



STUDI PERANCANGAN PANEL SURYA PADA KOMPLEK WANGI WANGI AKADEMI TNI ANGKATAN LAUT (AAL) UNTUK LAMPU PENERANGAN JALAN

STUDY ON THE DESIGN OF SOLAR PANELS AT THE WANGI WANGI COMPLEX OF THE NAVAL ACADEMY (AAL) FOR STREET LIGHTING

Ezulvan Zaqi Senawi^{1*}, Wujud Wiyono¹

¹ Akademi Angkatan Laut

*Penulis korespondensi, Surel: wewekambani971@gmail.com

Abstract

The increasing demand for electrical energy in military education facilities necessitates an efficient, reliable, and sustainable energy solution. This research aims to design a Solar Power Plant (PLTS) system to meet the street lighting needs in the Wangi-Wangi Complex of the Indonesian Naval Academy (AAL). The research method used is quantitative descriptive with an engineering design approach thru the stages of site survey, collection of solar energy potential data in the Surabaya area, calculation of electricity energy needs, calculation of solar panel capacity, calculation of battery capacity, and design of battery connection configuration. The research results show that the energy requirement for street lighting is 1,920 Wh/day, sourced from 8 units of 20 Watt LED lamps with an operating time of 12 hours per day. Based on the average solar radiation potential in Surabaya of 5 kWh/m²/day, the designed system requires 3 units of 200 Wp monocrystalline solar panels with a total area of approximately 4.89 m². For energy storage, 4 units of Yuasa N200 12 V 200 Ah batteries are used, configured in a series-parallel arrangement, capable of providing an effective energy of around 3,600 Wh with an estimated operating time of 22.5 hours. The research results indicate that the proposed solar power plant design is feasible to implement as an environmentally friendly, efficient alternative energy source that supports the green defense concept in the AAL environment.

Keywords: Solar Panels; Solar Power Plants (PLTS); Street Lighting; Renewable Energy; Naval Academy; Energy Efficiency.

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi listrik pada fasilitas pendidikan militer menuntut adanya solusi energi yang efisien, andal, dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk memenuhi kebutuhan lampu penerangan jalan di Komplek Wangi-Wangi Akademi TNI Angkatan Laut (AAL). Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan engineering design melalui tahapan survei lokasi, pengumpulan data potensi energi surya wilayah Surabaya, perhitungan kebutuhan energi listrik, perhitungan kapasitas panel surya, perhitungan kapasitas baterai, serta perancangan konfigurasi sambungan baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan energi penerangan jalan sebesar 1.920 Wh/hari yang berasal dari 8 unit lampu LED berdaya 20 Watt dengan waktu operasi 12 jam per hari. Berdasarkan potensi radiasi matahari rata-rata Surabaya sebesar 5 kWh/m²/hari, sistem yang dirancang memerlukan 3 unit panel surya monokristalin berkapasitas 200 Wp dengan luas total sekitar 4,89 m². Untuk penyimpanan energi digunakan 4 unit baterai Yuasa N200 12 V 200 Ah yang dikonfigurasi seri-paralel sehingga mampu menyediakan energi efektif sekitar 3.600 Wh dengan estimasi waktu operasi mencapai 22,5 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rancangan PLTS yang diusulkan layak diterapkan sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, efisien, dan mendukung konsep green defense di lingkungan AAL.

Kata kunci: Panel Surya; Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS); Lampu Penerangan Jalan; Energi Terbarukan; Akademi TNI Angkatan Laut; Efisiensi Energi.

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan energi listrik di lingkungan pendidikan militer menjadi tantangan yang harus diantisipasi melalui pemanfaatan sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Akademi TNI Angkatan Laut (AAL) sebagai lembaga pendidikan calon perwira TNI AL memerlukan sistem penerangan jalan yang andal untuk mendukung aktivitas pendidikan, pembinaan, dan keamanan lingkungan kampus selama 24 jam. Ketergantungan terhadap energi listrik yang berasal dari jaringan konvensional dapat meningkatkan biaya operasional serta berpotensi menimbulkan gangguan apabila terjadi pemadaman listrik. Oleh karena itu, pemanfaatan energi terbarukan melalui teknologi panel surya menjadi salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi energi sekaligus mendukung program ketahanan energi nasional (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral [ESDM], 2023).

