



## Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Infrastruktur Militer guna Mendukung Ketahanan Energi Nasional



**Zahra Amalia<sup>\*</sup>, Suyono Thamrin, Sri Yanto**

Program Studi Ketahanan Energi, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan Indonesia

\*Email: zahraaml124@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.9.1.82-89>

### ABSTRACT

*Indonesia has a significant potential for renewable energy, particularly solar energy, which can be utilized to support national energy resilience, especially in military environments. This study aimed to examine how the potential of solar power plants can be optimized to support energy resilience, identify the challenges of its implementation, and evaluate its role in reducing dependence on fossil fuels. The research methodology involved a literature review from various relevant sources and data analysis to address the research questions. The findings indicate that solar power plants can improve the reliability of energy supply in military infrastructure, support independent operations, and reduce environmental impact by decreasing greenhouse gas emissions. The main challenges in implementing the solar plants include budget issues, planning, security, and technology integration. By addressing these challenges, the utilization of the solar plants in military settings can significantly contribute to national energy resilience and environmental sustainability.*

**Keywords:** Renewable Energy, Solar Power, Energy Resilience, Military Infrastructure, Energy Reliability.

### ABSTRAK

*Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan yang sangat besar, terutama energi surya, yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung ketahanan energi nasional, terutama di infrastruktur militer. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana potensi PLTS dapat dioptimalkan untuk mendukung ketahanan energi, mengidentifikasi tantangan implementasinya, dan mengevaluasi perannya dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Metodologi penelitian menggunakan metode kualitatif yaitu dengan kajian literatur dari berbagai sumber yang relevan dan analisis data untuk menjawab pertanyaan penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTS dapat meningkatkan keandalan pasokan energi di infrastruktur militer, mendukung operasi independen, dan mengurangi dampak infrastruktur dengan mengurangi emisi gas rumah kaca. Tantangan utama dalam implementasi PLTS meliputi masalah anggaran, perencanaan, keamanan, dan integrasi teknologi. Dengan mengatasi tantangan ini, pemanfaatan PLTS di infrastruktur militer dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap ketahanan energi nasional dan keberlanjutan infrastruktur.*

**Kata Kunci:** Energi Baru Terbarukan, Energi Surya, Ketahanan Energi, Infrastruktur Militer, Keandalan Energi.

### PENDAHULUAN

Dengan luas wilayah yang besar, Indonesia memiliki daratan seluas 1,9 juta km<sup>2</sup> dan lautan yang meliputi 3,2 juta km<sup>2</sup> dengan lebih dari 17.000 pulau besar maupun kecil (Hasanah, 2020). Sumber daya alam melimpah di daratan dan perairan telah menjadikan Indonesia sebagai

objek persaingan sejak zaman sebelum kemerdekaan. Potensi energi menjadi faktor penting dalam mendukung keberlangsungan negara ini.

Secara keseluruhan, energi dapat dikelompokkan menjadi dua jenis utama: energi

baru terbarukan dan energi tidak terbarukan. Energi tidak terbarukan berasal dari sumber daya alam yang terbatas, yang berarti akan habis dalam jangka waktu tertentu. Energi tersebut merupakan jenis energi yang umumnya digunakan sehari-hari, seperti batubara dan minyak bumi. Di sisi lain, energi baru terbarukan menjadi alternatif untuk menggantikan energi tidak terbarukan. Jenis energi ini diperoleh dari sumber alam yang tidak terbatas dalam jumlahnya dan tidak akan habis, seperti air, angin, panas matahari, dan gelombang laut. Diharapkan bahwa secara bertahap energi baru terbarukan ini dapat menjadi pengganti energi fosil, mengingat kelangkaan energi fosil dan kemajuan teknologi (Sidi, 2016).

