Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 15, No. 3, Mei 2026, hal. 253 – 259
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.15.3.253-259.2026

Open Access

Luminescent Solar Concentrator Berbasis Coumarin Terintegrasi dengan Fotovoltaik sebagai Fasad Bangunan Penghasil Energi Listrik

Kerta Adi Wasana*, Akbar Sujiwa, Nur Aini Fauziyah
Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, UPN "Veteran" Jawa Timur, Rungkut Madya, Surabaya, 60294, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 18 Januari 2026
Direvisi: 20 Maret 2026
Diterima: 22 Mei 2026

Kata kunci:
Bangunan terintegrasi fotovoltaik
Energi listrik
Energi terbarukan
LSC

ABSTRAK

Integrasi sistem energi terbarukan pada bangunan menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan pemanfaatan energi bersih secara berkelanjutan. Penelitian ini mengembangkan prototipe energi terbarukan berbasis *Luminescent Solar Concentrator* (LSC) yang terintegrasi dengan modul fotovoltaik untuk aplikasi fasad bangunan. LSC dibuat menggunakan bahan resin epoksi yang dicampur dengan coumarin, dengan ukuran sampel 100 cm² dan 400 cm². Modul fotovoltaik dipasang pada sisi tepi LSC untuk menangkap cahaya yang dipandu oleh material dan mengubahnya menjadi energi listrik. Prototipe diuji menggunakan sistem pengukuran yang merekam parameter listrik berupa tegangan, arus, dan daya secara kontinu. Pengujian dilakukan pada pukul 07.00–16.00 WIB di ruang terbuka dengan paparan sinar Matahari langsung untuk menganalisis respons sistem terhadap variasi intensitas cahaya Matahari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem menghasilkan tegangan yang relatif stabil, sementara arus dan daya mengalami perubahan mengikuti variasi intensitas penyinaran Matahari. Tegangan maksimum yang diperoleh sebesar 36,1 V, arus maksimum 1,14 mA, dan daya maksimum 40,07 mW. Hasil ini menunjukkan bahwa prototipe LSC–fotovoltaik memiliki potensi sebagai sistem pemanen energi terbarukan pada bangunan, khususnya dalam konsep *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV).

Keywords:
Building integrated photovoltaics
Electrical energy
LSC
Renewable energy

Penulis Korespondensi:
Kerta Adi Wasana
Email: kertaadi123@gmail.com

The integration of renewable energy systems in buildings offers a promising approach to enhance the sustainable utilization of clean energy. This study presents the development of a renewable energy prototype based on a Luminescent Solar Concentrator (LSC) integrated with photovoltaic modules for building façade applications. The LSC was fabricated using epoxy resin mixed with coumarin, producing samples with dimensions of 100 cm² and 400 cm². Photovoltaic modules were installed along the edges of the LSC to capture guided light and convert it into electrical energy. The prototype was evaluated using a measurement system that continuously records voltage, current, and power output. Experimental testing was conducted from 07:00 to 16:00 (WIB) under direct sunlight to analyze the system response to variations in solar irradiance. The results indicate that the system produces relatively stable voltage output, while the current and power vary depending on the intensity of solar radiation. The maximum voltage, current, and power obtained were 36.1 V, 1.14 mA, and 40.07 mW, respectively. These findings demonstrate the potential of the proposed LSC–photovoltaic prototype as a renewable energy harvesting system for building applications, particularly within the concept of Building Integrated Photovoltaics (BIPV).

Copyright © 2026 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Pesatnya pembangunan di kawasan perkotaan menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi listrik. Lebih dari 36% konsumsi energi akhir global berasal dari sektor bangunan. Selain itu, meningkatnya jumlah bangunan multifungsi di kawasan perkotaan, seperti perkantoran, institusi pendidikan, dan hunian bertingkat, turut berkontribusi terhadap tingginya kebutuhan energi (Zarco-Soto et al., 2025). Hingga saat ini, pemenuhan kebutuhan energi tersebut masih didominasi oleh sumber energi fosil yang tidak terbarukan (Khalili et al., 2026) dan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu solusi strategis untuk mendukung pembangunan berkelanjutan di daerah perkotaan adalah penggunaan energi terbarukan terutama energi surya (Nurdiana et al., 2025).

