

Artikel Penelitian

Analisis Teori Penerapan Panel Surya pada Lampu Jalan Tol

Adi Sutopo¹, Muhammad Dani Sohilin², Kimi Bonari Siahaan^{3*}, Muhammad Syauqi Adnan⁴, Christiano Togatorop⁵, Michael Cristy⁶, Azmi Nasution⁷

¹⁻⁷ Universitas Negeri Medan, Indonesia; email : kimisiahhaan75@gmail.com

* Korespondensi: Kimi Bonari Siahaan

Abstract: In today's era, the use of renewable energy is increasingly becoming a major focus in energy increasingly becoming carbon emissions. One of the applications of renewable energy in industrial life is the use of solar panels for street lighting systems, especially on toll road lights that require continuous and efficient lighting. This study aims to analyze the basic theory of how solar panels work and their application to toll road lights, taking into account energy efficiency, power deviation, and stability of electricity supply. The analysis method is carried out through literature studies and mathematical calculation in the application of solar panels to toll road lights. The result of the analysis show that the solar panel system is able to meet the energy needs of toll road lights, especially in areas with high sunlight intensity. In addition, the use of lithium batteries as energy storage has proven effective in maintaining the stability of electricity supply at night or in cloudy weather

Keywords: Renewable Energy, Solar Panels, Energy Savings, Toll Road Lights

Abstrak: Pada era sekarang, Penggunaan energi terbarukan semakin menjadi fokus utama dalam penghematan energi dan pengurangan emisi karbon. Salah satu penerapan energi terbarukan pada kehidupan industri adalah penggunaan panel surya untuk sistem penerangan jalan, khususnya pada lampu jalan tol yang memerlukan pencahayaan kontinu dan efisien. Penelitian ini bertujuan menganalisis teori dasar kerja panel surya serta penerapannya pada lampu jalan tol, dengan mempertimbangkan efisiensi energi, penyimpangan daya, dan kestabilan suplai Listrik. Metode analisis dilakukan melalui studi literatur dan perhitungan matematis dalam penerapan panel surya pada lampu jalan tol. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem panel surya mampu memenuhi kebutuhan energi lampu jalan tol, terutama di wilayah dengan intensitas Cahaya matahari yang tinggi. Selain itu, penggunaan baterai lithium sebagai penyimpanan energi terbukti efektif dalam menjaga kestabilan suplai Listrik saat malam hari atau cuaca mendung.

Kata kunci: Energi Terbarukan, Panel Surya, Penghematan Energi, Lampu Jalan Tol.

Diterima: Mei 10, 2025
Direvisi: Mei 24, 2025
Diterima: Juni 07, 2025
Diterbitkan: Juni 09, 2025
Versi sekarang: Juni 09, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Dalam menghadapi tantangan global terkait perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya energi fosil, transisi menuju energi terbarukan menjadi Langkah strategis yang mendesak. Indonesia, sebagai negara tropis dengan intensitas sinar matahari yang tinggi, memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi surya sebagai sumber listrik alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Salah satu penerapan energi surya yang menjanjikan adalah pada sistem penerangan jalan tol. Lampu jalan tol memerlukan pencahayaan kontinu dan efisien untuk menjamin keselamatan penggunaan jalan, terutama pada malam hari. Namun, tantangan utama dalam penerapan sistem penerangan lampu jalan tol konvensional adalah ketergantungan pada jaringan listrik PLN dan tingginya biaya operasional.

Penggunaan panel surya sebagai sumber energi utama untuk lampu jalan tol menawarkan Solusi yang inovatif dan berkelanjutan. Panel surya dapat mengonversi energi matahari menjadi listrik yang kemudian disimpan dalam baterai untuk digunakan pada malam hari. Selain itu, penggunaan baterai lithium sebagai penyimpanan energi terbukti efektif dalam menjaga kestabilan suplai listrik saat malam hari atau cuaca mendung.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis teori dasar kerja panel surya serta penerapannya pada lampu jalan tol, dengan mempertimbangkan efisiensi energi, penyimpanan daya, dan kestabilan suplai listrik. Metode Analisis dilakukan melalui studi literatur dan perhitungan cara kerja panel surya secara matematis. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem panel surya mampu memenuhi kebutuhan energi lampu jalan tol, terutama di wilayah dengan intensitas Cahaya matahari tinggi.

