, jamur, dan pohon—yang dirancang untuk memaksimalkan pembangkitan energi dengan pemanfaatan lahan minimal. Sistem lengkap yang mengintegrasikan komponen perangkat keras seperti ESP32, sensor INA219, baterai litium-ion, dan dasbor pemantauan berbasis web secara real-time dikembangkan dan diuji di lapangan. Analisis komparatif tegangan, arus, dan energi per satuan luas menegaskan bahwa panel berbentuk gelombang mengungguli panel lainnya dalam hal kepadatan energi dan kemampuan adaptasi. Penelitian ini berkontribusi pada strategi praktis untuk implementasi energi terbarukan di lingkungan pedesaan yang terbatas.

Keywords—*Photovoltaic (PV), limited land agriculture, renewable energy, solar panel design, real-time monitoring, ESP32, INA219, energy efficiency.*

I. PENDAHULUAN

Produktivitas pertanian di wilayah pegunungan terpencil di Indonesia terdampak tidak hanya karena kendala alam, tetapi juga karena kurangnya listrik yang andal dan berkelanjutan. Petani semakin bergantung pada pompa listrik, irigasi otomatis, dan mesin pascapanen, yang membutuhkan 1–2 kWh per hektar per hari. Namun, solusi tradisional seperti generator diesel atau panel surya datar seringkali membutuhkan lahan yang luas, yang secara langsung bersaing dengan budidaya tanaman pangan. Selain itu, topografi yang terjal dan jangkauan PLN (jaringan listrik nasional) yang tidak konsisten mempersulit penyediaan infrastruktur listrik[1].

Menurut Kementerian Energi Indonesia, negara ini memiliki potensi energi surya sebesar 112.000 GWp, namun pemanfaatannya masih minim di sektor pertanian pedesaan karena pertimbangan biaya, medan, dan efisiensi[2]. Oleh karena itu, kebutuhan mendesak adalah inovasi energi

surya[3]. sistem energi yang tidak hanya memenuhi permintaan energi tetapi juga menjaga kegunaan lahan pertanian.

Studi ini mengatasi tantangan tersebut dengan mengevaluasi geometri panel surya alternatif, khususnya bentuk gelombang, kerucut, jamur, dan pohon, untuk mengidentifikasi konfigurasi yang mengoptimalkan pembangkitan energi per meter persegi. Desain-desain ini selanjutnya kami integrasikan dengan pemantauan berbasis IoT untuk pelacakan kinerja secara real-time, menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor arus/tegangan INA219, yang disimpan dalam sistem web berbasis MySQL. Makalah ini melaporkan pengembangan prototipe, uji lapangan, dan analisis komparatif berdasarkan beberapa metrik, termasuk daya rata-rata, efisiensi area, biaya, dan ketahanan lingkungan.

II. KAJIAN PUSTAKA

a. Panel Surya

Panel surya merupakan komponen yang paling sangat penting pada sistem ini, panel surya harus berbentuk kecil dengan pertimbangan daya yang dihasilkan sesuai dengan ukuran luas panel surya serta panel surya yang tahan dengan cuaca pada lahan pegunungan. Panel surya akan digunakan sebagai pengubah energi matahari menjadi energi listrik untuk dapat menjadi energi pada kebutuhan listrik di pertanian terbatas.

b. Mikrokontroler ESP32

Komponen ini berfungsi sebagai inti dari sistem perancangan alat ini, semua program akan di gerakkan oleh komponen mikrokontroler ini, aspek pemilihan komponen ini berdasarkan ukuran komponen, banyak pin pada mikrokontroler, modul wifi, serta tidak kalah penting adalah harga komponen.

c. Baterai 18650

Baterai salah satu komponen yang penting diperhatikan, baterai harus mampu menampung kebutuhan penggunaan daya listrik. Aspek yang perlu diperhatikan adalah jenis baterai, kapasitas penyimpanan, umur pakai, tegangan, dan harga. Berikut komponen baterai yang dapat digunakan pada sistem ini.

d. Javascript

Bagian ini merancang sebuah antarmuka website yang akan ditampilkan pada pengguna, antarmuka website merupakan salah satu hal penting, dengan antarmuka yang baik maka akan memudahkan pengguna untuk bisa membaca website monitoring serta dapat menggunakan website dengan baik. Berikut spesifikasi bahasa pemrograman yang digunakan untuk merancang antarmuka website sistem ini.