Di Indonesia, manajemen energi baru terbarukan saat ini mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam regulasi ini, disebutkan bahwa target kontribusi energi baru terbarukan dalam bauran energi optimal pada tahun 2025 diharapkan mencapai 23%, setara dengan 92,2 juta ton minyak setara (MTOE). Sementara itu, kontribusi batubara diharapkan mencapai lebih dari 30%, gas sekitar 22,2%, dan bahan bakar minyak (BBM) di bawah 25% (Sianipar, 2022). Potensi energi baru terbarukan Indonesia tersebar luas di seluruh wilayahnya, meliputi sumber energi seperti surya, air, mikrohidro, angin, panas bumi, gelombang laut, dan biomassa. Berikut adalah tabel yang menunjukkan potensi energi baru terbarukan di Indonesia:

**Tabel 1.** Potensi Energi Baru Terbarukan di Indonesia (*Ditjen EBTKE*)

Potensi EBT	Kapasitas
Surya	3.295 GW
Angin	155 GW
Panas Bumi	23 GW
Hidro/air	95 GW
Bioenergi	57 GW
Arus laut	142 GW

Negara Indonesia terletak di sepanjang garis khatulistiwa, yang menyebabkan negara ini memiliki sumber daya energi surya yang sangat melimpah. Dari data yang terdapat di tabel sebelumnya, dapat dilihat bahwa kapasitas

potensi energi surya di Indonesia jauh lebih besar daripada sumber energi yang lainnya.

Potensi energi surya yang besar ini memberikan kesempatan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik untuk mendukung berbagai sektor seperti industri, pertanian, perdagangan, dan pertahanan. Namun, dalam penggunaannya, tantangan praktis yang dihadapi adalah biaya bahan silikon untuk mengonversi cahaya menjadi listrik, dan kebutuhan akan lahan yang luas untuk pembangkit listrik tenaga surya.

Ketergantungan pada pasokan listrik dari PLN merupakan salah satu ancaman yang harus diantisipasi. Contohnya pada kasus pemadaman listrik Jawa pada tahun 2019, yang mengakibatkan terjadinya kerusakan pada transmisi atau berhentinya pasokan solar sebagai bahan bakar diesel dapat menyebabkan infrastruktur militer mengalami *blackout*. Peran energi sangat penting, sehingga dikatakan bahwa negara yang memiliki banyak energi dan cadangan energi dapat mempengaruhi dunia. Salah satu pendekatan inovatif yang sedang berkembang untuk meningkatkan ketahanan energi nasional agar mengurangi dampak dari ancaman adalah konsep *Military Microgrid* yang memanfaatkan energi baru terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di infrastruktur militer untuk mendukung pertahanan dan ketahanan negara (Junihartomo, 2022).

Teknologi *microgrid* adalah sistem pembangkit listrik terdistribusi yang menggabungkan berbagai sumber energi, termasuk teknologi bahan bakar fosil yang bersih dan efisien serta energi baru terbarukan seperti panel surya dan bahan bakar. *Microgrid* dapat diterapkan di pusat perbelanjaan, kawasan industri, kampus, atau pemukiman terpencil, berfungsi sebagai unit beban listrik yang dapat dikontrol ukurannya (Marpaung, 2020). Dalam konteks infrastruktur militer, *microgrid* digunakan untuk mendukung operasional pangkalan militer yang terisolasi atau berada di daerah yang belum teraliri listrik.

*Microgrid* terdiri dari beberapa komponen utama. Pertama, *Distributed Generation (Micro Source)* merupakan sumber energi yang tersebar, seperti pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dan pembangkit listrik tenaga bahan bakar (PLTB).

Kemudian, Energy Storage berperan sebagai media penyimpan energi utama dalam *microgrid*, dengan baterai menjadi pilihan yang paling umum karena teknologinya yang telah matang (Marpaung, 2020). Terakhir, *Smart Grid* merupakan teknologi yang memungkinkan monitoring dan kontrol sistem *microgrid* secara *real-time*, menggunakan teknologi informasi seperti *Internet of Things (IoT)* dan *Big Data Analytics* untuk meningkatkan efisiensi operasional dan responsivitas system (Yunando, 2019).

