

## Perbandingan Rancangan Prototype BIPV (*Building Integrated Photovoltaic*) Genteng Solar Bergelombang dengan Genteng Solar Datar

Dean Anggara Putra<sup>1</sup>, Rahmat<sup>2</sup>, Jefri Imron<sup>3</sup>, Rifo Nurlaksana Restu<sup>4</sup>, Marhaendra Natawibawa<sup>5</sup>, Hery Sumardiyanto<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sains Indonesia, Indonesia

Email: [dean.anggara@lecturer.sains.ac.id](mailto:dean.anggara@lecturer.sains.ac.id)<sup>1</sup>, [rahmat.r@lecturer.sains.ac.id](mailto:rahmat.r@lecturer.sains.ac.id)<sup>2</sup>,

[jefri.imron@sains.lecturer.ac.id](mailto:jefri.imron@sains.lecturer.ac.id)<sup>3</sup>, [rifo.nur@lecturer.sains.ac.id](mailto:rifo.nur@lecturer.sains.ac.id)<sup>4</sup>,

[Marhaendra.natawibawa@sains.lecturer.ac.id](mailto:Marhaendra.natawibawa@sains.lecturer.ac.id)<sup>5</sup>, [hery.sumardiyanto@lecturer.sains.ac.id](mailto:hery.sumardiyanto@lecturer.sains.ac.id)<sup>6</sup>

### Abstrak

Studi ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi desain dua jenis prototipe genteng surya—datar dan melengkung—dalam mengubah energi surya menjadi energi listrik. Kedua jenis genteng surya diuji dalam kondisi lingkungan yang serupa, termasuk intensitas cahaya, suhu, dan sudut kemiringan atap. Parameter utama yang dianalisis meliputi daya keluaran, efisiensi konversi energi, dan stabilitas kinerja selama periode tertentu. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa genteng surya datar menunjukkan efisiensi konversi yang sedikit lebih tinggi dalam kondisi iradiasi optimal. Namun, genteng surya melengkung menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam menangkap cahaya dari berbagai sudut datang, terutama pada pagi dan sore hari, karena bentuknya yang melengkung memungkinkan penyerapan cahaya yang lebih merata sepanjang hari. Studi ini menyimpulkan bahwa pemilihan jenis genteng surya harus disesuaikan dengan kondisi geografis dan kebutuhan spesifik pengguna, karena setiap desain menawarkan keunggulan tersendiri dalam hal efisiensi dan fleksibilitas pemasangan.

**Kata Kunci:** Efisiensi Panel Surya, Genteng Surya Datar, Genteng Surya Melengkung

### Abstract

*This study aims to compare the design efficiency of two types of solar roof tile prototypes—flat and curved—in converting solar energy into electrical energy. Both types of solar tiles were tested under similar environmental conditions, including light intensity, temperature, and roof tilt angle. Key parameters analyzed include output power, energy conversion efficiency, and performance stability over a defined period. The experimental results indicate that the flat solar roof tile exhibits slightly higher conversion efficiency under optimal irradiation conditions. However, the curved solar roof tile demonstrates better performance in capturing light from varying incident angles, particularly during the morning and late afternoon, due to its curved shape which enables more uniform light absorption throughout the day. The study concludes that the selection of solar roof tile type should be tailored to geographical conditions and specific user needs, as each design offers distinct advantages in terms of efficiency and installation flexibility.*

**Keywords:** Curved Solar Roof Tile, Flat Solar Roof Tile, Solar Panel Efficiency

## 1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan, khususnya energi surya, semakin berkembang seiring meningkatnya kebutuhan energi dan kepedulian terhadap isu lingkungan. Salah satu teknologi yang kini banyak dikembangkan adalah *solar roof tile* atau genteng surya, yang menggabungkan fungsi struktural atap dengan kemampuan menghasilkan listrik dari sinar matahari. Teknologi ini termasuk dalam kategori *building-integrated photovoltaics* (BIPV) (Febru 2024), yang tidak hanya mempertimbangkan efisiensi energi, tetapi juga estetika dan integrasi arsitektural