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena berada di wilayah khatulistiwa dengan intensitas penyinaran matahari rata-rata mencapai 4–5,5 kWh/m² per hari. Potensi tersebut menjadikan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang paling prospektif untuk dikembangkan pada berbagai sektor, termasuk fasilitas pendidikan dan pertahanan. Pemanfaatan panel surya untuk sistem penerangan jalan telah banyak diterapkan karena mampu menghasilkan energi listrik secara mandiri, mengurangi konsumsi energi dari jaringan PLN, serta memiliki biaya operasional yang relatif rendah setelah instalasi awal dilakukan (Dewan Energi Nasional, 2023; International Energy Agency, 2023).

Komplek Wangi-Wangi AAL merupakan salah satu kawasan yang membutuhkan sistem penerangan jalan yang memadai guna menunjang keamanan, keselamatan, dan kenyamanan personel maupun taruna dalam melaksanakan aktivitas sehari-hari. Sistem penerangan jalan yang optimal tidak hanya berfungsi sebagai sarana pencahayaan, tetapi juga berperan dalam mendukung keamanan lingkungan dan efektivitas kegiatan pendidikan. Namun demikian, penggunaan listrik konvensional untuk penerangan jalan secara terus-menerus dapat meningkatkan konsumsi energi dan biaya operasional. Oleh sebab itu, diperlukan suatu kajian teknis untuk merancang sistem panel surya yang sesuai dengan kebutuhan beban penerangan jalan di kawasan tersebut sehingga dapat beroperasi secara efektif dan efisien (Suhendar et al., 2022).

Perancangan panel surya untuk lampu penerangan jalan memerlukan analisis yang komprehensif meliputi kebutuhan daya lampu, lama waktu operasi, kapasitas panel surya, kapasitas baterai, solar charge controller, serta faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi kinerja sistem. Perancangan yang tepat akan menghasilkan sistem yang mampu memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan dan memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Selain itu, pemanfaatan teknologi PLTS pada fasilitas militer juga sejalan dengan konsep green defense yang mendorong penggunaan energi ramah lingkungan dalam mendukung operasional pertahanan tanpa mengurangi efektivitas tugas pokok organisasi (IRENA, 2023; Nugroho & Prasetyo, 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian tentang “Studi Perancangan Panel Surya pada Komplek Wangi-Wangi Akademi TNI Angkatan Laut (AAL) untuk Lampu Penerangan Jalan”

menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan desain sistem panel surya yang sesuai dengan kebutuhan energi penerangan jalan di lingkungan AAL, sehingga mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, mengurangi biaya operasional, serta mendukung kebijakan penggunaan energi terbarukan pada fasilitas pendidikan dan pertahanan nasional. Hasil penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi dalam pengembangan sistem energi terbarukan pada satuan dan fasilitas TNI AL lainnya (Kementerian Pertahanan RI, 2023; ESDM, 2023).

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan perancangan teknik (*engineering design*). Metode ini digunakan untuk menghasilkan rancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang sesuai dengan kebutuhan lampu penerangan jalan pada Komplek Wangi-Wangi Akademi TNI Angkatan Laut (AAL). Pendekatan perancangan teknik dilakukan melalui tahapan identifikasi kebutuhan, pengumpulan data, analisis teknis, perhitungan komponen sistem, dan penyusunan rancangan akhir PLTS (Gonen, 2014; Messenger & Ventre, 2018).

2.1 Survei dan Identifikasi Lokasi

Tahap awal penelitian dilakukan melalui observasi lapangan untuk memperoleh gambaran kondisi jalan yang akan dipasang lampu penerangan. Kegiatan survei meliputi pengukuran panjang jalan, lebar jalan, jumlah titik lampu yang dibutuhkan, jarak antar lampu, kondisi lingkungan sekitar, serta identifikasi hambatan yang berpotensi mengurangi penerimaan radiasi matahari seperti pepohonan atau bangunan. Data hasil survei digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan pencahayaan dan konfigurasi sistem PLTS yang akan dirancang (SNI 7391:2008; Putra et al., 2022).

