

Rancangan Pemakaian Modul PV Pada PLTS Sistem Hybrid untuk Skala Rumah Tangga

Barru Arrosyid¹, Heri Kusnadi², Ramdanu³, Mardiansyah⁴, Romdhoni⁵

^{1,2,4,5} Program Studi Teknik Elektro,

Fakultas Teknik,

Universitas Pamulang, Kota Serang

¹dosen10045@unpam.ac.id, ²dosen00931@unpam.ac.id, ⁴dosen10094@unpam.ac.id,

⁴dosen00932@unpam.ac.id

³Program Studi Teknik Elektro,

Fakultas Teknik,

Universitas Pamulang, Tangerang Selatan

³ramdanuramdanu@gmail.com

Abstrak

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan energi terbarukan yang dapat dikembangkan. PLTS yang akan dibangun di rumah ini dirancang untuk menyuplai energi listrik kebutuhan alat-alat elektronik rumah tangga dan juga penerangan yang terkoneksi dengan sistem kelistrikan PLN sebagai cadangan, dalam penelitian ini penentuan luas area modul pv dan area PLTS, spesifikasi komponen dari desain fotovoltaiik ini mencakup 17 panel surya dengan daya puncak masing-masing sebesar 100 watt, baterai 100 Ah dengan penggunaan beban yaitu total 1.158 Watt. Total daya yang dibutuhkan sebesar 7.6 Kwh dengan daya yang dihasilkan oleh PLTS adalah sebesar 1652.2 watt. Berdasarkan perhitungan area PV, ditemukan bahwa luasnya mencapai 13.768 m². Angka ini mencerminkan luas area PV yang diperlukan untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan. Daya yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi. Maka jumlah panelnya yaitu 17 panel dengan total kapasitas baterai 0.93 A/h dengan jumlah baterai berkapasitas 100 Ah sebanyak 10 buah.

Kata kunci: PLTS, System Hybrid, Perancangan PLTS, Modul Area PV

Abstract

Solar Power Generation Systems (PLTS) are renewable energy that can be developed. The PLTS that will be built in this house is designed to supply the electrical energy needed for household electronic equipment and also lighting that is connected to the PLN electrical system as a backup. In this research, the area of the PV module and PLTS area is determined, the component specifications of this photovoltaic design includes 17 solar panels with a peak power of 100 watts each, a 100 Ah battery with a total load usage of 1,158 Watts. The total power required is 7.6 Kwh with the power produced by PLTS being 1652.2 watts. Based on PV area calculations, it was found that the area reached 13,768 m². This figure reflects the PV area required to produce the required energy. Power generated by PLTS to meet energy needs. So the number of panels is 17 panels with a total battery capacity of 0.93 A/h with 10 batteries with a capacity of 100 Ah.

Keywords: PLTS, Hybrid Systems, PLTS Design, Area PV Modules

1. Pendahuluan

Rangkaian fotovoltaik adalah serangkaian modul fotovoltaik yang dihubungkan secara seri atau paralel untuk menghasilkan arus dan tegangan tertentu. Namun, dalam rangkaian Photovoltaic Farm, modul PV dapat mengalami perubahan karakteristik yang signifikan jika radiasi sinar matahari yang menerpa modul-modul tersebut tidak konsisten. Ketidakteraturan radiasi sinar matahari ini dapat terjadi dalam operasi sehari-hari. Efisiensi panel surya konvensional terbilang rendah karena perbedaan karakteristik antara panel surya dengan beban yang digunakan. Efisiensi keluaran daya dari sel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti radiasi matahari, suhu operasional sel surya, orientasi yang tepat agar panel surya dapat menangkap sebanyak mungkin sinar matahari sepanjang hari dan sudut kemiringan panel surya, serta adanya bayangan. Untuk mencapai daya keluaran maksimal, diperlukan tingkat radiasi matahari yang tinggi dan menjaga suhu sel surya tetap relatif rendah. [1]. Akurasi diperlukan dalam menentukan kapasitas daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), terutama dalam mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. [2].