Penggunaan *microgrid* dalam infrastruktur militer memiliki beberapa kelebihan. Pertama, *microgrid* mampu beroperasi secara independen, sehingga tidak bergantung pada jaringan listrik utama yang rentan terhadap serangan musuh, memberikan kemandirian energi. Kedua, *microgrid* dapat menurunkan biaya operasional dengan memanfaatkan sumber energi baru terbarukan dan teknologi penyimpanan energi yang efisien, sehingga menciptakan efisiensi biaya. Ketiga, *microgrid* dapat meningkatkan kualitas daya dengan mengurangi kerugian daya serta meningkatkan efisiensi dalam pembangkitan dan distribusi energi (Yunando, 2019).

Meskipun demikian, *microgrid* memiliki sejumlah tantangan terutamadalam memenuhi kebutuhan daya peralatan militer yang sangat induktif dan sering kali tidak stabil, yang memerlukan sistem pemantauan dan kontrol yang canggih (Wali, 2022). Selain itu, kerentanan terhadap ancaman keamanan siber akibat pertukaran informasi yang intens dalam komponen *microgrid* menimbulkan risiko signifikan terhadap infrastruktur kritis (Kraemer, 2022). Walaupun *microgrid* umumnya andal, ketahanannya terhadap gangguan seperti bencana alam atau serangan siber bisa rendah, sehingga diperlukan model evaluasi yang kuat dan validasi eksperimental (He, 2022). Desain *microgrid* kritis untuk aplikasi militer membutuhkan ketahanan tinggi, keamanan energi, dan kemampuan untuk beroperasi dalam mode terhubung ke jaringan dan terisolasi, yang memerlukan sumber daya yang redundan dan dapat diandalkan (Castelo Branco, 2022). Koordinasi antara konverter elektronik daya dalam *microgrid* militer, seperti yang ada di pesawat listrik dan sistem kapal, sangat penting

untuk mencegah intrusi berbahaya yang dapat membahayakan tujuan penting misi dan menimbulkan risiko bagi keamanan nasional (Rath, 2022).

Contoh penggunaan sistem *microgrid* di infrastruktur militer adalah pada pangkalan udara militer Lanud Sutan Sjahrir, yang menggunakan solar power plants sebagai sumber daya energi baru terbarukan. Konfigurasi *microgrid* yang digunakan terdiri dari PLN + PLTS + PLTD + Baterai, yang dilengkapi dengan sistem kontrol/kendali dan sistem keamanan khusus untuk menanggulangi sistem *microgrid* dari serangan siber (Istiqamah, 2024). Dalam beberapa tahun ke depan, pertumbuhan utilisasi energi baru terbarukan akan menjadi *driving force* utama pertumbuhan *microgrid*, sehingga dimungkinkan produksi masal dalam jumlah besar. Dari konteks tersebut, timbul beberapa pertanyaan penelitian, yaitu:

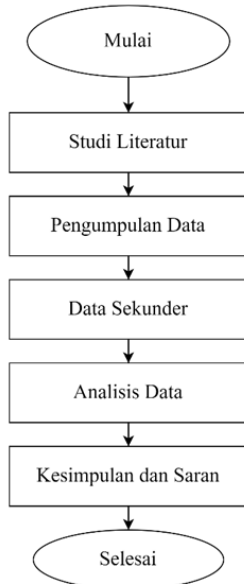
1. Bagaimana potensi pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya di infrastruktur militer?
2. Apa saja hambatan yang muncul dalam menerapkan pemanfaatan energi surya berbasis terbarukan di infrastruktur militer?
3. Bagaimana kontribusi penggunaan energi surya berbasis terbarukan di infrastruktur militer dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil?