Bentuk fisik dari solar roof tile, seperti datar (*flat*) dan lengkung (*curve*), dapat memengaruhi efisiensi konversi energi surya. Penelitian oleh (Zhang et al., 2022) menunjukkan bahwa pada sudut kemiringan kecil, modul datar memiliki kinerja lebih baik dibandingkan modul lengkung, sementara

modul lengkung menunjukkan keunggulan dalam kondisi tertentu. Selain itu, studi oleh (Wang et al., 2022) mengembangkan model distribusi radiasi untuk menghitung radiasi pada permukaan lengkung dan model listrik berdasarkan model 5-parameter untuk memprediksi kinerja listriknya.

### 1.1. Pengertian Rancang Bangun Prototype

Rancang bangun prototipe merupakan tahapan awal dalam proses perancangan dan pengembangan sistem atau produk yang bertujuan untuk menghasilkan suatu model awal (prototype) yang dapat diuji, dievaluasi, dan disempurnakan sebelum sistem dikembangkan secara menyeluruh. Metode ini dikenal sebagai *prototyping*, yaitu suatu pendekatan dalam rekayasa sistem, baik perangkat lunak maupun perangkat keras (Rahmat, 2024), di mana model awal dibangun untuk memvisualisasikan struktur, fungsi, serta interaksi sistem secara menyeluruh. Melalui pendekatan ini, pengembang dapat memperoleh gambaran nyata mengenai performa sistem, memungkinkan dilakukannya identifikasi terhadap kekurangan desain sejak dulu. (A. Anorgi, 2023). Tujuan utama dari penerapan metode prototyping adalah untuk meningkatkan pemahaman terhadap kebutuhan pengguna dan spesifikasi sistem, serta meminimalkan potensi kesalahan atau ketidaksesuaian dalam proses pengembangan lebih lanjut. Dengan melakukan iterasi terhadap desain awal melalui pengujian dan umpan balik pengguna, prototipe berfungsi sebagai alat bantu yang efektif dalam mengurangi risiko kegagalan sistem, sekaligus mempercepat proses pengembangan menuju produk akhir yang lebih andal dan sesuai dengan kebutuhan (DA Putra, 2021).

### 1.2. Energi Surya Dan Sel Surya

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan dan memiliki prospek pengembangan yang sangat luas di masa depan. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan energi matahari yang melimpah sepanjang tahun, terutama di wilayah-wilayah tropis, serta karakteristiknya yang bersih, ramah lingkungan, dan tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca selama proses konversi energi. Berbeda dengan sumber energi fosil yang kian menipis dan menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, energi surya dianggap sebagai solusi yang berkelanjutan untuk mengatasi krisis energi global dan isu-isu perubahan iklim. (Sukahir, 2024). Salah satu teknologi utama dalam pemanfaatan energi surya adalah sel surya atau solar cell. Sel surya merupakan perangkat semikonduktor yang bekerja berdasarkan prinsip efek fotovoltaik, yaitu fenomena fisika di mana energi dari foton cahaya matahari digunakan untuk membebaskan elektron-elektron dalam material semikonduktor, sehingga menimbulkan arus listrik. Ketika cahaya matahari mengenai permukaan sel surya, foton dengan energi tertentu akan diserap oleh lapisan semikonduktor, seperti silikon. Energi tersebut akan digunakan untuk mengangkat elektron dari pita valensi ke pita konduksi, menciptakan pasangan elektron-lubang. Dalam konfigurasi sel surya yang telah diberi medan listrik internal, elektron-elektron tersebut kemudian bergerak ke arah kutub negatif, sedangkan lubang bergerak ke arah kutub positif, menghasilkan aliran listrik searah (D. Wijayanto, 2024).