Energi surya merupakan energi yang diperoleh dari pengumpulan iradiasi matahari yang kemudian diubah melalui proses kimia menjadi listrik dengan adanya sel fotovoltaik (Obaideen et al., 2023). Pemanfaatan energi surya pada bangunan umumnya dilakukan melalui pemasangan panel surya konvensional pada bagian atap gedung (Rondonuwu et al., 2023) kemudian terdapat beberapa penelitian yang dikemukakan oleh (Yin et al., 2024) yaitu konsep *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV). Namun, metode ini memiliki keterbatasan, antara lain orientasi modul pada bangunan yang tidak selalu optimal terhadap arah datang radiasi Matahari, serta potensi penurunan nilai estetika bangunan. Di sisi lain, elemen bangunan seperti kaca jendela dan fasad transparan memiliki dimensi yang besar. Tetapi, elemen fasad bangunan tersebut masih berfungsi secara pasif dan belum dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Berdasar yang dikemukakan oleh Glenn et al., salah satu teknologi yang berpotensi menjawab permasalahan tersebut adalah *Luminescent Solar Concentrator* (LSC) (Glenn et al., 2023). Teknologi LSC bekerja dengan memanfaatkan material fluorofor yang mampu menyerap cahaya matahari kemudian memancarkannya kembali menuju sisi tepi media transparan melalui mekanisme pemantulan internal total (Castelletto & Boretti, 2023) dan (Sun et al., 2021). LSC menggunakan material polimer resin epoksi dengan campuran fluorofor sehingga material tetap tembus cahaya (Matrood et al., 2024). Energi cahaya yang terfokus pada sisi tepi tersebut selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik menggunakan panel surya mini. Keunggulan utama LSC terletak pada kemampuannya untuk tetap mempertahankan tingkat transparansi material, sehingga tidak mengganggu fungsi visual dan estetika bangunan. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Liu et al., menunjukkan bahwa optimalisasi material fluorofor dan desain optik LSC sangat penting untuk meningkatkan kinerja listrik (Liu et al., 2020; Liu et al., 2023). Namun, sebagian besar penelitian LSC transparan berbasis polimetil metakrilat (PMMA) dan material fluorofor masih dalam skala laboratorium dan belum dilakukan pengujian skala lapangan dengan variasi ukuran.

Oleh karena itu, studi ini dilakukan untuk mengisi celah penelitian terkait pemanfaatan LSC sebagai elemen bangunan melalui pendekatan eksperimental. Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan prototipe LSC berbasis polimer PMMA dengan variasi perbedaan luas permukaan. Karakterisasi dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi tersebut terhadap kinerja LSC, sehingga berpotensi memperluas penerapan LSC di sektor konstruksi, mendukung peningkatan efisiensi pemanfaatan energi surya, serta menciptakan solusi yang berpotensi lebih ekonomis dan ramah lingkungan dalam sistem energi terbarukan terintegrasi.

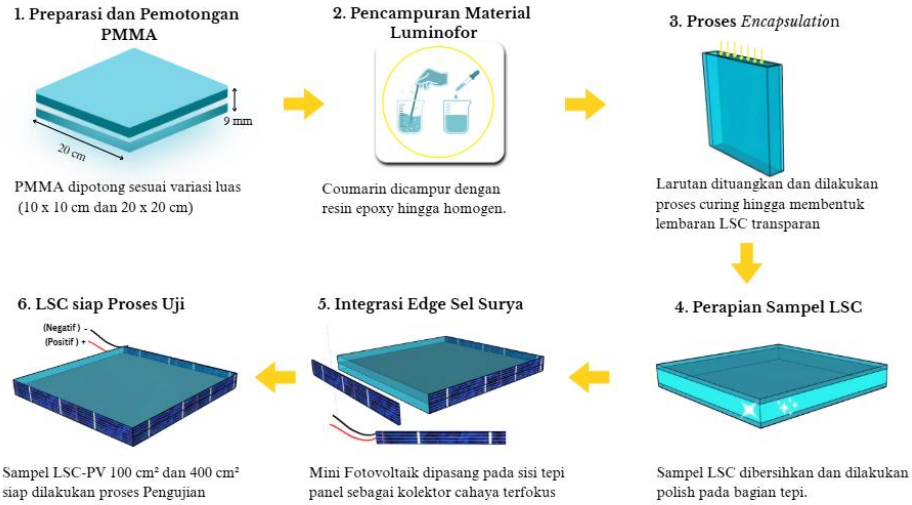
II. METODE

2.1 Metode Penelitian dan Perancangan

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui kinerja dan hasil energi yang diperoleh dari sampel LSC berbahan PMMA dan material flouresensi dengan variasi pada sampel satu 10 cm × 10 cm dan sampel kedua 20 cm × 20 cm. Pengujian dilakukan di area terbuka yang terpapar langsung oleh sinar Matahari.