Tujuan dari kajian pustaka ini adalah untuk memahami bagaimana potensi penggunaan PLTS di infrastruktur militer dapat dioptimalkan guna mendukung ketahanan energi nasional, untuk mengidentifikasi berbagai kendala yang dihadapi dalam penerapan penggunaan PLTS di infrastruktur militer, serta untuk mengetahui peran penggunaan PLTS di infrastruktur militer dalam mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Diharapkan hasil kajian ini dapat memberikan manfaat yang sesuai dengan tujuan penelitian.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif, dengan melakukan kajian literatur secara sistematis. Prosesnya meliputi pencarian literatur, penyaringan, serta ekstraksi data. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang berasal dari berbagai macam sumber seperti:

jurnal, buku, penelitian sebelumnya, artikel ilmiah, dan berita. Untuk lebih jelasnya dapat melihat diagram alir berikut:



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

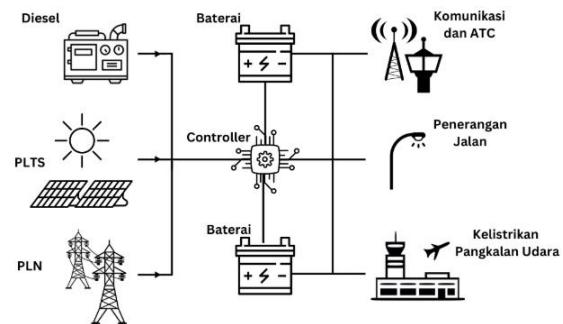
**1. POTENSI PEMANFAATAN PLTS DI INFRASTRUKTUR MILITER**

Penggunaan energi baru terbarukan berbasis tenaga surya di infrastruktur militer bertujuan untuk meningkatkan ketahanan energi nasional. Ini juga membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak negatif infrastruktur. Salah satu cara untuk menilai potensi penggunaan energi baru terbarukan berbasis tenaga surya di infrastruktur militer adalah melalui penelitian dan analisis. Dengan melakukan studi tersebut, potensi penggunaan energi baru terbarukan berbasis tenaga surya di infrastruktur militer dapat diidentifikasi dan ditingkatkan untuk meningkatkan keandalan energi (Kurniawan, 2016).

Sebuah penelitian oleh (Istiqamah, 2024) mengungkapkan bahwa potensi PLTS di Lanud Sutan Sjahrir sudah dilakukan proses pengolahan data radiasi matahari harian rata-rata dengan menggunakan aplikasi RETScreen. Diperoleh bahwa radiasi harian sebesar 4,91 kWh/m<sup>2</sup>/hari, total potensi PLTS mencapai 1.201,2 kWp dengan energi yang dihasilkan sebesar 5.855,12 kWh/hari. Ini cukup untuk

memenuhi kebutuhan listrik Mako 100%. Sementara pada penelitian (Maulana, 2024) diperoleh potensi pemanfaatan PLTS di wilayah Satuan Radar 215 sebesar 4,80 kWh/m<sup>2</sup>/hari, penelitian menunjukkan kebutuhan listrik radar sebesar 18,4 kWh dapat dipenuhi dengan panel surya berkapasitas 100 Wp dan 35 unit baterai berkapasitas 60 Ah. Dari kedua penelitian, potensi PLTS yang dihasilkan di kedua lokasi tersebut mampu memenuhi kebutuhan listrik infrastruktur militer yang dibutuhkan.