Saat ini tingkat penetrasi energi terbarukan pada jaringan utilitas listrik terus meningkat [3]. PV mengalami peningkatan ekspansi di wilayah pantai untuk memanen sinar matahari seiring dengan upaya masyarakat dunia untuk mencapai emisi gas rumah kaca yang sangat rendah atau bahkan nol saat dioperasikan pada tahun 2050 [4]. PV sering kali berada di sekitar gardu induk pendukungnya, yang terkadang dibangun di daerah pegunungan dengan resistivitas tanah yang tinggi [5]. Untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik dan mengurangi biaya lahan, banyak PV skala besar dibangun di gunung [6].

Jaringan utilitas tenaga listrik bersifat kompleks yang dapat dianggap sebagai kompleksitas spasial dan temporal, jaringan ini juga bersifat nonlinier dan nonstasioner yang mencakup banyak ketidakpastian pada berbagai tingkat pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik [7]. Perbaikan tegangan sag merupakan salah satu faktor efisiensi sistem distribusi tenaga listrik. Di bawah batasan teknis seperti aliran daya dan batas tegangan maksimum atau minimum yang ditetapkan [8].

2. Tinjauan Pustaka

Pemanfaatan sumber energi terbarukan, khususnya tenaga surya, telah menjadi fokus utama dalam menjawab tantangan global terkait perubahan iklim dan keberlanjutan energi. Salah satu pendekatan yang menarik dalam menerapkan teknologi fotovoltaik adalah melalui Rancangan Pemakaian Modul PV pada PLTS Sistem Hybrid untuk Skala Rumah Tangga. PLTS sistem hybrid mencakup penggabungan berbagai sumber energi untuk meningkatkan efisiensi dan ketahanan energi, dan peran modul PV dalam konteks ini menjadi krusial. Selanjutnya akan dilakukan eksplorasi berbagai aspek dan inovasi terkait rancangan pemakaian modul PV pada PLTS sistem hybrid untuk skala rumah tangga, menyoroti kontribusinya terhadap peningkatan daya hidup berkelanjutan di masyarakat.

2.1. PLTS

Pertumbuhan populasi global yang pesat dan terbatasnya pasokan sumber daya energi telah menyebabkan meningkatnya permintaan energi, oleh karena itu fokus penelitian beralih ke diversifikasi sumber energi, meminimalkan emisi berbahaya ke

atmosfer, dan memprioritaskan sumber energi terbarukan [9]. Keterbatasan sumber daya bahan bakar fosil dan permasalahan lingkungan hidup memerlukan alternatif teknologi pembangkit listrik yang berkelanjutan dan layak secara ekonomi [10]. Teknologi pembangkit listrik tenaga surya telah berkembang pesat, melihat perkembangan teknologi dan potensi energi surya di Indonesia, pemerintah Indonesia berupaya mendorong pemanfaatan energi surya melalui Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 [11].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sebuah sistem pembangkit energi yang mengonversi sinar matahari menjadi listrik. Teknologi ini mendasarkan prinsip kerjanya pada penggunaan sel surya atau modul fotovoltaik yang dapat menangkap dan mengubah energi matahari menjadi arus listrik. PLTS memainkan peran penting dalam menyediakan sumber daya energi yang bersih dan terbarukan. Keberlanjutan PLTS terletak pada efisiensi konversi energi matahari ke dalam listrik, yang terus mengalami peningkatan melalui inovasi teknologi dan penelitian terkini. Selain itu, PLTS memiliki keunggulan dalam meminimalkan dampak lingkungan, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan memberikan akses listrik yang lebih luas di berbagai lokasi. PLTS memiliki aplikasi yang bervariasi, mulai dari skala rumah tangga hingga proyek pembangkit listrik besar, menyumbang pada diversifikasi sumber energi dan mendorong transisi global menuju infrastruktur energi yang berkelanjutan.

2.2. Modul PV

PV sebelumnya telah mengusulkan beberapa metode kalibrasi kinerja kondisi stabil untuk mengekstraksi efisiensi PV secara andal, namun sebagian besar berfokus pada sel tipe penelitian area kecil [12]. Pasar PV, khususnya dalam kaitannya dengan bangunan fotovoltaik terintegrasi, semakin beragam, antara lain memerlukan fitur, daya tarik arsitektur, variasi warna, dan efektivitas biaya [13]. Salah satu tantangan utama untuk memastikan keandalan dan kinerja jangka panjang perangkat ini adalah memilih BOM (*bill of material*) yang tepat untuk membangun modul [14].