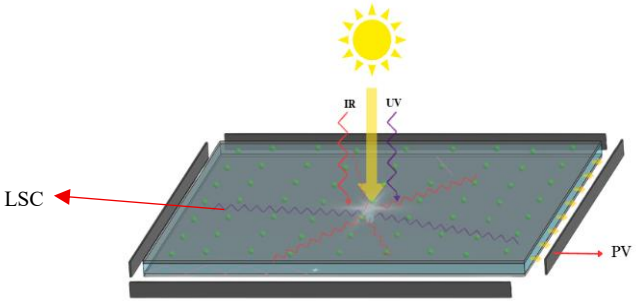
Sampel LSC dibuat menggunakan dua lembar PMMA bening berukuran 10 cm × 10 cm dan 20 cm × 20 cm dengan ketebalan 2 mm. Lembaran PMMA terlebih dahulu dibersihkan menggunakan alkohol untuk menghilangkan kotoran pada permukaan. Larutan pewarna luminesen dibuat dengan melarutkan material fluoresen yang digunakan dalam penelitian ini adalah coumarin (C9H6O2) dengan

nomor CAS 91-64-5. Coumarin diperoleh dari *supplier* Happy Green (Indonesia) dengan tingkat kemurnian sebesar 99,86% berdasarkan analisis *Gas Chromatography* (GC). Bahan ini memiliki bentuk fisik berupa padatan kristal putih dan digunakan tanpa proses pemurnian lanjutan. Larutan luminesen dibuat dengan melarutkan coumarin ke dalam etanol (*analytical grade*) dengan konsentrasi 0,01–0,1% (w/v) hingga homogen sebelum digunakan dalam proses fabrikasi LSC. Dua lembar PMMA kemudian dirangkai membentuk struktur berongga dan larutan dye luminesen dimasukkan secara merata dengan posisi vertikal hingga penuh, lalu dibiarkan mengering pada suhu ruang hingga terbentuk lapisan luminesen yang stabil. Proses pembuatan LSC dengan cara enkapsulasi, dimana lapisan dye luminesen berada di bagian tengah sebagai material aktif yang menyerap dan memancarkan kembali cahaya menuju tepi material. Selanjutnya, modul fotovoltaik berukuran 86 mm × 20 mm × 3 mm berbasis silikon jenis Monocrystalline dengan tegangan maksimum per keping 6 volt dirangkai secara seri dan dipasangkan pada sisi tepi LSC untuk menangkap cahaya terpandu dan mengonversinya menjadi energi listrik. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Metode pembuatan sampel *Luminesscent Solar Concentrator* Terintegrasi *Photovoltaics*

Proses pengumpulan dan pemanfaatan energi Matahari oleh LSC digambarkan pada Gambar 2. Mekanisme pemantulan internal total, terjadi ketika material luminesen menyerap cahaya Matahari dan kemudian dipancarkan kembali ke sisi tepi. cahaya yang dipancarkan dengan sudut datang lebih besar dari sudut kritis akan terperangkap di dalam material dan bergerak menuju tepi. Namun, tidak semua cahaya luminesensi dapat memenuhi kondisi pemantulan internal total. Akibatnya, sebagian energi hilang karena *escape cone*, reabsorpsi material, dan dispersi. Modul fotovoltaik mengumpulkan cahaya yang menuju tepi dan mengubahnya menjadi energi listrik.

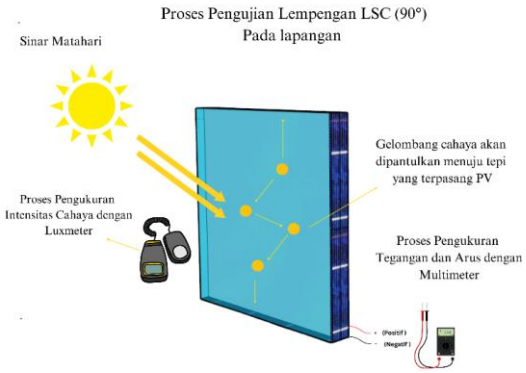


Gambar 2 Prinsip kerja LSC-PV dalam mengkonversi cahaya menjadi energi listrik.

