

Infrastruktur Teknologi Energi dan Operasional Untuk Militer: Studi Kasus Kementerian Pertahanan Amerika Serikat

Willy Al Kusari¹ Mohamad Ikhwan Syataria² Yanif Dwi Kuntjoro³ Muhamad Azwar⁴

Ketahanan Energi, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia^{1,2,3}

Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia⁴

Email: willyalkusari7@gmail.com¹

Abstrak

Infrastruktur energi merupakan struktur kebutuhan sistem fisik publik dan swasta yang digunakan untuk produksi, transformasi, konversi, transportasi atau distribusi energi. Dalam hal teknologi energi, banyak terjadi pengembangan teknologi energi seperti, PV, *smart-grid* dan sebagainya. Dalam infrastruktur energi untuk militer diperlukan infrastruktur yang memiliki efisiensi tinggi dan andal. Pada penelitian ini, penulis membandingkan teknologi saat ini yang digunakan dalam infrastruktur militer dan proyeksi teknologi infrastruktur energi masa depan berdasarkan *literature review*. Sistem distribusi sumber energi berbasis generator sel bahan bakar, hidrogen, dan sistem penyimpanan energi diprediksi akan menjadi energi untuk militer masa depan berdasarkan jaringan *smart-grid*.

Kata Kunci: Energi, Infrastruktur, Mikrogrid, Militer, Teknologi.

Abstract

Energy infrastructure is a structure of the needs of public and private physical systems used for the production, transformation, conversion, transportation or distribution of energy. In terms of energy technology, there is a lot of development of energy technology such as, PV, smart-grid and so on. In the energy infrastructure for the military is needed infrastructure that has high efficiency and reliability. In this study, the authors compared the current technology used in military infrastructure and projections of future energy infrastructure technologies based on literature review. The distribution system of energy sources based on fuel cell generators, hydrogen, and energy storage systems is predicted to be energy for the military of the future based on smart-grid networks.

Keywords: Energy, Infrastructure, Microgrids, Military, Technology.



Ciptaan disebarluaskan di bawah [Lisensi Creative Commons Atribusi-BerbagiSerupa 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Infrastruktur energi merupakan kunci kemajuan untuk masyarakat modern dan berkembang. Meskipun tidak ada definisi standar infrastruktur energi yang tersedia, telah diartikan dengan cara dan konteks yang berbeda dalam tiap negara. Menurut Komisi Eropa (Schuh et al., 2012), infrastruktur energi meliputi infrastruktur transmisi, distribusi, penyimpanan untuk listrik, gas, dan minyak misalnya *smart-grid* listrik, transmisi gas dan pipa distribusi, fasilitas penyimpanan gas bawah tanah, fasilitas regasifikasi atau dekompresi untuk gas alam cair, pipa minyak dan stasiun pompa serta CO₂ jaringan pipa.

Infrastruktur energi pada suatu negara adalah pendorong utama penciptaan lapangan kerja, pertumbuhan “apa” dan daya saing di seluruh sisi ekonomi. Penggunaan jaringan transmisi dan distribusi tenaga listrik yang modern, fleksibel dan aman serta jaringan pipa minyak dan gas alam, dan fasilitas penyimpanan sangat penting dapat memberikan energi yang terjangkau dan dapat diandalkan untuk kepentingan bisnis, mempromosikan pertumbuhan di sektor ekonomi, dan mendukung industri energi domestik dan begitu pun sektor pertahanan dan keamanan diperlukan infrastruktur yang andal & efisien. (API, n.d.)

Dalam instalasi infrastruktur energi untuk memenuhi kebutuhan fasilitas militer harus memastikan bahwa infrastruktur yang berjarak dekat instalasi militer yang kompatibel dengan kegiatan operasionalnya seperti uji dan pelatihan. Instalasi infrastruktur energi di sektor militer biasanya menggunakan transmisi langsung (*on-grid*) untuk yang dekat dengan transmisi & distribusi energi final baik regional maupun nasional untuk basis militer/pangkalan militer pada umumnya menggunakan jaringan listrik daerah dan/atau nasional. Namun, ada juga yang berbasis transmisi eksternal berbasis komunitas (*off-grid*) yang pada umumnya menggunakan generator diesel sebagai pemasok energinya. Dalam daerah operasional militer yang maju umumnya menggunakan mikrogrid untuk pemenuhan energi di pangkalannya dengan basis generator diesel. (Cities & Installations, 2012)