### 1.3. Building Integrated Photovoltaics (BIPV)

Building Integrated Photovoltaic (BIPV) merupakan sistem fotovoltaik yang dirancang untuk menyatu secara fungsional dan visual dengan elemen-elemen arsitektural bangunan, seperti atap, dinding, dan jendela. Tidak seperti sistem fotovoltaik konvensional yang dipasang secara terpisah, teknologi BIPV mengintegrasikan modul surya ke dalam struktur bangunan itu sendiri, sehingga selain menghasilkan energi listrik dari cahaya matahari, sistem ini juga berperan sebagai elemen struktural maupun estetika bangunan. Dengan demikian, BIPV menawarkan nilai tambah berupa efisiensi ruang, penghematan material konstruksi, serta peningkatan penampilan visual bangunan (M. Z. Fikar, 2024). Salah satu bentuk aplikasi teknologi BIPV yang tengah berkembang adalah solar roof tile, yaitu genteng surya yang dirancang menyerupai material penutup atap konvensional namun memiliki kemampuan menghasilkan listrik melalui modul fotovoltaik yang terintegrasi di dalamnya. Inovasi ini tidak hanya mempertahankan fungsi dasar penutup atap, tetapi juga memungkinkan pemanfaatan energi terbarukan secara lebih luas tanpa mengganggu estetika atau bentuk arsitektur bangunan. Solar roof tile menjadi

solusi strategis dalam pembangunan ramah lingkungan yang mengedepankan efisiensi energi dan keberlanjutan desain bangunan modern (G. E. Samanoudy, 2024).

#### 1.4. Solar Roof Tiles

Solar roof tile merupakan jenis genteng bangunan yang dirancang dengan integrasi langsung terhadap modul fotovoltaik, sehingga berfungsi ganda sebagai elemen penutup atap sekaligus sebagai pembangkit listrik tenaga surya. Teknologi ini menjadi bagian dari pendekatan Building Integrated Photovoltaic (BIPV) yang memadukan efisiensi energi dan fungsi arsitektural dalam satu kesatuan desain bangunan (Wang et al., 2022). Secara umum, solar roof tile diklasifikasikan ke dalam dua bentuk utama berdasarkan desain fisiknya, yaitu tipe datar (flat) dan tipe lengkung (curve). Genteng surya tipe datar umumnya memiliki keuntungan dari sisi kemudahan instalasi serta sudut penangkapan cahaya yang lebih konsisten, terutama pada permukaan atap yang dirancang secara horizontal atau miring. Sebaliknya, tipe lengkung menawarkan nilai tambah dari segi estetika arsitektural dan keunggulan dalam mendistribusikan cahaya secara lebih merata di sepanjang permukaan modul. Hal ini membuatnya lebih adaptif terhadap fluktuasi intensitas cahaya akibat perubahan posisi matahari maupun kondisi cuaca yang dinamis (W. Ahmed, 2024). Struktur melengkung pada solar tile mampu meningkatkan efisiensi penerimaan cahaya difus dan meningkatkan kinerja energi harian pada kondisi pencahayaan tidak langsung atau tidak optimal [1]. Oleh karena itu, pemilihan bentuk solar tile sangat dipengaruhi oleh pertimbangan teknis, estetika, dan karakteristik lingkungan tempat pemasangannya (L. Alpuerto, 2024).