2.2 Metode Pengujian Sampel

Pengujian dilakukan di area terbuka dengan pencahayaan Matahari alami. Sampel LSC dipasang secara vertikal menyerupai posisi jendela bangunan. Pengukuran dilakukan pada pukul 07.00 WIB hingga 16.00 WIB dengan interval pengambilan data setiap 1 jam menggunakan multimeter digital

dan lux meter. Pengujian ini bertujuan untuk mencatat intensitas radiasi Matahari, tegangan, arus, dan daya keluaran yang dihasilkan oleh LSC-PV. Selain itu, suhu lingkungan dan kondisi cuaca juga dicatat untuk mengevaluasi kinerja LSC-PV pada kondisi penggunaan nyata.

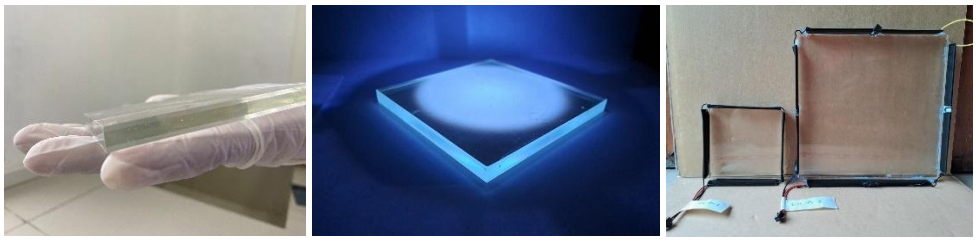


Gambar 3 Proses pengujian sampel LSC-PV di lapangan

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Perancangan

Pada tahap perancangan, sampel LSC terlebih dahulu dirancang dan dibuat melalui pemilihan material, penentuan dimensi, serta proses pembuatan hingga diperoleh sampel yang siap diuji. Selanjutnya, sampel LSC yang telah terbentuk diintegrasikan dengan modul fotovoltaik dengan cara memasang modul pada sisi tepi LSC secara sederhana, LSC berfungsi menangkap cahaya Matahari kemudian cahaya tersebut diarahkan dan dipandu menuju bagian tepi material, hal ini menjadikan harapan besar untuk pengembangan material terintegrasi untuk effisiensi gedung sesuai yang dikemukakan oleh Bahantwelu & Mbake, 2021. Modul fotovoltaik yang dipasang di bagian tepi ini berperan untuk menerima cahaya yang telah dipusatkan oleh LSC dan mengubahnya menjadi energi listrik, sehingga dinamakan menjadi LSC-PV yang dapat bekerja sebagai sistem pemanen energi surya pada elemen bangunan. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4:



(a) **(b)** **(c)**

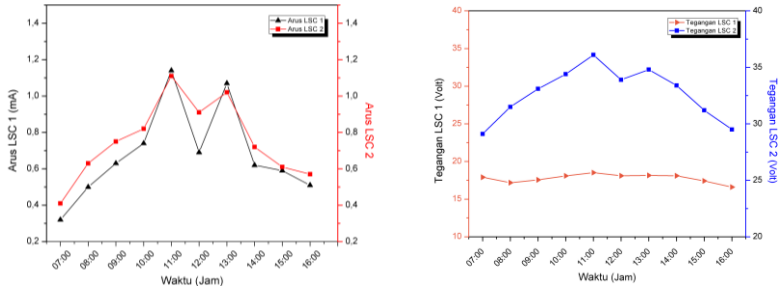
Gambar 4 (a) Sampel LSC tampak samping (b) Sampel LSC tersinari cahaya (c) Sampel LSC-PV 10 cm × 10 cm dan 20 cm × 20 cm

Gambar 4 menunjukkan hasil perancangan sistem LSC–PV dalam skala prototipe, dimana material LSC dibuat menjadi panel dan modul fotovoltaik dipasang di sisi tepinya. Untuk meningkatkan tegangan keluaran sistem, modul fotovoltaik dirangkai secara seri. Dengan demikian, prototipe memiliki kemampuan untuk mengumpulkan cahaya yang terpandu di dalam LSC dan mengonversinya menjadi energi listrik.