III. METODE

Sistem Sistem yang diusulkan mengintegrasikan komponen perangkat keras dan perangkat lunak untuk menyediakan pasokan energi surya yang skalabel dan efisien untuk lahan pertanian yang terbatas[4]. Metodologi terdiri dari:

- Analisis kebutuhan dari data lapangan nyata.
- Perbandingan empat struktur geometris panel surya.
- Pembuatan prototipe dan implementasi sistem fotovoltaik yang dilengkapi monitoring.
- Evaluasi empiris menggunakan pengukuran energi berbasis lapangan.

a. Estimasi Kebutuhan Energi

Konsumsi energi di area pertanian 500 m² dihitung sebagai berikut:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{pompa}} + E_{\text{penerangan}} + E_{\text{lain-lain}}$$

$$E_{\text{total}} = 800 \text{ Wh} + 300 \text{ Wh} + 200 \text{ Wh} = 1300 \text{ Wh}$$

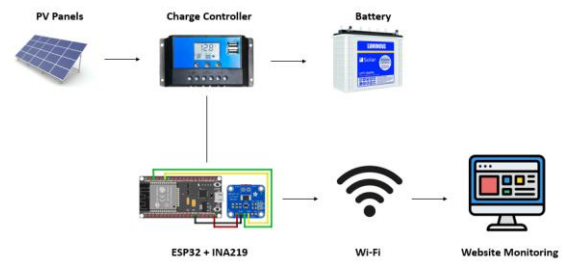
Menambahkan cadangan 20% untuk hari mendung:

$$E_{\text{harian}} = E_{\text{total}} \times 1.2 = 1300 \text{ Wh} \times 1.2 = 1560 \text{ Wh.}$$

b. Gambaran Rancangan Sistem

Tiga bentuk panel dievaluasi berdasarkan paparan permukaan dan pemanfaatan area lahan:

- Susunan Panel Surya 410 Wp – Dikonfigurasi dalam struktur ombak, pohon, kerucut, dan jamur.
- Penyimpanan Baterai – Baterai lithium-ion (24 V, 160 Ah) untuk menyimpan kebutuhan energi harian.
- Mikrokontroler ESP32 – Memungkinkan pengumpulan data sensor dan komunikasi Wi-Fi.
- Sensor INA219 – Untuk pengukuran arus dan tegangan.
- Pengisian (Charge Controller) – Mencegah pengisian/pengosongan baterai berlebihan.
- Monitoring Real-time – Dapat diakses melalui website yang dibangun menggunakan HTML, JavaScript, PHP, dan MySQL.



GAMBAR 1

c. Desain Panel Surya

Tiga bentuk panel dievaluasi berdasarkan paparan permukaan dan pemanfaatan area lahan:

TABEL 1

Shape	Key Feature	Expected Advantage
Wave	Tilted sinusoidal module array	High energy density
Mushroom	Dome-like symmetric absorption	Uniform illumination
Tree	Vertical fractal branches	Minimal horizontal land use

- Desain Ombak



GAMBAR 2

Keunggulan dari desain ini adalah peningkatan luas permukaan yang terpapar sinar matahari. Dengan setiap panel sedikit tumpang tindih atau miring, sistem dapat menangkap cahaya dari berbagai arah, baik pada sudut rendah maupun tinggi, memberikan fleksibilitas dalam penyerapan energi. Desain ini juga mempermudah penyesuaian sudut penempatan panel untuk mencapai pencahayaan optimal sepanjang hari, tergantung pada posisi matahari[5].

- Desain Atap Lengkung



GAMBAR 3

Desain modular ini juga menawarkan fleksibilitas dalam menyesuaikan ukuran dan orientasi, membuatnya lebih mudah beradaptasi dengan ruang terbatas atau area tertutup. Selain itu, konfigurasi ini menyederhanakan penggantian atau perbaikan sel surya individual tanpa perlu mengganti seluruh unit, sehingga mengurangi biaya pemeliharaan.

- Desain Pohon



Fig. 4. Desain Pohon

Kemampuan untuk meningkatkan sudut penyerapan sinar matahari pada berbagai posisi atau waktu dimungkinkan oleh struktur vertikal ini, yang dapat disesuaikan untuk menerima sinar matahari dari berbagai arah. Selain itu, konfigurasi ini memungkinkan pemanfaatan ruang yang lebih efisien, dengan panel yang tumpang tindih namun tetap menjaga jarak yang memadai antar sel untuk mencegah panas berlebih[6].

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi pada penelitian yang dilakukan pada sistem ini merupakan perancangan sistem yang telah dibuat sesuai dengan fungsional dan kebutuhan sistem. Bagian ini menjelaskan Implementasi aplikasi *mobile* pada sistem penjaga jarak aman kendaraan, *blackbox testing*, dan pengujian *error* data dan *delay* pada *mobile*.

a. Implementasi

Panel-panel ditempatkan mulai pukul 08:00 hingga 13:00 di bawah sinar matahari penuh. Nilai tegangan dan arus dicatat setiap jam untuk setiap konfigurasi. Daya total kemudian dihitung dengan:

$$P(t)=V(t) \times I(t)$$

Di mana $V(t)$ adalah tegangan dalam volt dan $I(t)$ adalah arus dalam ampere pada waktu t .