2.2 Pengumpulan Data Energi Matahari Wilayah Surabaya

Data potensi energi surya diperoleh melalui studi dokumentasi dan literatur dari sumber resmi seperti BMKG, Global Solar Atlas, Kementerian ESDM, dan penelitian terdahulu. Data yang dikumpulkan meliputi intensitas radiasi matahari harian ($\text{kWh/m}^2/\text{hari}$), lama penyinaran efektif atau *Peak Sun Hour* (PSH), temperatur lingkungan, dan kondisi cuaca tahunan. Data tersebut digunakan untuk menentukan kapasitas panel surya yang mampu memenuhi kebutuhan energi lampu penerangan jalan secara optimal (Global Solar Atlas, 2024; ESDM, 2023).

2.3 Perhitungan Kebutuhan Daya Listrik

Perhitungan kebutuhan energi listrik dilakukan berdasarkan jumlah lampu yang digunakan, daya masing-masing lampu, dan lama waktu operasi setiap hari. Energi listrik harian dihitung menggunakan persamaan:

$$E=P \times t$$

di mana E adalah energi listrik (Wh/hari), P adalah daya lampu (Watt), dan t adalah lama operasi (jam/hari). Hasil perhitungan ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas panel surya, baterai, dan komponen pendukung lainnya (Messenger & Ventre, 2018; Solanki, 2022).

2.4 Perhitungan Kebutuhan Solar Panel

Kapasitas panel surya dihitung berdasarkan kebutuhan energi harian dan potensi penyinaran matahari wilayah Surabaya. Persamaan yang digunakan adalah:

$$P_{PV} = \frac{E}{PSH \times \eta}$$

dengan PPV merupakan kapasitas panel surya (Wp), E adalah kebutuhan energi harian (Wh), PSH adalah *Peak Sun Hour*, dan η adalah efisiensi sistem. Perhitungan ini bertujuan untuk menentukan jumlah dan kapasitas panel surya yang diperlukan agar energi yang dihasilkan mampu memenuhi kebutuhan beban penerangan jalan (Kalogirou, 2020; Solanki, 2022).

2.5 Perhitungan Kebutuhan Baterai

Kapasitas baterai dihitung untuk menjamin kontinuitas pasokan energi pada malam hari maupun saat terjadi cuaca mendung. Persamaan yang digunakan adalah:

$$C_{bat} = \frac{E \times AD}{V \times DOD}$$

dengan Cbat adalah kapasitas baterai (Ah), E adalah kebutuhan energi harian (Wh), AD adalah jumlah hari otonomi (*autonomy days*), V adalah tegangan sistem, dan DOD adalah *Depth of Discharge* baterai. Hasil perhitungan digunakan untuk menentukan jumlah baterai dan konfigurasi penyimpanan energi yang sesuai dengan kebutuhan sistem (Messenger & Ventre, 2018; Gonen, 2014).

2.6 Perancangan Sambungan Baterai

Tahap selanjutnya adalah merancang konfigurasi sambungan baterai berdasarkan tegangan dan kapasitas yang dibutuhkan. Sambungan seri digunakan untuk meningkatkan tegangan sistem, sedangkan sambungan paralel digunakan untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan energi. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi sistem, keamanan operasi, dan kemudahan pemeliharaan sehingga sistem PLTS dapat bekerja secara optimal dan andal (Patel, 2021; Messenger & Ventre, 2018).

2.7 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan metode perhitungan teknik (*engineering calculation*) dan analisis deskriptif. Tahapan analisis meliputi analisis kebutuhan energi listrik, analisis potensi energi matahari, perhitungan kapasitas panel surya, perhitungan kapasitas baterai, serta evaluasi konfigurasi sistem PLTS yang paling sesuai untuk diterapkan pada lampu penerangan jalan di Komplek Wangi-Wangi AAL. Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk tabel, gambar rancangan sistem, dan rekomendasi teknis (Kalogirou, 2020; Solanki, 2022).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

3.1.1 Energi Matahari Wilayah Surabaya

Intensitas dan durasi sinar matahari di wilayah Surabaya sepanjang tahun berjalan 2025 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Intensitas Cahaya Matahari ilayah Surabaya