Selain itu, penggunaan sistem kontrol otomatis yang terintegrasi dengan panel surya dan baterai lithium dapat meningkatkan efisiensi beban dan memastikan kestabilan suplai listrik. Sistem control ini dapat mengatur proses pengisian dan pemakaian baterai, serta melindungi komponen dari kerusakan akibat overcharging atau overdischarging.

Dengan mempertimbangkan potensi energi surya yang melimpah di Indonesia dan kemajuan teknologi dalam penyimpanan energi, penerapan panel surya pada lampu jalan tol merupakan Solusi yang tepat untuk mendukung Pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2. Kajian Teoritis

2.1 Energi Surya sebagai Sumber Energi Terbarukan

Energi surya merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang berasal dari radiasi sinar matahari dan dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui perangkat fotovoltaik (solar cell). Keunggulan energi ini adalah ketersediaannya yang melimpah, berifat bersih (tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca), dan dapat diakses di hampir seluruh wilayah tropis, termasuk Indonesia.

2.2 Prinsip Kerja Panel Surya

Panel surya beroperasi dengan menguba energi Cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Saat Cahaya matahari mengenai Sel surya, electron dalam bahan semi konduktor (umumnya silikon) bergerak, menghasilkan arus listrik searah (DC). Arus ini kemudian dapat digunakan langsung atau disimpan dalam baterai untuk digunakan nanti (Santoso dkk 2022).

2.3 Sistem Penyimpanan Energi – Baterai Lithium

Energi yang dihasilkan oleh panel surya disimpan dalam baterai digunakan saat malam hari atau saat cuaca mendung. Baterai lithium dipilih karena memiliki keunggulan dalam hal efisiensi pengisian, densitas energi yang tinggi, serta daya tahan terhadap siklus pengisian-pengosongan (Charging-discharging). Menurut Santoso (2022), sistem penyimpanan berbasis lithium lebih andal dibandingkan baterai konvensional (seperti timbal-asam), terutama dalam aplikasi berkelanjutan seperti penerangan jalan.

2.4 Penerangan Jalan Tol dan Kebutuhan Energi

Lampu jalan tol membutuhkan sistem pencahayaan yang stabil dan tahan lama untuk menjamin keselamatan penggunaan jalan. Sistem penerangan konvensional masih mengandalkan pasokan dari jaringan listrik utama (PLN), yang memiliki keterbatasan seperti biaya operasional tinggi, risiko gangguan suplai, serta infrastruktur jaringan yang kompleks. Dengan demikian, transisi ke sistem penerangan berbasis energi surya menjadi Solusi efisien dan berkelanjutan (Yuliana & Hidayat, 2021).

2.5 Sistem Kontrol Otomatis pada PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

Sistem control otomatis sangat penting untuk mengatur proses pengisian dan pengeluaran daya dari baterai. Kontrol ini meliputi proteksi terhadap overcharging, Overdischarging, dan pengaturan arus beban. Penerapan mikrokontroler seperti Arduino atau sistem control berbasis Internet of Things (IoT) dapat meningkatkan efisiensi dan kestabilan sistem. Studi oleh Ramadhan et al . (2021) menunjukkan bahwa penggunaan control otomatis dapat meningkatkan efisiensi sistem sebesar 15 – 20%.

3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengumpulan data melalui studi literatur yang mencakup penelusuran dan analisis berbagai referensi dari sumber-sumber yang relevan. Data dikumpulkan dari buku-buku teknis, artikel ilmiah, jurnal nasional maupun internasional, serta studi kasus yang membahas penerapan teknologi panel surya, sistem penerangan jalan, dan efisiensi energi. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh landasan teoritis yang kuat serta gambaran empiris mengenai implementasi panel surya pada lampu jalan, khususnya pada infrastrukturnya. Informasi yang diperoleh melalui metode ini menjadi dasar dalam melakukan analisis serta merancang sistem yang sesuai dengan kebutuhan energi dan kondisi di lapangan.