Berbagai sumber pembangkit listrik dapat digunakan sebagai mikrogrid. Banyak mikrogrid militer menggunakan jaringan eksternal sebagai sumber daya utama mereka. Sebagian besar mikrogrid juga mencakup satu atau lebih sumber daya energi terdistribusi (DER) yang merupakan sumber pembangkit energi lokal seperti generator berbasis bahan bakar fosil dan pembangkit listrik (turbin gas, pembangkit minyak, generator diesel, pembangkit batubara, dan lain-lain), sumber daya terbarukan (matahari, angin, mikro hidro, tenaga gelombang, dan lain-lain), dan sumber lainnya (sel bahan bakar dengan berbagai sumber bahan bakar, pembangkit listrik insinerator sampah, pembangkit biomassa, dan lain-lain). Kadang-kadang, sumber pembangkit yang tidak konvensional seperti kendaraan hibrida *plug-in* dapat digunakan untuk menghasilkan energi (Giachetti et al., 2020).

METODE PENELITIAN

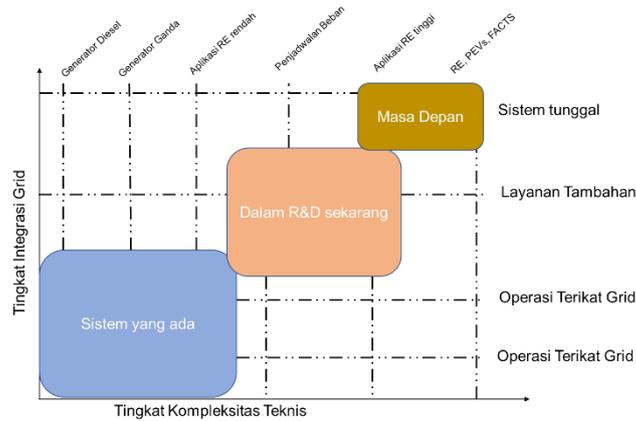
Kategori penelitian ini adalah ringkasan atau tinjauan pustaka—mengumpulkan beberapa konsep yang terkandung dalam korpus literatur tentang topik tertentu. Pada penelitian ini dilakukan metode perekapan dan evaluasi apa yang telah ditulis sebelumnya tentang suatu subjek oleh orang lain tanpa berusaha memberikan wawasan analitis yang unik. Ringkasan-ringkasan populer di buku teks, yang sering berusaha memberikan pemahaman tentang luasnya konsep yang ditemukan dalam literatur. Selain itu, melalui tugas-tugas yang diberikan berupa ringkasan ikhtisar sebagai tugas kursus. Sifatnya luas dan seimbang, karena sering kali tidak bertentangan dengan yang lain (Harris, 2019).

Ringkasan atau tinjauan pustaka, yang diartikan sebagai serangkaian penelitian yang berkaitan dengan metode pengumpulan literatur atau data penelitian, dengan objek penelitian dipelajari melalui pengamatan pada penelitian sebelumnya. Prosedur yang digunakan adalah studi kepustakaan deskriptif, yang dimulai dengan pengumpulan dan pemilihan data, dilanjutkan dengan analisis data, dan diakhiri dengan penulisan laporan. Dengan tujuan untuk mengidentifikasi infrastruktur energi dan teknologi operasional untuk militer saat ini dan masa depan, data akan dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk buku, jurnal, anekdot, internet, makalah, dan referensi pendukung lainnya yang dipilih berdasarkan relevansinya dan akan digunakan dalam penelitian ini.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Dalam melaksanakan kegiatan operasionalnya yang bersifat produktif pada departemen pertahanan, termasuk di dalamnya fasilitas militer, basis militer dan pangkalan militer sangat membutuhkan energi untuk kegiatan operasionalnya misalnya komunikasi, radar pemantau, penerangan, koneksi jaringan internet dan kegiatan penting lainnya sangat membutuhkan energi final dalam bentuk listrik. Maka dari itu diperlukan infrastruktur energi yang memadai supaya tidak mengganggu kegiatan operasional pertahanan.



Keterangan: RE: *Renewable Energy* (Energi Terbarukan), PEVs: *private passenger Electric Vehicles* (Kendaraan Listrik penumpang pribadi)

Gambar 1. Fokus integrasi grid yang ada dan prospek grid di masa depan (Van Broekhoven et al., 2013)

Pada Gambar 1 memperlihatkan bagaimana sistematika untuk pemenuhan listrik di departemen pertahanan, dalam memenuhi jaringan listrik sangatlah dipengaruhi oleh wilayahnya. Di satu sisi, apabila pada wilayah tersebut terintegrasi dengan infrastruktur jaringan listrik daerah maka kebutuhan listrik akan tercukupi. Di sisi lain yang akan menjadi masalah apabila tidak tersedianya infrastruktur energi di wilayah tersebut yang dapat mengancam kegiatan operasional militer.