3.2 Hasil Pengujian Lapangan

Pengujian sampel LSC-PV ini sesuai dengan alur proses pengujian, dimana sampel di letakkan secara vertikal pada penyangga dengan ketinggian 1 meter dari permukaan tanah. Sampel LSC berjumlah dua diposisikan sejajar dan menghadap arah sinar Matahari, pengujian dimulai pada pukul 07.00 WIB hingga pukul 16.00 WIB dengan cuaca terik Matahari normal. Dalam pengukuran energi yang dihasilkan berupa arus dan tegangan digunakan alat multimeter, sedangkan dalam pengukuran intensitas menggunakan lux meter.

Gambar 5 Visualisasi proses pengujian lapangan, (a) Sampel 1 LSC-PV 10 cm × 10 cm (b) Sampel 2 LSC-PV 20 cm × 20 cm.



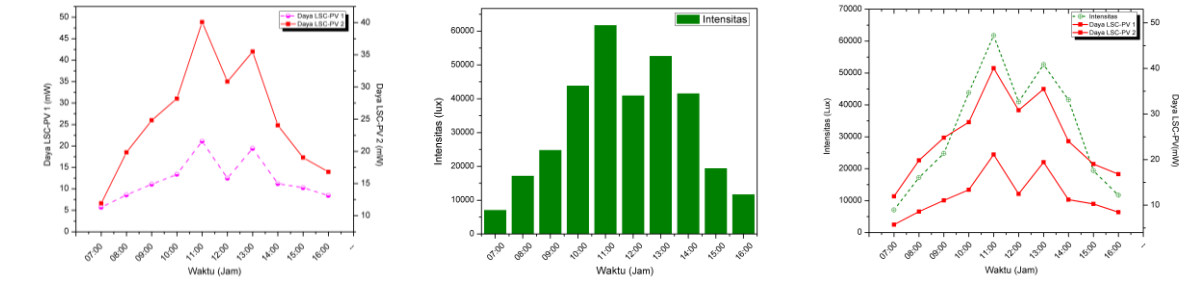
Gambar 6 (a) Grafik Arus (mA) (b) Grafik Tegangan (Volt)

Berdasarkan Gambar 6, ditampilkan hasil pengujian keluaran listrik dua sampel LSC-PV yang diukur setiap satu jam dari pukul 07.00 hingga 16.00 WIB. Parameter yang diamati meliputi arus, tegangan, daya, dan intensitas cahaya. Secara umum, arus keluaran menunjukkan peningkatan pada pagi hari hingga mencapai nilai maksimum sekitar pukul 11.00 WIB, kemudian menurun pada sore hari mengikuti perubahan intensitas cahaya. Meskipun secara teoritis intensitas radiasi Matahari maksimum terjadi sekitar pukul 12.00 WIB, pada pengujian ini puncak justru terjadi lebih awal, yang dipengaruhi oleh kondisi atmosfer lokal seperti keberadaan awan tipis, kelembaban udara, serta perubahan sudut datang radiasi Matahari terhadap posisi LSC yang dipasang secara vertikal.

Selain itu, sampel dengan luas permukaan lebih besar (LSC 2) secara umum menghasilkan keluaran listrik yang lebih tinggi dibandingkan LSC 1. Namun, peningkatan ini tidak serta-merta berbanding lurus dengan luas permukaan, karena kinerja LSC juga dipengaruhi oleh efisiensi propagasi cahaya di dalam material. Fenomena ini sejalan dengan studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan dimensi LSC tidak selalu menghasilkan peningkatan keluaran energi secara linear akibat adanya *optical losses* seperti *reabsorpsi*, *scattering*, dan *escape cone* (Castelletto & Boretti, 2023) serta potensi pemanfaatan LSC sebagai elemen bangunan terintegrasi tidak hanya ditentukan oleh ukuran, tetapi juga oleh efisiensi optik (Muteri et al., 2023).