Selain mengukur tingkat radiasi harian matahari, pada penelitian (Istiqamah, 2024) juga melakukan perhitungan terkait kapasitas PLTS yang dibutuhkan, dengan total potensi sebesar 1.150,2 kWp dan energi yang diproduksi sebanyak 5.388,6 kWh/hari. Maka dapat dikatakan bahwa PLTS di Lanud Sutan Sjahrir dapat memenuhi kebutuhan listrik sebesar 100% terutama untuk sektor prioritas (Markas Komando). Untuk mengantisipasi gangguan listrik utama (*blackout*) diperlukan konsep *microgrid* dengan mengombinasikan pembangkit PLN, PLTS, baterai, dan genset. Berikut adalah gambaran contoh konsep *microgrid* yang digunakan pada Pangkalan Udara Militer:



**Gambar 2.** Konsep *Microgrid* pada Pangkalan Udara Militer (Junihartomo, 2022)

Sistem tersebut diharapkan dapat menghubungkan tiap-tiap sektor prioritas seperti Mako, Disops, Dukopsbang, dan Senkom. Konsep *microgrid* ini di desain memiliki pusat kontrol sehingga dapat melakukan substitusi pasokan listrik ataupun memonitoring jaringan listrik jarak jauh (Junihartomo, 2022). Selain itu, konsep ini juga dapat berfungsi lebih baik tanpa penyimpanan, apabila sebuah infrastruktur militer dapat menggunakan energi baru terbarukan untuk seluruh periode cadangan

(masa yang diperlukan untuk menyediakan daya listrik yang diperlukan pada suatu waktu tertentu) (Al, 2022).

## 2. HAMBATAN PENGGUNAAN PLTS PADA INFRASTRUKTUR MILITER

Dalam implementasinya, seringkali ditemukan sejumlah hambatan atau kendala terkait pemanfaatan energi baru terbarukan berbasis PLTS di infrastruktur militer, antara lain:

### a. Ketergantungan pada Sumber Energi Konvensional

Infrastruktur militer seringkali sangat bergantung pada listrik dari perusahaan listrik nasional atau generator diesel, yang dapat menjadi masalah saat terjadi gangguan listrik atau dalam kondisi darurat seperti perang atau bencana alam (Junihartomo, 2022). Untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional, diperlukan edukasi bagi masyarakat umum agar beralih ke energi baru terbarukan. Selain itu, dukungan dan penerimaan dari masyarakat serta instansi terkait terhadap penggunaan energi baru terbarukan dalam infrastruktur militer juga sangat penting. Oleh karena itu, dibutuhkan sosialisasi dan penjelasan mengenai manfaat serta dampak infrastruktur dari proyek tersebut untuk mendapatkan dukungan yang luas. Sehingga, segera mungkin infrastruktur militer dapat beralih ke energi baru terbarukan guna mendukung transisi energi fosil ke energi baru terbarukan (Saputra, 2022).

### b. Keamanan dan Ketahanan

Keamanan pasokan energi sangat penting dalam operasi militer. Teknologi *microgrid* harus bisa menyediakan energi yang handal dan memadai, terutama saat operasi mandiri tanpa sambungan ke jaringan listrik utama. Ini sangat penting untuk mempertahankan ketahanan dan keandalan operasional militer. (Capkun, 2022). Terkait instalasi, operasional, dan pemeliharaan PLTS, pelatihan khusus diperlukan untuk sumber daya manusia yang terlibat agar implementasi PLTS dapat berjalan lancar. Tantangan lain yaitu wilayah yang terbatas, seperti yang dialami oleh Satuan Radar 215 Congot, yang memengaruhi pembangunan panel surya untuk memenuhi kebutuhan energi Radar. Hal ini dapat

berdampak negatif pada keamanan dan ketahanan energi (Maulana, 2024).

### c. Masalah Anggaran dan Perencanaan

Pendanaan dan perencanaan yang memadai menjadi tantangan utama, termasuk pengalokasian anggaran yang cukup dan strategi perencanaan jangka panjang untuk memastikan implementasi dan operasi yang efektif dari sistem PLTS dan *microgrid* di infrastruktur militer. Masalah anggaran dan perencanaan seringkali menjadi kendala utama bagi infrastruktur militer dalam membangun PLTS (Junihartomo, 2022). Misalnya, wilayah Kodam III/Siliwangi menghadapi tantangan utama dalam pengembangan PLTS, yaitu investasi awal yang tinggi dan biaya per kWh listrik yang relatif mahal. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan subsistem seperti baterai, unit pengatur, dan inverter yang harus sesuai dengan kebutuhan energi (Yulianto, 2023).