TABEL 2

Time	Flat (V/mA)	Curved Roof (V/mA)	Tree (V/mA)	Wave (V/mA)
08:00	21.12/2.33	20.1/2.25	18.12/1.9	20.77/2.41
09:00	21.82/2.35	20.27/2.48	18.27/1.92	21.02/2.52
10:00	22.37/2.42	20.29/2.29	18.34/1.93	20.85/2.34
11:00	23.31/2.62	22.34/2.51	19.72/2.04	22.2/2.52
12:00	22.11/2.35	20.33/2.25	19.63/1.98	21.27/2.31
13:00	23.55/2.72	22.45/2.58	20.04/2.12	23.29/2.68

TABEL 3

Shape	Avg Voltage (V)	Avg Current (A)	Avg Power (W)	Area (m ²)	Power Density (W/m ²)
Wave	21.57	0.00247	0.05306	0.062	0.85
Curved Roof	20.96	0.00239	0.05009	0.061	0.82
Tree	10.35	0.00122	0.01263	0.031	0.41
Flat	22.38	0.00247	0.05532	0.091	0.61

b. Pembahasan Lingkungan dan Struktural

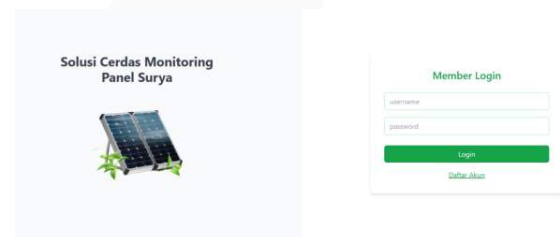
Hasil:

- Panel berbentuk ombak menawarkan efisiensi terbaik dan tumpang tindih bayangan minimal.
- Desain berbentuk pohon memiliki estetika yang menarik tetapi berkinerja buruk dalam pembangkitan daya.
- Struktur jamur memberikan simetri optimal tetapi kurang skalabel

c. Pemantauan Sistem Jarak Jauh

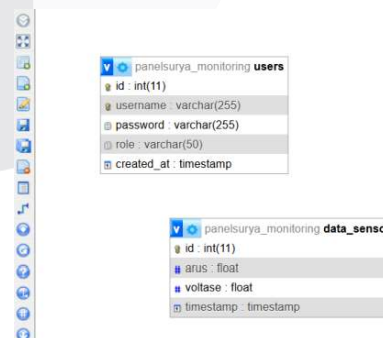
Dasbor ini menawarkan pembaruan real-time dari output daya, status panel, dan parameter lingkungan, menggunakan:

- JavaScript Chart.js untuk grafik
- Tailwind CSS untuk UI responsif
- PHP/MySQL untuk penanganan data



GAMBAR 4

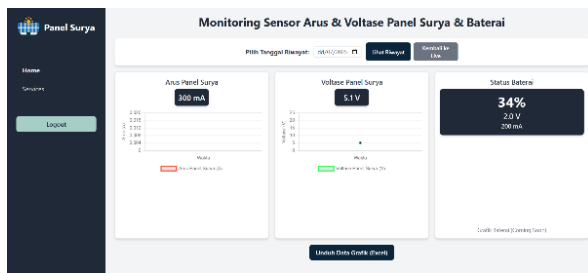
Pada halaman login, mitra akan diberikan akun untuk mengakses dan memantau tegangan, arus, dan daya dari panel surya yang digunakan.



GAMBAR 5

Dalam desain database, digunakan dua tabel: tabel *user* dan tabel *data_sensor*. Tabel *user* berfungsi untuk memverifikasi nama pengguna dan kata sandi yang dimasukkan oleh pengguna di halaman login, sedangkan tabel *data_sensor* berisi ID data, arus sensor, dan tegangan sensor, berfungsi

sebagai penyimpanan data sensor yang dikumpulkan dari panel surya.



GAMBAR 6

Pada halaman dasbor, akan ada grafik monitoring real-time yang menampilkan arus dan tegangan seiring waktu.

V. KESIMPULAN

Studi ini menunjukkan bahwa bentuk panel surya yang dimodifikasi, khususnya struktur berbentuk ombak, secara signifikan meningkatkan densitas daya per meter persegi—sebuah peningkatan penting untuk lokasi pertanian dengan ketersediaan lahan terbatas. Dengan menggabungkan optimasi geometris dengan monitoring real-time berbasis IoT, sistem ini memastikan transparansi operasional, akses jarak jauh, dan efisiensi pemeliharaan. Panel ombak menghasilkan $0,92 \text{ W/m}^2$, mengungguli struktur datar

konvensional. Hasil ini menegaskan bahwa desain cerdas yang dipadukan dengan sistem mikrokontroler modern dapat menyelesaikan kesenjangan infrastruktur dalam elektrifikasi pedesaan sambil menjaga kegunaan lahan pertanian. Pekerjaan di masa depan termasuk sistem pelacakan berbasis AI dan integrasi dengan otomatisasi yang spesifik untuk tanaman.

REFERENSI

- [1] A. A. A. Asari, B. Dinanta, and N. C. Utama, "Tantangan Penyediaan Listrik di Lahan Pertanian Terbatas," Capstone Design, Telkom University, 2025.
- [2] Ministry of Energy and Mineral Resources, "Potensi Energi Surya Indonesia," 2024.
- [3] NREL, "Photovoltaic Panel Orientation Effects on Energy Production," National Renewable Energy Laboratory, 2023.
- [4] Espressif Systems, "ESP32 Technical Reference Manual," 2022.
- [5] Adafruit Industries, "INA219 High Side Current Sensor," Datasheet, 2022.
- [6] D. S. K. Raju, "Design and Development of Real-Time Solar Monitoring System," IEEE ICC, 2021.