Grafik perbandingan arus menunjukkan bahwa kedua sampel menunjukkan pola yang serupa: arus meningkat pada pagi hari dan mencapai puncaknya menjelang tengah hari sebelum menurun pada sore hari. Pada LSC 1, arus maksimum mencapai 1,14 mA pada pukul 11.00 WIB, sedangkan pada LSC 2, arus maksimum mencapai 1,11 mA pada waktu yang sama. Secara umum, nilai arus LSC 2 sedikit lebih stabil dibandingkan LSC 1, terutama selama siang dan sore hari. Ini menunjukkan bahwa perbedaan dimensi atau konfigurasi LSC mempengaruhi jumlah cahaya yang berhasil dipandu ke modul fotovoltaik, yang berdampak langsung pada jumlah arus yang dihasilkan.

Sedangkan pada grafik tegangan menunjukkan perbedaan yang cukup jelas antara kedua sampel. Pada pukul 11.00 WIB, LSC 1 memiliki tegangan maksimum 18,52 V, dan LSC 2 memiliki tegangan maksimum 36,1 V pada waktu yang sama. Meskipun intensitas cahaya berubah, perubahan tegangan dan arus lebih kecil daripada perubahan cahaya. Akibatnya, tegangan cenderung lebih stabil daripada arus. Keluaran LSC 2 secara konsisten memiliki tegangan yang lebih tinggi daripada LSC 1 selama seluruh waktu pengukuran.



Gambar 7 (a) Grafik Daya (mW), (b) Grafik Intensitas cahaya Matahari, (c) Grafik korelasi Intensitas cahaya Matahari dan Daya (Mw).

Dari Gambar 6 terlihat bahwa pola perubahan daya keluaran kedua sistem LSC-PV mengikuti perubahan intensitas cahaya. Pada Gambar (b), intensitas cahaya meningkat dan mencapai titik tertingginya pada pukul 11.00 WIB, yang diikuti oleh peningkatan daya untuk LSC-PV 1 dan LSC-PV 2, yang masing-masing mencapai 21,11 mW dan 40,07 mW.

Setelah pukul 11.00 WIB intensitas cahaya cenderung turun, dan penurunan ini diikuti oleh penurunan daya pada kedua sistem, hal tersebut selaras dengan penelitian (Ndiaye et al., 2025) yang menunjukan bahwa iradiasi Matahari sangat mempengaruhi terhadap produksi energi dari fotovoltaik. Namun, pada titik tertentu, seperti antara pukul 12.00 WIB dan 13.00 WIB, kenaikan intensitas tidak selalu diikuti oleh kenaikan daya secara linier. Perbedaan ini menunjukkan bahwa selain intensitas cahaya, faktor lain, seperti sudut datang cahaya Matahari berubah secara kontinu sepanjang hari dan mempengaruhi efisiensi penangkapan cahaya oleh LSC. Selain itu, sistem ini memiliki respons sama terhadap iluminasi dari sisi depan dan belakang karena distribusi dye dan arah propagasi cahaya di dalam material. Selama pengujian, kondisi cuaca cenderung cerah dengan sesekali terdapat awan tipis, yang dapat menyebabkan fluktuasi intensitas cahaya yang terukur. Secara keseluruhan, kedua grafik menunjukkan hubungan positif antara intensitas cahaya Matahari dan daya keluaran sistem LSC-PV 1 dan LSC-PV 2.

IV. KESIMPULAN

Hasil perancangan dan pengujian prototipe LSC–PV berbasis coumarin dan polimer menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki kemampuan untuk menghasilkan energi listrik dan dapat dengan baik beradaptasi terhadap perubahan intensitas cahaya matahari. Sementara arus dan daya cenderung berubah sesuai dengan intensitas cahaya, hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sampel menghasilkan tegangan yang relatif stabil. Peningkatan arus dan daya keluaran kedua sampel berkorelasi positif dengan peningkatan intensitas cahaya pada siang hari, sampel 2 menghasilkan daya maksimum sebesar 40,07 mW, sementara sampel 1 menghasilkan daya maksimum sebesar 21,11 mW. Hasil ini menunjukkan bahwa prototipe LSC–PV dapat digunakan sebagai sistem pemanen energi surya pada elemen bangunan, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan daya rendah dan sebagai bagian dari sistem bangunan terintegrasi energi. Namun, perlu ada lebih banyak pengembangan untuk meningkatkan efisiensi optik material LSC dan kinerja sistem secara keseluruhan sehingga LSC dapat menjadi konsep bangunan terintegrasi untuk mendukung pembangunan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tidak ada.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