### d. Integrasi & Konektivitas Teknologi

Tantangan teknis dalam integrasi dan konektivitas antara berbagai sistem energi dan infrastruktur teknologi informasi juga perlu diperhatikan, terutama dalam meningkatkan keandalan dan keamanan sistem kelistrikan militer terhadap potensi ancaman *cyber* (Junihartomo, 2022). Keterbatasan infrastruktur kelistrikan seperti transmisi PLN akan menjadi hambatan, terutama di daerah-daerah yang belum terjangkau listrik PLN. Oleh karena itu, diperlukan partisipasi pemerintah daerah, sektor swasta, dan pihak lainnya dalam pengembangan energi baru terbarukan (EBT) skala kecil-menengah, terutama untuk wilayah 3T (Sianipar, 2022).

## 3. PERAN PENERAPAN ENERGI BARU TERBARUKAN BERBASIS TENAGA SURYA PADA INFRASTRUKTUR MILITER

Penggunaan energi baru terbarukan berbasis tenaga surya pada infrastruktur militer memiliki peran penting dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Dengan memanfaatkan energi bersih seperti tenaga surya, infrastruktur militer dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang mahal dan langka, serta mengurangi jejak karbon. Berikut

adalah beberapa peran penggunaan energi baru terbarukan berbasis tenaga surya pada infrastruktur militer:

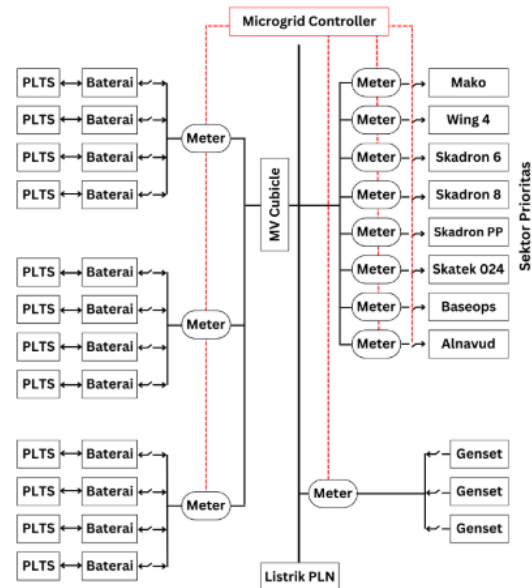
a. Meningkatkan Keandalan Energi

Pemasangan panel surya membantu memastikan pasokan listrik yang stabil dan andal untuk operasional radar, karena radar harus berfungsi 24 jam non-stop. Penggunaan energi surya dapat mengurangi ketergantungan pada genset bertenaga diesel yang tidak hanya mahal, tetapi juga kurang ramah infrastruktur (Maulana, 2024). Dengan menggunakan konsep *military microgrid*, keandalan energi di infrastruktur militer dapat ditingkatkan. Hal tersebut penting mengingat infrastruktur militer memerlukan pasokan energi yang stabil dan andal untuk memastikan operasional yang efektif dan efisien. *Microgrid*, dengan menggunakan berbagai sumber energi termasuk panel surya (PLTS), dapat memenuhi kebutuhan ini. PLTS dalam *microgrid* membantu meningkatkan keandalan energi, mengurangi ketergantungan pada energi fosil, dan meningkatkan kemandirian energi militer. Pertumbuhan penggunaan energi baru terbarukan di masa depan diharapkan akan menjadi pendorong utama perkembangan *microgrid*, memungkinkan produksi energi dalam skala besar dengan efisiensi biaya yang signifikan (Al, 2022).