Bulan	Rata- rata Durasi Siang (jam/hari)	Estimasi Radiasi Matahari (kWh/m ² / hari)
Januari	12,4	4,5 – 5,0
Februari	12,3	4,5 – 5,0
Maret	12,1	4,7 – 5,2
April	12,0	4,8 – 5,3
Mei	11,8	5,0 – 5,5
Juni	11,4	5,2 – 5,7
Juli	11,7	5,2 – 5,7
Agustus	12,0	5,1 – 5,6
September	12,1	5,0 – 5,5
Oktober	12,2	4,8 – 5,3
November	12,3	4,7 – 5,2
Desember	12,4	4,5 – 5,0
Rata - rata Harian 1 tahun		5,00
Total radiasi 1 tahun		5,00 X 365 = 1.825
Rata - rata per jam		$= \frac{5,00 \times 1.000}{24} = 208,33 \frac{Wh}{m^2}$

3.1.2 Kebutuhan Peralatan Listrik

Pada tahap perancangan, diperlukan beberapa peralatan listrik diantaranya adalah lampu LED, panel surya dan baterai. Dibawah ini merupakan kebutuhan peralatan listrik tersebut.

Tabel 3.2 Kebutuhan Peralatan Listrik

Nama Peralatan	Jumlah	Keterangan
Lampu LED	8	Lampu LED 20Watt
Panel Surya	3	Jenis Monokristalin 200Wp
Aki	4	Aki 12V 200Ah

$$\begin{aligned} \text{Total Daya total listrik} &= 160 \text{ W} \\ \text{Daya maksimum} &= 200 \text{ W} \\ \text{Efisiensi} &= 15.7\% = 0,157 \\ \text{Dimensi perpanel} &= 1640 \text{ mm} \times 992 \text{ mm} = 1,63 \text{ m}^2 \\ \text{Intesitas radiasi matahari} &= 208,33 \text{ (Wh/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Perhitungan luas panel surya

$$P=A \times \eta \times g$$

$$A= \left[\frac{p}{(\eta \times g)} \right]$$

$$A= \left[\frac{(160)}{(0,157 \times 208,33)} \right]$$

$$A= \left[\frac{(160)}{(32,71)} \right]$$

$$A=4,89 \text{ m}^2$$

Berdasarkan perhitungan luas panel surya yang dibutuhkan adalah sekitar 4,89 m² untuk memenuhi kebutuhan daya 160 Watt dengan efisiensi 15,7 % dan radiasi 208,33 W/m² per jam.

Perhitungan jumlah kebutuhan panel :

Diketahui :

$$\text{Total luas panel} = 4,89 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas perpanel} = 1,63 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah panel} = \left[\frac{(\text{total luas})}{(\text{luas perpanel})} \right]$$

$$= \left[\frac{(4,89 \text{ m}^2)}{(1,63 \text{ m}^2)} \right]$$

$$=3 \text{ unit}$$

3.1.5 Kebutuhan Baterai

Depth of Discharge (DoD) merupakan batas kedalaman pengosongan baterai yang menunjukkan persentase kapasitas energi yang dapat digunakan dari total kapasitas baterai. Sebagai contoh, apabila baterai memiliki kapasitas 100 Ah dan digunakan sebesar 50 Ah, maka nilai DoD baterai tersebut adalah 50%. Penggunaan DoD bertujuan untuk menjaga umur pakai baterai agar tidak cepat mengalami penurunan kapasitas.

Pada perancangan sistem ini digunakan baterai N200 Yuasa 12 V 200 Ah dengan nilai DoD 50%, umur siklus sekitar 500–700 siklus, serta efisiensi kerja berkisar 70–80%.

Selanjutnya melakukan perhitungan kebutuhan baterai digunakan dengan menggunakan merk YUASA N200 (DoD 50%) :

Diketahui:

$$\text{Daya total} = 1.920 \text{ Watt}$$

$$\text{DoD} = 50\%$$

$$\text{Tegangan} = 12 \text{ V}$$

$$\text{Kapasitas} = 200 \text{ Ah}$$

$$\text{Kapasitas baterai efektif (Wh)} = \frac{(\text{Energi harian (Wh)})}{\text{DoD}}$$

$$= \left[\frac{1.920}{0,5} = 3.840 \text{ Wh} \right]$$

Konversi ke Ampere-Hour tegangan baterai 12V :

$$\text{Kapasitas baterai (Ah)} = \left[\frac{\text{Wh}}{\text{V}} = 320 \text{ Ah} \right]$$

Jumlah baterai berdasarkan kapasitas per unit (Ah):

$$\text{Jumlah baterai} = \left[\frac{\text{Ah}}{\text{Ah}} = 1,6 \Rightarrow 2 \text{ unit} \right]$$

Jadi jumlah baterai yang dibutuhkan menggunakan baterai YUASA N200 (DoD 50%) sejumlah 2 unit.