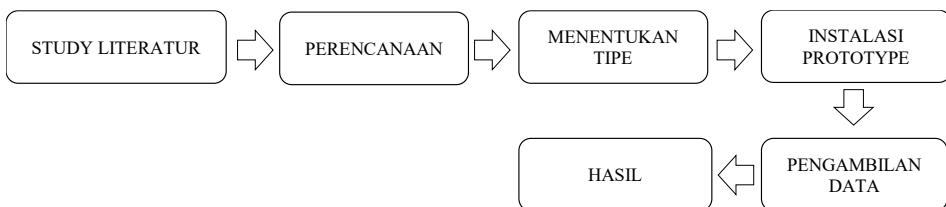
#### 1.5. Efisiensi Panel Surya

Efisiensi panel surya merupakan parameter kunci dalam menentukan seberapa efektif modul fotovoltaik mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Kinerja ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis material semikonduktor yang digunakan, sudut kemiringan modul terhadap arah datangnya cahaya, intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, serta karakteristik fisik dari permukaan modul, termasuk bentuk geometrisnya. Variasi sudut dan orientasi pemasangan panel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah energi listrik yang dihasilkan, terutama pada sistem yang bergantung pada radiasi langsung dan difus secara bersamaan (Dahliyah, 2021). Dalam konteks panel surya berbentuk lengkung (curved solar panels), distribusi cahaya matahari pada permukaan modul menjadi lebih kompleks karena perbedaan sudut datang cahaya pada setiap titik permukaan. Ketidakteraturan sudut insidensi ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam arus yang dihasilkan oleh sel-sel fotovoltaik, yang selanjutnya berdampak pada penurunan efisiensi sistem secara keseluruhan. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan pendekatan desain dan optimasi sistem yang tepat, seperti penggunaan teknik maximum power point tracking (MPPT) yang adaptif serta integrasi sistem kontrol yang dapat menyesuaikan kondisi pencahayaan secara real-time. Optimasi sudut dan arah pemasangan pada panel dengan permukaan tidak datar menjadi aspek krusial dalam menjamin output energi yang maksimal dan stabil sepanjang waktu operasional (W. Kamisah, 2021).

### 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen, yang bertujuan untuk melakukan analisis komparatif terhadap efisiensi konversi energi dari dua jenis solar roof tile, yaitu tipe datar (*flat*) dan tipe lengkung (*curve*), dalam kondisi lingkungan yang seragam. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh data empiris secara langsung melalui pengukuran terhadap variabel-variabel teknis yang berpengaruh terhadap performa sistem fotovoltaik. Eksperimen dilaksanakan di lingkungan luar ruang (*outdoor testing environment*) guna mencerminkan kondisi operasional nyata, dengan mempertimbangkan variasi intensitas radiasi matahari, suhu, dan kondisi atmosfer lainnya secara alami. Setiap jenis solar tile dipasang pada struktur uji dengan orientasi dan sudut kemiringan yang telah diseragamkan. Data yang dikumpulkan meliputi intensitas radiasi matahari (dalam satuan  $W/m^2$ ) dan daya keluaran listrik (dalam satuan Watt) dari masing-masing modul, yang direkam menggunakan sensor iradiansi dan alat ukur daya digital secara simultan dan kontinu dalam rentang

waktu tertentu. Dengan pengaturan eksperimental yang terkontrol ini, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perbedaan karakteristik kinerja antara kedua tipe solar roof tile, serta mengevaluasi seberapa besar pengaruh bentuk permukaan terhadap efisiensi konversi energi pada sistem BIPV (Building Integrated Photovoltaic).

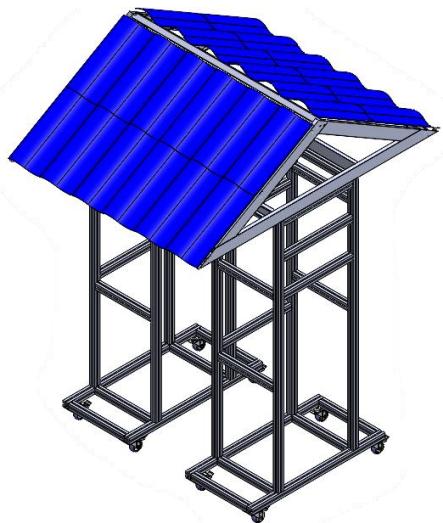


Gambar 1. Metode Penelitian

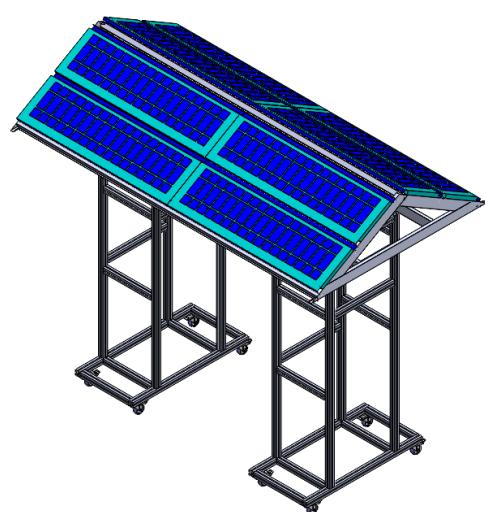
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Perencanaan