Modul Fotovoltaik merupakan inti dari teknologi konversi energi surya, yang bertanggung jawab untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Modul PV terdiri dari sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang mampu menghasilkan arus listrik ketika terkena sinar matahari. Proses ini, dikenal sebagai efek fotovoltaik, memungkinkan modul PV mengonversi energi cahaya menjadi energi listrik secara langsung. Modul PV biasanya diatur dalam serangkaian panel yang dapat dipasang di atap bangunan atau di lahan terbuka. Efisiensi modul PV, yang mencerminkan seberapa baik modul tersebut dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik, terus mengalami peningkatan melalui inovasi material dan desain. Pemahaman mendalam tentang karakteristik dan kinerja modul PV menjadi kunci dalam merancang sistem pembangkit listrik tenaga surya yang efisien dan berkelanjutan.

2.3. PLTS Sistem Hybrid

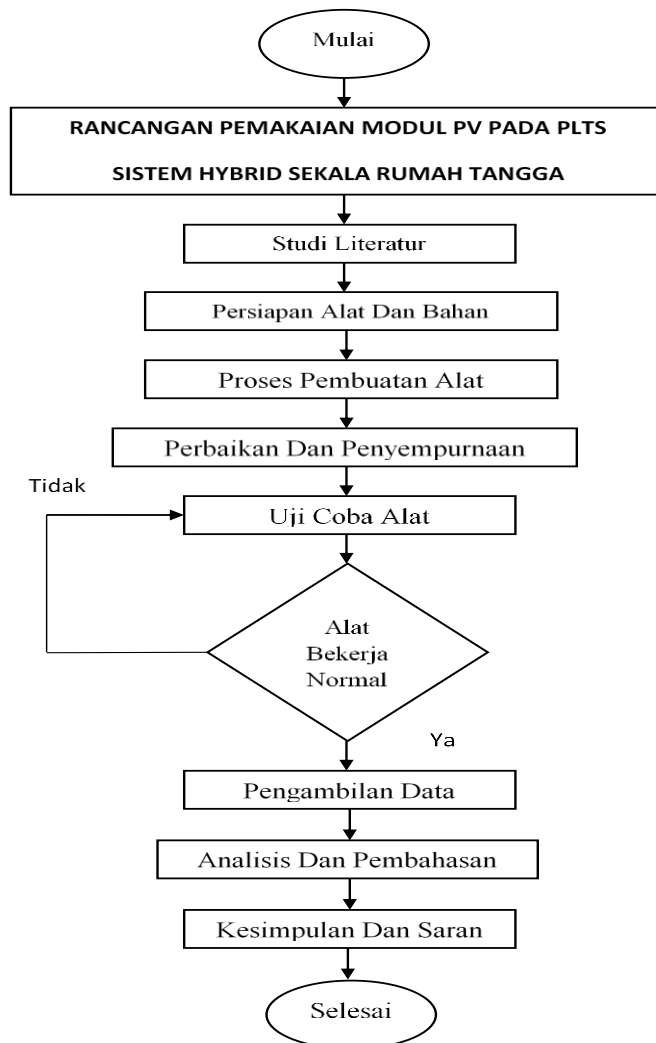
PLTS hybrid merupakan suatu sistem yang mengintegrasikan teknologi panel surya dengan sumber energi lainnya, seperti pembangkit listrik tenaga diesel atau baterai penyimpanan energi. Konsep ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan pasokan energi dan efisiensi sistem secara keseluruhan. PLTS hybrid memanfaatkan keunggulan masing-masing sumber energi, di mana panel surya menghasilkan energi saat sinar matahari tersedia, sementara sumber energi lainnya dapat mengisi kebutuhan saat kondisi cuaca kurang mendukung atau pada malam hari. Selain itu, sistem ini juga

dilengkapi dengan mekanisme penyimpanan energi untuk menjaga kelancaran pasokan listrik pada saat dibutuhkan.