Perhitungan Jumlah baterai yang dibutuhkan menggunakan rangkaian seri dan paralel:

$$\text{Kapasitas Baterai} = 3.840 \text{ Wh}$$

$$\text{Menggunakan sistem} = 24 \text{ V}$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = \left[\frac{(3.840 \text{ Wh})}{(24 \text{ V})} = 320 \text{ Ah} \right]$$

Jika 1 baterai berkapasitas 200 Ah, 12 V :

$$\text{Baterai Seri} = \left[\frac{(24 \text{ V})}{(12 \text{ V})} = 2 \text{ string} \right]$$

$$\text{Baterai Paralel} = \left[\frac{320 \text{ Ah}}{(200 \text{ Ah})} = 1,6 = 2 \text{ string} \right]$$

Total baterai 2 baterai x 2 baterai = 4baterai

Energi efektif yang bisa digunakan:

$$\text{Energi Efektif} = \left[0,5 \times 9.600 = 4.800 \text{ Wh} \right]$$

$$\text{Efisiensi batrai (75\%)} = \left[4.800 \times 0,75 = 3.600 \text{ Wh} \right]$$

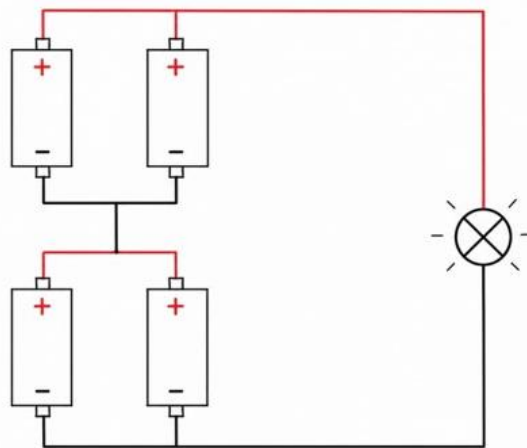
Lama pemakaian:

$$\text{Waktu} = \left[\frac{\text{Energi}}{\text{Daya}} \right]$$

$$\text{Waktu} = \left[\frac{3.600}{160} = 22,5 \text{ jam} \right]$$

3.1.6 Rangkaian / Sambungan Baterai

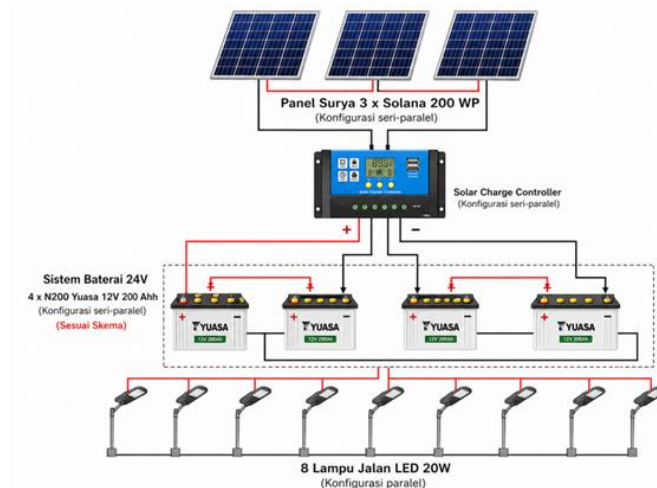
Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas baterai yang telah dilakukan, sistem penyimpanan energi pada rancangan ini menggunakan baterai N200 Yuasa 12 V 200 Ah dengan nilai *Depth of Discharge* (DoD) sebesar 50%. Dari hasil analisis kebutuhan energi dan konfigurasi rangkaian baterai secara seri dan paralel, diperoleh bahwa sistem memerlukan 4 unit baterai agar mampu menyimpan energi listrik yang cukup untuk menyuplai kebutuhan beban penerangan.