4. Hasil dan Pembahasan

Lampu jalan tol pada umumnya menggunakan lampu LED dengan daya antara 50 hingga 150 watt, tergantung pada kebutuhan penerangan. Dalam studi ini digunakan referensi daya lampu 100 watt sebagai acuan dengan durasi menyala 12 jam per hari, menyesuaikan siklus malam di Indonesia.

$$E_{\text{lampu}} = 100 \text{ W} \times 12 \text{ jam} = 1.200 \text{ Wh} = 1,2 \text{ kWh/hari}$$

Kebutuhan ini harus dipenuhi setiap hari secara konsisten, tanpa ketergantungan pada jaringan PLN. Oleh karena itu, sistem panel surya harus mampu menghasilkan energi tersebut dengan efisien dan menyimpannya untuk digunakan pada malam hari.

Pada panel surya, Energi yang dihasilkan akan bergantung pada kapasitas (W_p), intensitas radiasi matahari (solar irradiance) efisiensi sistem, serta kondisi geografis.

Asumsi :

- Daya Panel : 250 Wp
- Solar irradiance harian : 4,5 kWh/m²/hari (wilayah tropis seperti di Indonesia)
- Efisiensi sistem : 75% (akibat konversi dan kerugian sistem)

$$E_{\text{panel}} = 250 \text{ Wp} \times 4,5 \times 0,75 = 843,75 \text{ Wh/panel/hari}$$

Untuk memenuhi 1.200 Wh, maka dibutuhkan :

$$\text{Jumlah Panel} = 1200 / 843,75 \approx 1,42 \Rightarrow 2 \text{ panel } 250 \text{ Wp}$$

Dua panel surya 250 Wp dapat mencukupi kebutuhan energi harian satu unit lampu jalan tol 100 watt.

Peran baterai lithium sangat penting dalam proses kerja panel surya. Karena energi matahari hanya tersedia di siang hari, dibutuhkan penyimpanan energi agar lampu tetap menyala saat malam hari atau saat mendung.

Digunakan baterai lithium-ion karena :

- Densitas energi tinggi
- Umur pakai Panjang
- Tahan terhadap siklus pengisian berulang

Perhitungan kapasitas penyimpanan energi :

- Kebutuhan energi : 12 kWh
- Tambahan Cadangan 30% (cuaca buruk & efisiensi) :

$$C_{\text{baterai}} = 1,2 \text{ kWh} \times 1,3 = 1,56 \text{ kWh}$$

Baterai lithium 12V 100Ah memiliki kapasitas :

$$12 \text{ V} \times 100\text{Ah} = 1.200 \text{ Wh} = 1.2 \text{ kWh}$$

Jadi, dibutuhkan minimal dua baterai 12 V 100Ah untuk satu sistem penerangan.

Kestabilan sistem dan keandalan operasional pada panel surya juga harus selalu diperhatikan agar proses kerja panel surya pada lampu jalan tol dan berjalan dengan baik. Kestabilan sistem sangat tergantung pada empat komponen utama :

- Panel surya harus ditempatkan dengan sudut optimal untuk menangkap radiasi maksimum



Sumber : Hasil Visualisasi

Gambar 1. Ilustrasi Letak Panel Surya

- Baterai harus mampu menyimpan cukup energi tanpa degradasi signifikan dalam jangka waktu lama.



Sumber : Hasil Visualisasi

Gambar 2. Baterai Lithium-Ion 12,8V 100Ah

- Charge controller mencegah overcharge dan overdischarge menjaga umur baterai.
- Lampu LED memberikan efisiensi cahaya tinggi dengan konsumsi daya rendah.