Kelebihan PLTS hybrid meliputi pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil, penghematan biaya operasional, dan kontribusi positif terhadap upaya pengurangan emisi karbon. Dengan kemampuannya beradaptasi dengan fluktuasi sumber energi, PLTS Hybrid menawarkan solusi inovatif untuk mencapai kemandirian energi dan mendukung peralihan menuju sistem kelistrikan yang lebih berkelanjutan. Prinsip-prinsip kontrol dirancang untuk membatasi penyimpangan frekuensi dalam sistem tenaga, memastikan penggunaan yang seimbang dari kemampuan sumber daya yang dapat disesuaikan [15].

3. Metode

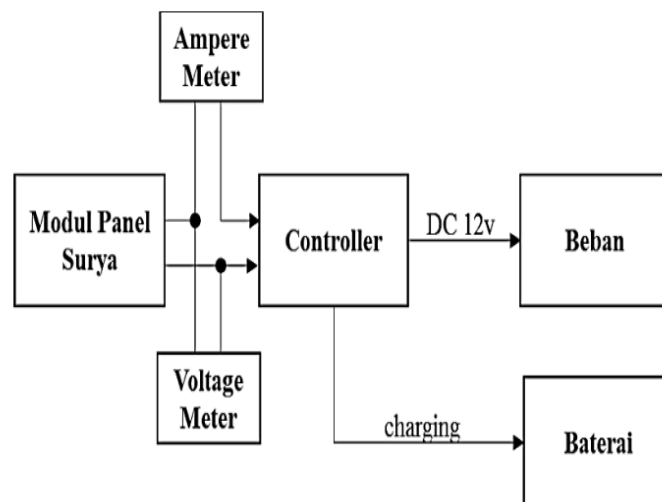
Dalam penelitian ini, metodologi yang cermat dan terinci menjadi landasan kritis dalam merancang dan menerapkan Pemakaian Modul PV pada PLTS Sistem hybrid untuk skala rumah tangga. Langkah-langkah metodologis yang terencana dengan baik akan memastikan keberhasilan implementasi sistem ini dengan efisien dan efektif.



Gambar 1. Metode Penelitian

Dalam proses pembuatan alat, penting untuk mematuhi standar estetika dan mengacu pada perancangan yang telah ditetapkan. Tahap pertama melibatkan penentuan jenis komponen, analisis keunggulan dan kelemahan setiap opsi alternatif, sketsa elemen utama, serta penentuan tipe kapasitas generator dan sel surya yang akan digunakan, termasuk juga sistem kontrol yang dapat bersifat manual atau otomatis. Tahap kedua mencakup pembuatan kerangka alat dari bahan baku baja tahan karat, dengan langkah awal melibatkan pemotongan bahan sesuai dimensi yang telah ditentukan, dan kemudian pengelasan potongan baja tahan karat sesuai desain. Tahap ketiga adalah perakitan komponen mekanik dan elektronik, termasuk PV SOL, sel surya, dan komponen lainnya. Tahap terakhir adalah pemeriksaan menyeluruh terhadap kondisi sistem dan komponen yang digunakan.

Dalam proses perancangan, langkah-langkah yang dilakukan mencakup beberapa tahapan esensial. Pertama, ada penekanan pada penentuan generator dan panel surya yang digunakan untuk memastikan penggunaan keduanya berlangsung tanpa mengakibatkan kerusakan pada komponen utama tersebut. Kedua, dalam pemilihan komponen, aspek ekonomis dan kondisi pasar menjadi pertimbangan utama untuk memastikan kelancaran pencarian dan ketersediaan komponen tanpa mengalami kesulitan. Sementara itu, dari sisi estetika, desain alat diarahkan agar dapat dibuat dengan keamanan penggunaan sebagai prioritas. Selain itu, pentingnya tahap perencanaan dalam menciptakan alat yang tepat dan mampu memenuhi kebutuhan beban dengan efektif juga ditekankan. Keseluruhan, prototipe yang dihasilkan memiliki blok rangkaian yang saling mendukung dan terkait secara integral, sebagaimana ditunjukkan dalam diagram blok dari simulasi sepeda hibrid yang telah dibuat. Untuk proses pengujian alat dilakukan selama 6 jam.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Pengujian Modul Panel Surya

4. Hasil dan Pembahasan

Rancangan PLTS pada Sistem *hybrid* (Skala Rumah Tangga) yang dikembangkan di kawasan pedesaan di sekitar PLTS Unpam bertujuan untuk menyediakan pasokan energi listrik untuk lampu penerangan dan perangkat elektronik rumah tangga, tanpa bergantung pada jaringan kelistrikan dari PT PLN. Penelitian ini mengusung sistem

PLTS *off-grid* dengan *Backup Battery Banks* untuk menjawab kebutuhan energi di wilayah tersebut.