Gambar 3.2 Rangkaian/Sambungan Baterai

3.1.7 Implementasi

Setelah dilakukan perhitungan daya listrik, perhitungan kebutuhan solar panel, perhitungan kebutuhan baterai dan menggambar rangkaian/sambungan baterai, maka langkah selanjutnya adalah menggambar rangkaian keseluruhannya.



Gambar 3.3 Rangkaian Keseluruhan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang Studi Perancangan Panel Surya pada Komplek Wangi-Wangi Akademi TNI Angkatan Laut (AAL) untuk Lampu Penerangan Jalan, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan solusi yang layak dan efektif untuk memenuhi kebutuhan energi penerangan jalan di lingkungan AAL. Dengan potensi radiasi matahari rata-rata wilayah Surabaya sebesar sekitar $5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$, energi surya mampu dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi terbarukan yang mendukung efisiensi penggunaan energi listrik serta mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik konvensional.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan beban penerangan jalan sebesar 160 Watt yang berasal dari 8 unit lampu LED 20 Watt dengan waktu operasi 12 jam per hari memerlukan energi listrik sebesar 1.920 Wh/hari ($1,92 \text{ kWh/hari}$). Untuk memenuhi

kebutuhan tersebut dibutuhkan 3 unit panel surya monokristalin berkapasitas 200 Wp dengan total luas panel sekitar 4,89 m², sehingga energi yang dihasilkan dapat mencukupi kebutuhan operasional sistem penerangan jalan secara berkelanjutan.

Perancangan sistem penyimpanan energi menggunakan 4 unit baterai Yuasa N200 12 V 200 Ah yang dikonfigurasi seri-paralel untuk menghasilkan sistem 24 V dengan kapasitas penyimpanan yang memadai. Konfigurasi tersebut mampu menyediakan energi efektif sekitar 3.600 Wh dengan estimasi lama pemakaian mencapai 22,5 jam, sehingga sistem tetap dapat beroperasi pada malam hari maupun saat kondisi cuaca kurang mendukung.

Secara keseluruhan, rancangan PLTS yang dihasilkan telah memenuhi kebutuhan teknis penerangan jalan di Komplek Wangi-Wangi AAL dan dapat menjadi alternatif sumber energi yang andal, ramah lingkungan, serta ekonomis dalam jangka panjang. Selain mendukung program efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional, implementasi sistem ini juga sejalan dengan kebijakan penggunaan energi terbarukan serta konsep green defense dalam mendukung keberlanjutan fasilitas pendidikan dan pertahanan TNI Angkatan Laut.

Ucapan Terima Kasih (Opsional)

Daftar Rujukan

- Dewan Energi Nasional. (2023). *Outlook Energi Indonesia 2023*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). (2024). *Global Solar Atlas Version 3.0*. The World Bank Group.
- Gonen, T. (2014). *Electric Power Distribution Engineering (3rd ed.)*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- International Energy Agency. (2023). *Renewables 2023: Analysis and Forecast to 2028*. Paris: IEA.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). *Renewable Energy for Military Applications*. Abu Dhabi: IRENA.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2023*. Jakarta: ESDM.
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2023). *Kebijakan Pertahanan Negara Tahun 2023*. Jakarta: Kementerian Pertahanan RI.
- Kalogirou, S. A. (2020). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems (3rd ed.)*. London: Academic Press.
- Messenger, R. A., & Ventre, J. (2018). *Photovoltaic Systems Engineering (4th ed.)*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Nugroho, A., & Prasetyo, B. (2021). Implementasi energi terbarukan dalam mendukung pertahanan berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Pertahanan dan Bela Negara*, 11(2), 145–158.
- Putra, R. A., Hidayat, T., & Prabowo, A. (2022). Perancangan lampu penerangan jalan umum berbasis tenaga surya pada kawasan pendidikan. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 3(2), 101–109.
- Patel, M. R. (2021). *Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation (4th ed.)*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Solanki, C. S. (2022). *Solar Photovoltaics: Fundamentals, Technologies and Applications (4th ed.)*. New Delhi: PHI Learning.
- Suhendar, D., Kusuma, R., & Hidayat, T. (2022). Perancangan sistem penerangan jalan umum berbasis tenaga surya untuk meningkatkan efisiensi energi. *Jurnal Teknik Energi*, 12(1), 35–44.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 7391:2008. (2008). *Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