b. Mendukung Operasi Independen

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki peran penting dalam mendukung operasi militer yang independen di berbagai infrastruktur. Dengan kemampuan untuk beroperasi secara mandiri, khususnya melalui konsep *microgrid*, PLTS memungkinkan infrastruktur militer untuk menjaga keandalan pasokan energi mereka bahkan dalam situasi darurat atau saat terputus dari jaringan listrik utama (Sianipar, 2022). Ini sangat krusial karena dapat memastikan kelancaran operasi militer tanpa tergantung pada sumber energi eksternal yang mungkin tidak stabil atau terganggu. Sistem *microgrid* berbasis PLTS di Lanud Atang Sendjaja, sebagai contoh, dirancang untuk dapat beroperasi dalam mode pulau (*Island Mode*) yang memungkinkan infrastruktur tersebut tetap berfungsi sepenuhnya saat terjadi pemadaman listrik atau situasi serupa lainnya (Junihartomo,

2022). Berikut adalah konsep *military microgrid* di Lanud Atang Sendjaja:



**Gambar 2.** Konsep *Microgrid* pada Pangkalan Udara Militer (Junihartomo, 2022)

c. Mengurangi Dampak Infrastruktur

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berperan penting dalam mengurangi dampak infrastruktur di infrastruktur militer. Penggunaan energi surya membantu mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK), mendukung ketahanan energi, dan keberlanjutan dengan menggantikan bahan bakar fosil yang lebih berpolusi (Maulana, 2024). Energi surya sangat berperan dalam mengurangi GRK, salah satu cara efektif untuk mengurangi emisi GRK yaitu dengan menggunakan energi surya sebagai energi alternatif pengganti sumber energi fosil yang memproduksi emisi GRK (Pratama, 2019). Penerapan *Military Microgrid* yang memanfaatkan PLTS di Direktorat Topografi TNI Angkatan Darat mendukung keandalan dan kebersihan energi. Hal ini secara langsung membantu pemerintah dalam mengurangi emisi GRK sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (Manurung, 2023).

## KESIMPULAN

Pemanfaatan energi baru terbarukan berbasis tenaga surya di infrastruktur militer memiliki potensi besar dalam mendukung ketahanan energi nasional Indonesia. Dengan melimpahnya potensi energi surya, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan dampak negatif terhadap infrastruktur. Namun, penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di infrastruktur militer menghadapi tantangan seperti biaya tinggi, kebutuhan lahan luas, dan keamanan pasokan energi. Namun, melalui konsep microgrid, keandalan energi bisa ditingkatkan, mendukung operasi militer yang mandiri dan mengurangi risiko terjadinya pemadaman listrik. Selain itu, dukungan kebijakan dan perencanaan yang memadai sangat penting untuk mengatasi kendala dalam penerapannya, serta dibutuhkan pelatihan khusus bagi sumber daya manusia yang terlibat. Secara keseluruhan, pemanfaatan energi baru terbarukan yang berbasis tenaga surya dalam infrastruktur militer tidak hanya mendukung ketahanan energi nasional, tetapi juga berkontribusi pada upaya global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al, W. (2022). *Infrastruktur Teknologi Energi dan Operasional Untuk Militer : Studi Kasus Kementerian Pertahanan Amerika Serikat*. 6(2), 2857–2866.
- Capkun, A. (2022). *Overview of RETScreen Expert Platform*. Energy Manager Canada. <https://www.energy-manager.ca/overview-of-retscreen-expert-platform-20-min/>
- Danisworo, Yoegiantoro, D., & Thamrin, S. (2022). Pemanfaatan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Lantamal III Jakarta Mendukung Pertahanan Negara. *Ketahanan Energi*, 8(2), 1–16. <https://jurnalprodi.idu.ac.id/index.php/KE/article/view/4463>
- Gunawan, A. (2022). *Pengembangan Keterampilan dan Pengetahuan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di TNI AL*. Universitas Pertahanan Indonesia.
- He, J. J. (2022). Experimental Validation of Systems Engineering Resilience Models for Islanded Microgrids. *Systems*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/systems10060245>