Dari hasil perhitungan, total kebutuhan energi listrik harian tercatat sebesar 7,6 kWh. Untuk merancang hari otonom selama satu hari, hasil harian tersebut dikalikan dengan durasi penggunaan beban energi selama satu hari, menghasilkan total 7,6 kWh yang diperlukan. Hal ini mempertimbangkan penggunaan generator sebagai cadangan penyedia energi listrik dalam situasi cuaca yang tidak mendukung untuk menggunakan photovoltaik, seperti pada kondisi cuaca buruk. Penentuan luas area dan perhitungan energi listrik yang akan disuplai oleh PLTS dapat dicapai dengan menggunakan perhitungan berikut ini.

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{Out}}$$

$$PV \text{ Area} = \frac{7,6 \text{ KWh}}{4,84 \text{ Kwh/m}^2 \times 0,12 \times 0,96 \times 0,99}$$

$$PV \text{ Area} = 13.768 \text{ m}^2$$

Berdasarkan perhitungan luas area PV, diperoleh nilai sebesar 13.768 m² yang merupakan ukuran area PV yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Daya yang dihasilkan oleh PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan jumlah panel yang diperlukan, yakni sekitar 16.5 - 17 panel. Selanjutnya, untuk menghitung kapasitas baterai yang dibutuhkan guna memenuhi konsumsi energi harian, digunakan rumus jumlah penyimpanan, menghasilkan nilai sebesar 7,6 w/h. Keamanan energi dihitung dengan rumus $\frac{7,6}{0,75}$ menghasilkan 10.13 W. Total kapasitas baterai yang diperlukan dihitung dengan menggunakan persamaan, yaitu 0.84 A/h. Jumlah minimum baterai yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus $\frac{930 \text{ A/h}}{100 \text{ A}}$, menghasilkan 9.3 Baterai atau 10 baterai. Dengan demikian, jumlah baterai yang diperlukan adalah sebanyak 10 buah baterai dengan kapasitas 100 Ah. Mengingat harganya yang tinggi, disarankan untuk meningkatkan intensitas cahaya pada sel surya agar dapat meningkatkan daya maksimum, meskipun ukuran sel suryanya tetap. Untuk memaksimalkan daya maksimum yang dihasilkan, disarankan untuk melanjutkan penelitian dengan menggunakan sel surya yang dilengkapi dengan sistem pelacakan yang mengikuti arah rotasi matahari. Hal ini bertujuan agar sel surya selalu berada dalam posisi yang tegak lurus terhadap matahari, sehingga kondisi optimal untuk penerimaan radiasi matahari dapat dipertahankan.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini dapat dirangkum sebagai berikut. Dalam menentukan luas area Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), desain fotovoltaik yang digunakan memiliki spesifikasi komponen, termasuk 17 panel surya dengan daya puncak masing-masing 100 W_{peak}, serta baterai 100 Ah untuk menyalakan beban total sebesar 1.158 Watt. Total daya yang diperlukan mencapai 7.6 Kwh, sementara daya yang dihasilkan oleh PLTS mencapai 1652.2 W_{peak}. Berdasarkan perhitungan luas area fotovoltaik (PV), didapatkan nilai sebesar 13.768 m², yang merupakan ukuran area PV yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut. Daya yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi. Maka jumlah panelnya yaitu 16.5 - 17 panel dengan total kapasitas baterai 0.93 A/h dengan jumlah baterai 10 baterai/100 Ah.