GPT hanya digunakan untuk mengoreksi kesalahan tata bahasa dan tipografi. Penulis bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Bahantwelu, M., & Mbake, I. N. (2021). Smart Glass dan Penerapannya pada Selubung Bangunan di Iklim Tropis untuk Efisiensi Energi Gedung. *Vol. 3 No. 1*, 18–24. https://ejurnal.undana.ac.id/index.php/gewang/index

Castelletto, S., & Boretti, A. (2023). Luminescence solar concentrators: A technology update. *Nano Energy*, *109*, 108269. https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2023.108269

Glenn, A., Chandra, S., & McCormack, S. (2023). Design, fabrication and preliminary testing of plasmonic luminescent solar concentrator devices. *Sustainable Buildings*, *6, 8*, 1–10. https://doi.org/10.1051/sbuild/2023009

Khalili, S., Oyewo, A. S., Lopez, G., Kaypnazarov, K., & Breyer, C. (2026). Technologies, trends, and trajectories across 100% renewable energy system analyses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *226*, 116308. https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116308

Liu, G., Wang, X., Han, G., Yu, J., & Zhao, H. (2020). Earth abundant colloidal carbon quantum dots for luminescent solar concentrators. *Materials Advances*, *1*(2), 119–138. https://doi.org/10.1039/D0MA00181C

Liu, G., Zavelani-Rossi, M., Han, G., Zhao, H., & Vomiero, A. (2023). Red-emissive carbon quantum dots enable high efficiency luminescent solar concentrators. *Journal of Materials Chemistry A*, *11*(16), 8950–8960. https://doi.org/10.1039/D2TA09972A

Matrood, H. M., Ahmadi-Kandjani, S., & Asgari, A. (2024). Enhancing Efficiency of Luminescent Solar Concentrators through Laser Grooving Techniques. *International Journal of Energy Research*, *2024*(1), 5021299. https://doi.org/10.1155/2024/5021299

Muteri, V., Longo, S., Traverso, M., Palumbo, E., Bua, L., Cellura, M., Testa, D., & Guarino, F. (2023). Life Cycle Assessment of Luminescent Solar Concentrators Integrated into a Smart Window. *Energies*, *16*(4), 1869. https://doi.org/10.3390/en16041869

Ndiaye, E. H. M., Ndiaye, A., Faye, M., Gueye, D., Ba, A., & Traore, M. (2025). Analysis of the impact of irradiance and temperature on photovoltaic production: A statistical and machine learning approach. *MethodsX*, *15*, 103716. https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103716

Nurdiana, N., Al Amin, M. S., Emidiana, Irwansi, Y., & Pratama Putra, F. (2025). Studi Potensi Energi Terbarukan dengan Solar Rooftop On-Grid pada Gedung Business and Science Center (BSC). *Jurnal Surya Energy*, *9*(2), 73–82. https://doi.org/10.32502/jse.v9i2.433

Obaideen, K., Olabi, A. G., Al Swailmeen, Y., Shehata, N., Abdelkareem, M. A., Alami, A. H., Rodriguez, C., & Sayed, E. T. (2023). Solar Energy: Applications, Trends Analysis, Bibliometric Analysis and Research Contribution to Sustainable Development Goals (SDGs). *Sustainability*, *15*(2), 1418. https://doi.org/10.3390/su15021418

Rondonuwu, A., Wenas, A., & Mandagi, A. (2023). *Pemasangan Pembangkit Tenaga Surya Untuk Instalasi Rumah (Solar Home)*. *1, 24*. http://centralpublisher.co.id

Sun, Y., Zhang, Y., & Li, Y. (2021). Mapping the Surface Heat of Luminescent Solar Concentrators. *Optics*, *2*(4), 259–265. https://doi.org/10.3390/opt2040024

Yin, Q., Li, A., & Han, C. (2024). The Role of Solar Photovoltaic Roofs in Energy-Saving Buildings: Research Progress and Future Development Trends. *Buildings*, *14*(10), 3091. https://doi.org/10.3390/buildings14103091

Zarco-Soto, F. J., Zarco-Soto, I. M., Ali, S. S. S., & Zarco-Periñán, P. J. (2025). Energy consumption in buildings: A compilation of current studies. *Energy Reports*, *13*, 1293–1307. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.12.069