Tabel 1. Tabel Spesifikasi Sistem Penerangan Jalan Tol Berbasis Panel Surya

| <u>Komponen</u> | <u>Spesifikasi</u> | <u>Jumlah/Daya</u> | <u>Keterangan</u> |
|--------------------------|--------------------|--------------------|---|
| <u>Lampu LED</u> | 100 Watt | 1 unit | <u>Digunakan untuk Penerangan jalan</u> |
| <u>Durasi Nyala</u> | 12 jam/hari | - | Total beban harian: 1,2 kWh |
| <u>Panel Surya</u> | 250 Wp | 2 unit | <u>Efisiensi Sistem 75%</u> |
| <u>Baterai Lithium</u> | 12V 100Ah | 2 unit | <u>Kapasitas penyimpanan 2,4 kWh</u> |
| <u>Charge controller</u> | MPPT, 20A | 1 unit | <u>Menstabilkan pengisian baterai</u> |
| <u>Produksi Energi</u> | ~843 Wh/panel/hari | ~1.687 Wh | Total Output panel/hari 2 |

Tabel 2. Estimasi Energi Harian dan Kecukupan Sistem

| <u>Parameter</u> | <u>Nilai</u> | <u>Keterangan</u> |
|-----------------------------------|-----------------|--|
| <u>Kebutuhan Energi Lampu</u> | 1.200 Wh/hari | <u>Untuk unit 1 lampu LED 100W selama 12 jam</u> |
| <u>Output Energi Panel Surya</u> | 843,75 Wh/panel | <u>Dengan rasdiasi 4,5 kWh/m² dan efisiensi 75%</u> |
| <u>Total Energi 2 Panel Surya</u> | 1.687 Wh | <u>> Kebutuhan lampu cukup untuk operasional</u> |
| <u>Cadangan Energi (Baterai)</u> | 2.400 Wh | <u>Menutupi 1,3 hari penggunaan</u> |
| <u>Sisa Energi Harian</u> | ~487 Wh | <u>Dapat digunakan sebagai Cadangan tambahan</u> |

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis teoritis, simulasi matematis, serta kajian terhadap karakteristik sistem panel surya dan komponennya, dapat disimpulkan bahwa sistem energi surya merupakan Solusi yang sangat potensial dan efektif dalam mendukung sistem penerangan jalan tol berkelanjutan. Sistem penerangan jalan dengan beban daya sebesar 100 watt per titik dan waktu operasional rata-rata 12 jam per hari membutuhkan suplai energi sebesar 1,2 kWh/hari. Dengan menggunakan dua panel surya berkapasitas masing-masing 250 Wp dan asumsi efisiensi sistem sebesar 75%, sistem ini mampu menghasilkan rata-rata sebesar 1.687 Wh per hari, yang secara signifikan melebihi kebutuhan beban harian lampu. Hal ini menunjukkan bahwa sistem panel surya dapat mencukupi kebutuhan penerangan tanpa ketergantungan pada jaringan listrik konvensional, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia yang memiliki Tingkat radiasi matahari tinggi sepanjang tahun, yaitu antara 4 hingga 5,5 kWh/m²/hari.

Penyimpanan energi juga menjadi factor penting dalam menjamin kontinuitas suplai listrik listrik, terutama pada malam hari atau ketika cuaca tidak mendukung. Berdasarkan perhitungan matematis, penggunaan dua unit baterai lithium-ion 12V 100Ah dapat menyediakan Cadangan energi hingga 2,4 kWh, yang cukup untuk mendukung sistem selama satu hari lebih dalam kondisi darurat.