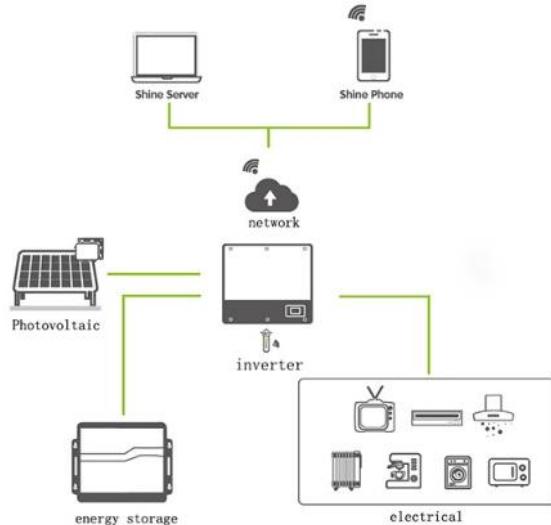
Perencanaan rancang bangun prototipe sistem Building Integrated Photovoltaic (BIPV) pada genteng atap datar dan genteng atap melengkung diawali dengan tahap desain konseptual, yang kemudian dituangkan ke dalam gambar kerja teknis sebagai dasar pelaksanaan pengembangan fisik. Pada tahap ini, dilakukan pemilihan desain geometri genteng yang sesuai dengan standar konstruksi atap, serta perancangan posisi integrasi modul fotovoltaik agar dapat berfungsi secara optimal tanpa mengganggu aspek struktural maupun estetika bangunan. Selanjutnya, proses perencanaan mencakup pemilihan spesifikasi teknis komponen utama, terutama jenis dan kapasitas genteng surya yang akan digunakan, dengan mempertimbangkan karakteristik kelistrikan, efisiensi modul, dimensi fisik, serta kompatibilitasnya terhadap bentuk atap datar maupun melengkung. Pemilihan dilakukan berdasarkan kriteria teknis dan komersial, dengan mempertimbangkan ketersediaan produk, kemudahan pemasangan, serta daya tahan terhadap kondisi lingkungan luar ruang. Perencanaan ini menjadi landasan penting dalam pembangunan prototipe karena berperan dalam memastikan integrasi fungsional antara sistem fotovoltaik dan elemen arsitektural bangunan, sekaligus memungkinkan dilakukannya pengujian performa energi secara komparatif antara dua bentuk genteng yang berbeda.



Gambar 2. *Prototype Genting Solar Bergelombang*



Gambar 3. *Prototype Genting Solar Datar*



Gambar 4. Diagram Instalasi *Prototype*

### 3.2. Tipe Solar Panel

Tipe solar roof tile yang digunakan dalam pengujian terdiri atas dua varian, yaitu solar panel tipe datar dan solar panel tipe bergelombang, masing-masing dengan karakteristik fisik dan teknis yang berbeda. Solar panel tipe datar dirancang dengan permukaan yang rata dan dimensi yang lebih besar, serta memiliki kapasitas daya sebesar 87 Wp per unit, sehingga lebih optimal dalam menyerap radiasi matahari secara langsung pada sudut pemasangan tetap. Sebaliknya, solar panel tipe bergelombang memiliki desain permukaan melengkung yang mengikuti bentuk genting konvensional, dengan kapasitas daya per unit sebesar 30 Wp. Meskipun kapasitasnya lebih rendah dibandingkan tipe datar, panel bergelombang menawarkan keunggulan dari sisi integrasi arsitektural dan distribusi pencahayaan yang lebih merata di permukaan, terutama dalam kondisi pencahayaan yang berubah-ubah. Perbedaan karakteristik antara kedua tipe panel ini menjadi fokus utama dalam evaluasi performa sistem, khususnya dalam konteks aplikasi Building Integrated Photovoltaic (BIPV), di mana efisiensi energi dan aspek estetika bangunan harus dipertimbangkan secara bersamaan.