Daftar Pustaka

- [1] E. Megawati, S. Handoko, and A. A. Zahra, "Analisis Potensi dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Hybrid Pada Atap Kandang Ayam Closed House di Tualang Kabupaten Serdang Bedagai" *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 384-389, Jun. 2021. <https://doi.org/10.14710/transient.v10i2.384-389>.
- [2] R. Hasrul et al., "Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif". *Jurnal Sains, Energi, Teknologi dan Industri*. 5, no. 9 (2021): 79–87.
- [3] R. K. Pathak, S. Agarwal, O. P. Mahela and R. Raj Choudhary, "Recognition of Faults in Grid Connected Solar Photovoltaic Farm Using Current Features Evaluated Using Stockwell Transform Based Algorithm," 2020 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), Bhopal, India, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/SCEECS48394.2020.13.
- [4] C. Stewart, C. S. Jairiaz Joseph, J. Johny, N. Erdogan, N. Fough and R. Prabhu, "Optical fibre-based sensors for monitoring offshore floating photovoltaic farms," *OCEANS 2023 - Limerick*, Limerick, Ireland, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/OCEANS2023Limerick52467.2023.10244737.
- [5] A. Ge, D. Xie, Z. Shi, G. Yu and X. Zhang, "Analysis of Grounding Grids Connection Between Photovoltaic Farm and Its Substation," 2020 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), Beijing, China, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICHVE49031.2020.9280034.
- [6] Y. Ding, R. Cao, S. Liang, F. Qi, Q. Yang and W. Yan, "Density-Based Optimal UAV Path Planning for Photovoltaic Farm Inspection in Complex Topography," 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), Hefei, China, 2020, pp. 3931-3936, doi: 10.1109/CCDC49329.2020.9164257.
- [7] R. K. Pathak, S. Agarwal, O. P. Mahela and A. Ranjan Garg, "Estimation of Faults in Grid Connected Solar Photovoltaic Farm Using Voltage Based Median and Summing Values Features of Stockwell Transform Based Algorithm," 2020 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), Bhopal, India, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/SCEECS48394.2020.12.
- [8] P. Ngamprasert, N. Rugthaicharoencheep and S. Woothipatanapan, "Application Improvement of Voltage Profile by Photovoltaic Farm on Distribution System," 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI), Pattaya, Thailand, 2019, pp. 98-101, doi: 10.1109/ICPEI47862.2019.8944997.
- [9] A. A. Ani and D. A. Anatolevich, "Hybrid Solar Thermal Power Plant Potential in Bangladesh," 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 1-7, doi: 10.1109/REEPE57272.2023.10086738.
- [10] M. A. Aziz Bhuiyan, M. H. Bhuiyan, M. A. Rahman, M. A. Abir, N. Mehruz and S. Salehin, "Economic Assessment of Concrete and Floating Based Solar Chimney Power Plants in Bangladesh," 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), Dhaka, Bangladesh, 2020, pp. 638-641, doi: 10.1109/TENSYP50017.2020.9230846.
- [11] N. Winanti, C. H. A. Andre Mailoa, H. R. Iskandar, G. A. Setia and N. T. Somantri, "System Optimization Design Of Rooftop Grid-Tied Solar Power Plant For Residential Customers In Indonesia," 2021 3rd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Bandung, Indonesia, 2021, pp. 222-226, doi: 10.1109/ICHVEPS53178.2021.9601036.

- [12]T. Song, L. Ottoson, J. Gallon, D. J. Friedman and N. Kopidakis, "Reliable Power Rating of Perovskite PV Modules," 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Fort Lauderdale, FL, USA, 2021, pp. 0367-0371, doi: 10.1109/PVSC43889.2021.9518841.
- [13]F. Lisco et al., "Design and testing of a demonstrative BIPV façade manufactured with novel glass-free colored lightweight PV modules," 2023 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Terrasini, Italy, 2023, pp. 657-662, doi: 10.1109/ICCEP57914.2023.10247449.
- [14]F. Lisco, A. Virtuani and C. Ballif, "A "combi-encapsulant" for enhanced performance of glass-free lightweight crystalline silicon solar PV modules," 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Fort Lauderdale, FL, USA, 2021, pp. 1965-1970, doi: 10.1109/PVSC43889.2021.9518430.
- [15]G. Nesterenko, D. Armeev, D. Gladkov, V. Zyryanov, J. Mokrousova and A. Myachina, "Adaptive Frequency Control Algorithm In Off-Grid Power System Based On Photovoltaic Diesel Hybrid System And Energy Storage," 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON), Riga, Latvia, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830511.