Penerapan sistem panel surya untuk lampu jalan tol perlu didukung dengan kebijakan nasional yang kuat dalam bidang transisi energi Pembangunan struktur hijau, mengingat penerapan sistem tenaga surya yang memerlukan implementasi dengan skala yang besar dalam proses pelaksanaannya. Untuk itu, mari pemerintah Indonesia mulai menerapkan dan beralih secara perlahan lahan menggunakan energi terbarukan, agar Masyarakat juga mengerti cara memanfaatkan energi terbarukan tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Hidayatullah, A., Maruf, A., Islachulchoir, D. A., Pibadi, D. P., & Rahmawati, Y. (2022). Sistem pembangkit energi surya pada penerangan jalan umum tenaga surya di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang. *INAJEE (Indonesia Journal of electrical and Electronics Engineering)*, 2(2), 68-73.
- [2] Juliana, I. R., & Sunaryantiningsih, I. (2022). Pemanfaatan tenaga surya untuk lampu jalan solar cell di Kawasan Lab.Terpada UNIPMA sebagai penerapan matakuliah EBT berbasis proyek. *ELECTRA: Electrical Engineering Articles*, 1(2), EE-8963
- [3] Mahendra, L. S., Sudiharto, I., Prasetyono, E., Yanaratri, D. S., Eviningsih, R. P., Jaya, A., Sunarno, E., Hsu, H. E., Habibi, M. N., Rusli, M. R., Adila, A. F., & Agusalam, I. D. (2022). Sistem penyimpanan energi listrik panel surya untuk PJU dan edukasi Masyarakat Desa Kembangbelor. *BUDIMAS: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 5(2), 10967
- [4] Mulyanto, S., Kurniawan, Y., Pol, A., Dwimas, H., & Huda, N. (2022). A study of installation of public street lighting with solar panels as an alternative energy source at Balikpapan State Polytechnic. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 3669
- [5] Muniardi, M., Ridwang, R., rahmaniah, R., Anas, L., & Syahyadi, A. I. (2022). Implementasi IoT pada lampu jalan berbasis panel surya di wilayah Universitas Muhammadiyah Makassar. *Jurnal INSTEK (Informatika Sains dan Teknologi)*, 6(2), 25432
- [6] Pradana, R. S. (2017). Rancang bangunan pendengaran utama pada sistem control dan monitoring lampu penerangan jalan umum tenaga surya menggunakan wireless sensor network dengan human machoine interface terpusat. Institut Teknologi Sepuluh November.
- [7] Prakoso, A. (2019). Analisis potensi dan unjuk kerja perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk mensuplai lampu penerangan jalan umum di Universitas Diponegoro menggunakan software PVSYSY 6.43. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 8(3), 218-225.
- [8] Rupawanti, N. (2020). Analisis dan efisiensi daya instalasi penerangan jalan umum menggunakan solar cell di Kabupaten Lamongan. *JE-Unisla*, 2(2), 80
- [9] Sanaha, D., Irzaman, & Muktasih, S. (2019). Analisis teknis dan ekonomis penerangan lampu penerangan jalan umum panel surya si Kota Sukabumi. Institut Pertanian Bogor
- [10] Setiawan, I. W. H., Rinas, I. W., & Suartika, I. M. (2016). Analisis teknis dan ekonomis pengoperasian penerangan jalan umum menggunakan solar cell untuk kebutuhan penerangan di jalan By Pass I Gusti Ngurah Rai. *Jurnal SPEKTRUM*, 2(3), 123-129.
- [11] Siregar, R., Idris, M., Tarigan, B., & Sebayang, R. (2021). Analisis prototype pembangkit listrik tenaga surya untuk penerangan lampu jalan, *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(1), 705
- [12] Sulanjari, S., Oktavian, T. O., & Setiyono, J. (2019). Analisis untuk kerja panel surya berkapasitas 50 Wp sebagai sumber energi lampu penerangan jalan umum, *Scientia Sacra: Jurnal Sains, Teknologi dan Masyarakat*, 2(1), 149.
- [13] Ulum, M., Saputra, K. O., Saputro, A. K., Purnamasari, D. N., & Ibadillah, A. F. (2021). Perancangan lampu jalan dengan panel surya terintegrasi dan pengaturan otomatis intensitas cahata. *Jurnal FORTECH*, 5(1), 568
- [14] Wibisono, D. A. (2021). Desain dann analisis investasi PLTS pada penerangan jalan umum menggunakan sistem clustering. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [15] Yuskar, R. I., Rusdinar, A., & Purnama, I. (2021). Sistem penerangan jalan umum bertenaga surya. *eProceedings of Engineering*, 8(1), 8238.