No	Deskripsi	Flat	Bergelombang
1	Dimension	1260 x 480mm   630 x 480mm	700 x 500mm
2	Peak Power	87W   35W	30W



Gambar 5. Contoh Sub-Bab Pertama

### 3.3. Tipe Solar Panel

Instalasi prototipe sistem genting surya datar dan genting surya bergelombang dilakukan menggunakan dua jenis struktur pendukung utama. Rangka utama menggunakan aluminium profil berukuran 40×40 mm, yang dipilih karena kekuatan mekaniknya yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta bobotnya yang ringan dan stabil. Sementara itu, rangka atap sebagai penopang sistem secara keseluruhan menggunakan material baja ringan, yang umum digunakan dalam konstruksi bangunan

modern karena efisiensi struktur dan kemudahan pemasangan di lapangan. Prototipe genting solar datar terdiri dari 8 unit modul dengan masing-masing berukuran 1260 mm × 480 mm dan memiliki kapasitas daya sebesar 87 Wp per unit. Dengan demikian, total kapasitas sistem untuk tipe datar adalah sebesar 696 Wp. Adapun prototipe genting solar bergelombang terdiri dari 10 unit modul dengan ukuran per unit 700 mm × 500 mm dan kapasitas 30 Wp per unit, menghasilkan total kapasitas daya sebesar 300 Wp. Perbedaan dalam jumlah unit dan kapasitas tiap modul didasarkan pada ukuran fisik dan kemampuan output masing-masing tipe genting, yang sekaligus mencerminkan karakteristik desain dan pemanfaatan ruang yang berbeda antara tipe datar dan bergelombang. Konfigurasi ini memungkinkan dilakukannya analisis perbandingan performa energi secara lebih representatif dalam kondisi lingkungan yang seragam.



Gambar 6. Tabel Spesifikasi Genting Solar

Instalasi sistem kontrol dan manajemen daya pada prototipe dilakukan melalui integrasi beberapa komponen utama, yang terdiri dari hybrid smart inverter berkapasitas 3 kW, baterai tipe lead-acid sebanyak dua unit dengan spesifikasi 12 V 150 Ah, serta panel kombiner yang berfungsi sebagai penghubung antara dua sumber energi, yaitu genting surya dan jaringan listrik PLN. Hybrid smart inverter berperan sebagai pusat pengatur aliran daya, yang memungkinkan sistem untuk secara otomatis mengelola prioritas penggunaan energi dari panel surya maupun jaringan PLN, serta melakukan proses pengisian baterai. Inverter ini juga dilengkapi dengan fungsi MPPT (Maximum Power Point Tracking) untuk mengoptimalkan daya keluaran dari sistem fotovoltaik. Sementara itu, panel kombiner dirancang untuk mengintegrasikan dan mengamankan jalur distribusi listrik dari kedua sumber energi sebelum dialirkan ke beban atau disimpan dalam baterai. Kombinasi sistem ini memungkinkan prototipe untuk beroperasi dalam mode on-grid, off-grid, maupun hybrid, sehingga memberikan fleksibilitas dalam pengujian kinerja sistem BIPV di berbagai kondisi operasional.