- Istiqamah, D. A. (2024). Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pangkalan Udara Sutan Sjahrir dengan Konsep Military Microgrid Guna Mendukung Ketahanan Energi dan Pertahanan Negara. In *Kilat* (Vol. 9, Issue 1). <https://doi.org/10.33322/kilat.v9i1.888>
- Junihartomo, M. T. C. (2022). *Pemanfaatan Military Microgrid Berbasis Tenaga Surya di Pangkalan TNI AU Atang Sendjaja untuk Mendukung Ketahanan Energi dan Pertahanan Negara*. Universitas Pertahanan Indonesia.
- Kraemer, R. A. (2022). Cost and Cybersecurity Challenges in the Commissioning of Microgrids in Critical Infrastructure: COGE Case Study. *Energies*, 15(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/en15082860>
- Kurniawan, I. A. (2016). *Analisa Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Pemanfaatan Lahan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton*. 10–11.
- Manurung, J. P. (2023). *Pemanfaatan PLTS di Direktorat Topografi TNI Angkatan Darat Untuk Mendukung Ketahanan Energi*. 2023. <http://jurnal.stieama.ac.id/index.php/ama/article/view/142/133>,
- Marpaung, C. O. P. (2020). Perancangan Sistem Microgrid Untuk Mempercepat Akses Terhadap Energi Listrik (Energy Access) Pada Kawasan Wisata Setu Rawalumbu Kota Bekasi. *JURNAL ComunitÃ Servizio : Jurnal Terkait Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat, Terkhusus Bidang Teknologi, Kewirausahaan Dan Sosial Kemasyarakatan*, 2(1), 352–378. <https://doi.org/10.33541/cs.v2i1.1659>
- Maulana, R. C. (2024). *Pemanfaatan Energi Terbarukan Tenaga Surya Untuk Operasional Radar di Satuan Radar 215 TNI AU Congot Daerah Istimewa Yogyakarta Dalam Mendukung Pertahanan Negara*. Universitas Pertahanan.
- Nugroho, A. D. (2024). Perencanaan PLTS Atap dalam Memenuhi Kebutuhan Energi Peralatan Kritis Pertahanan di Lanud Husein Sastranegara Bandung. In *Pertahanan, Fakultas Manajemen Studi, Program Energi, Ketahanan*.
- Pratama, R. J. (2023). Dampak Optimasi Pemanfaatan Plts Terhadap Ketahanan

- Energi Satuan Di Kodam Xii/Tpr. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 29(1), 1.  
<https://doi.org/10.22146/jkn.80314>
- Rath, S. (2022). Microgrids in mission-critical applications. *Cyber Security for Microgrids*, 39–58.  
[https://doi.org/10.1049/pbpo196e\\_ch3](https://doi.org/10.1049/pbpo196e_ch3)
- Saputra, A. B. (2022). *Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Gedung S1 Universitas Pertahanan RI Sentul untuk Mendukung Smart Energy Building*. Universitas Pertahanan Indonesia.
- Sianipar, R. (2022). Pemanfaatan Energi Terbarukan Surya, Angin, Dan Air Di Pusat Latihan Tempur Marinir-5 Tni Angkatan Laut Baluran Jawa Timur Dengan Konsep Military Microgrid Guna Mendukung Pertahanan Negara. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Yulianto, J. (2023). *Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Mendukung Untuk Sistem Komunikasi Wilayah: Kodam III/Siliwangi Dalam Rangka Pertahanan Negara Pertahanan Negara*. Universitas Perintahan Indonesia.
- Yunando, Y. (2019). Studi Microgrid System Menuju Pembangunan Desa Mandiri Energi Di Desa Temajuk Kabupaten Sambas. *Elkha*, 10(1), 6.  
<https://doi.org/10.26418/elkha.v10i1.25277>