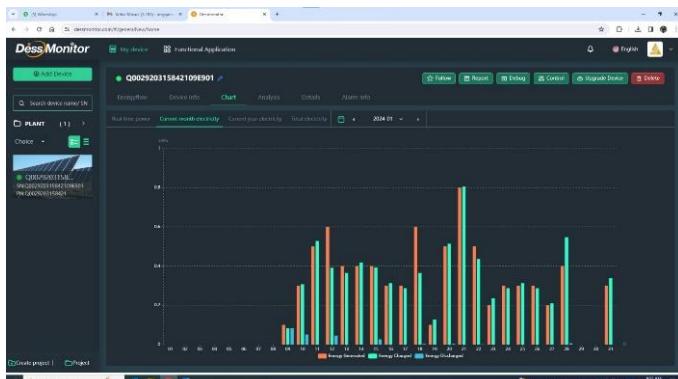


Gambar 7. Instalasi Panel Kontrol

### 3.4. Pengambilan Data

Pengambilan data keluaran sistem dilakukan secara real-time melalui metode online monitoring, yang diintegrasikan dalam platform berbasis web maupun aplikasi mobile. Sistem monitoring ini

memungkinkan pencatatan data operasional seperti daya keluaran (output power), tegangan, arus, serta status sistem secara otomatis dan kontinu. Untuk pemantauan berbasis web, digunakan platform Dessmonitor.com, yang menyediakan antarmuka visual untuk memantau performa sistem secara terpusat dan terhubung dengan cloud server. Sementara itu, pemantauan melalui perangkat bergerak dilakukan menggunakan aplikasi SmartESS, yang mendukung sistem operasi Android dan iOS, serta memungkinkan akses data secara fleksibel kapan pun dan di mana pun. dua platform monitoring tersebut terhubung langsung dengan hybrid smart inverter, yang telah dilengkapi modul komunikasi berbasis Wi-Fi atau GSM. Integrasi ini tidak hanya mempermudah proses observasi dan dokumentasi data, tetapi juga mendukung proses analisis performa sistem secara longitudinal, termasuk deteksi dini terhadap anomali atau penurunan efisiensi sistem.



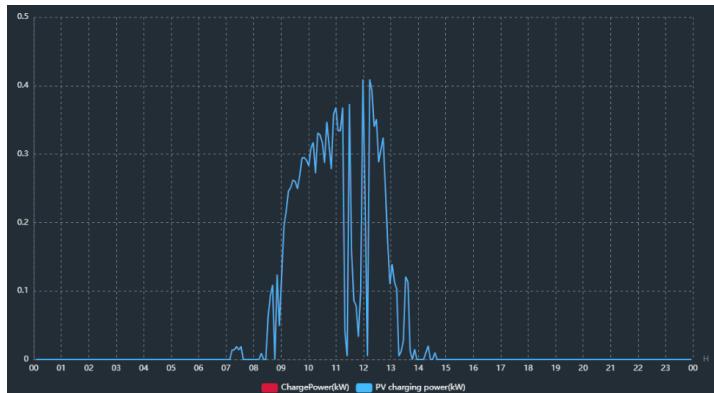
Gambar 8. Web-based Monitoring



Gambar 9. Mobile Monitoring



Gambar 10. Monitoring energi yang dihasilkan genting solar bergelombang



Gambar 11 *Monitoring* energi yang dihasilkan genting solar data

Tabel 1. Power yang dihasilkan /m<sup>2</sup>

No.	Tipe	Luas (m <sup>2</sup> )	Waktu (Hari)	Total Power yang dihasilkan (kW)	Total Power yang dihasilkan /m <sup>2</sup> (kW/Hr)
1	Genting Solar Datar	4.84	1	3	0.62
2	Genting Solar Bergelombang	3.5	1	2	0.61

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengambilan data di atas dapat disimpulkan bahwa 1) total energi listrik harian yang dihasilkan oleh sistem genting solar tipe datar mencapai sekitar 3 kWh per hari dengan total luasan area 4,84 m<sup>2</sup>, sehingga menghasilkan intensitas produksi energi sebesar 0,62 kWh/m<sup>2</sup>/hari. 2) total energi listrik harian yang dihasilkan oleh sistem genting solar tipe bergelombang menghasilkan total daya sebesar 2 kWh per hari pada luas area 3,5 m<sup>2</sup>, atau setara dengan 0,61 kWh/m<sup>2</sup>/hari.

Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan signifikan dalam hal dimensi fisik dan kapasitas nominal per panel antara kedua jenis genting surya tersebut, performa konversi energi per satuan luas (kWh/m<sup>2</sup>/hari) keduanya relatif setara. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan efisiensi yang signifikan antara solar tile datar dan solar tile bergelombang dalam kondisi pengujian dan lingkungan yang sama. Temuan ini mengindikasikan bahwa faktor bentuk permukaan (datar atau bergelombang) tidak secara langsung menjadi penentu utama dalam efisiensi konversi energi pada sistem Building Integrated Photovoltaic (BIPV), selama variabel lingkungan dan kondisi instalasi dapat dikontrol dengan baik. Hal ini membuka peluang yang lebih luas dalam penerapan solar tile bergelombang yang memiliki keunggulan estetika dan integrasi arsitektural, tanpa harus mengorbankan kinerja energi secara signifikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- A. Anorgi. (2023). Rancang Bangun *Prototype Monitoring Banjir Berbasis Website*.
- D. A. Putra. (2021). Analisa Perbandingan Rancangan Dinding Modular Tipe *Interlock* dan Tipe *Corrugated* Sebagai Konstruksi Bangunan Baja Sementara Untuk Infrastruktur Ketenagalistrikan di Remote Area Dengan Metode VDI 2221.
- D. A. Putra. (2021). Rancang Bangun Prototype Mesin Sortir Berdasarkan Barcode ID Pada Produk di Area Produksi.
- D. Wijayanto (2022). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terintegrasi Pada Atap Gerai UMKM di Kebon Jeruk Menggunakan Metode VDI 2221.
- Dahliyah. (2021). Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin.
- G. E. Samanoudy, N. S. A. Mahmoud, & C. Jung. (2024). *Analyzing the effectiveness of building integrated Photovoltaics (BIPV) to reduce the energy consumption in Dubai*

- Huld, T., Friesen, G., Skoczek, A., Kenny, R., Sample, T., Field, M., & Dunlop, E. D. (2011). A power-rating model for crystalline silicon PV modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(12), 3359–3369.
- L. Alpuerto, & R. Balog. (2020). *Comparing Connection Topologies of PV Integrated Curved Roof Tile for Improved Performance*
- M. A. Febru. (2024). *BIM Implementation for BIPV Laying and Slope Design in Energy-Efficient Building*.
- M. Z. Fikar. (2024). Penerapan Teknologi Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Pada Bidang Pertanian.
- Peng, J., Lu, L., & Yang, H. (2013). Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 255–274.
- Rahmat, R., Sumardiyanto, H., Laksana, R. N., Natawibawa, M., Anggara, D., & Munawar, K. (2024). Rancang Bangun Mesin Stirling Tipe Gamma Menggunakan Metode Vdi 2221. *Jurnal Ekselenta-Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, 1(1), 14-22.
- Sukahir. (2024). Edukasi dan Pelatihan Instalasi Panel Surya Sebagai Solusi Energi Berkelanjutan.
- W. Ahmed, S. J. Ahmed, K. Tamas, M. M. A. Parvez. (2024). *Solar roof tiles: Unleashing technical advantages and contribution to sustainable society*
- W. Kamisah, Rahmaniar, & Y. Andinata. (2023). *Analysis of the Efficiency of Solar Power Plants (PLTS) Against Solar Irradiation Using a Solar Power Meter*
- Wang, X., Zhao, Z., & Liu, J. (2022). Electrical output simulation model of curved photovoltaic modules under variable irradiation. *Energy*, 254, 124319.
- Zhang, Y., Wang, H., Li, W., & Wang, Y. (2022). Electrical performance evaluation of curved photovoltaic modules under varied irradiance. *Energy Conversion and Management*, 269, 116048.