Untuk pemenuhan energi di fasilitas militer, sebagian besar basis operasi depan militer ditenagai oleh generator individual. Generator ini biasanya berada di dalam wadah (lihat Gambar 2). Mereka memberi daya ke fasilitas tertentu (misalnya klinik medis) atau peralatan (misalnya lemari es), atau ke sekelompok struktur (misalnya area perumahan – lihat Gambar 2 untuk tipikal kontainer). Biasanya, bahan bakar minyak bumi digunakan sebagai sumber energi di mana bahan bakar minyak biasanya tidak tersedia dari pipa dan harus dibawa ke lokasi dengan mobil tangki atau truk tangki (Touš et al., 2021).



Gambar 2. Generator listrik di basis militer (Touš et al., 2021)

Koneksi infrastruktur jaringan internet dan listrik sering tidak tersedia di lokasi terpencil. Akibatnya, generator diesel biasanya digunakan di pangkalan militer terpencil menghasilkan listrik secara mikrogrid. Gangguan apa pun dalam pasokan solar dapat berdampak parah pada operasi pangkalan militer (Chakraborty et al., 2020). Pada penggunaan generator diesel yang digunakan basis fasilitas dan operasi militer, generator efisiensi tinggi generator diesel *speed* variabel (Touš et al., 2021).

Untuk perawatan dan mengisi bahan bakar generator diesel, tentara perlu melakukan banyak upaya transportasi menggunakan logistik pertahanan. Biaya bahan bakar bisa jauh lebih tinggi dalam lingkungan yang dikerahkan utama karena biaya keamanan dan transportasi melalui medan yang tidak bersahabat dan terkadang sulit. Kondisi cuaca ekstrem sering memutus jalur transportasi bahan bakar yang menimbulkan risiko signifikan bagi angkatan bersenjata; yang ditugaskan di pangkalan-pangkalan terpencil. (Chakraborty et al., 2020) Selain itu, generator diesel biasanya dioperasikan dalam kondisi rangkaian beban yang tidak baik dengan yang independen dari yang lain generator di pangkalan-pangkalan terpencil ini.

Oleh karena itu sebagian besar generator diesel beroperasi tidak efisien yang menghasilkan sejumlah besar kehilangan energi generator diesel spesifikasi rendah mengonsumsi lebih banyak bahan bakar. Generator diesel sering gagal untuk memulai atau bahkan rentan terhadap kegagalan karena dijalankan oleh bahan bakar yang terkontaminasi oleh lumpur, air dan aspal (Chakraborty et al., 2020).

Dengan isu permasalahan keamanan daya, teknis, biaya, dan logistik tersebut walaupun dapat diatasi dengan pemakaian generator diesel berganda. Disisi lain, harus ada improvisasi menggunakan teknologi untuk menyubstitusi pemakaian generator diesel untuk basis fasilitas militer teknologi dengan sumber energi baru dan terbarukan. Misalnya menggunakan pemanfaatan energi solar PV, *smart energy management*, *fuel cell* dan lain sebagainya (Touš et al., 2021). Namun juga dapat dilakukan melakukan kombinasi seperti pemanfaatan seperti sistem hibrid antara diesel generator dengan *energy storage system* (baterai), atau dikombinasi dengan solar PV generator dan/atau transisi ke energi baru terbarukan lainnya.

Dalam transisi tersebut ada baiknya dilakukan transisi manajemen jaringan listrik berbasis *smartgrid* dan mikrogrid. Di mana beban daya dapat dibagi di seluruh pasokan dalam batas tertentu, manajemen energi, dan mode pulau tersedia. Militer sangat bergantung pada kemampuan sistem tunggal. (Kashem et al., 2018).

Pembahasan

Infrastruktur Teknologi Energi Saat Ini

Mikrogrid adalah sistem energi yang terdiri dari beban yang saling berhubungan dan sumber daya energi yang sebagai sistem terintegrasi atau sumber daya energi terdistribusi (DER) yang dapat dipisahkan dari jaringan utilitas lokal dan berfungsi dalam mode yang berdiri

sendiri (Van Broekhoven et al., 2013). Pada dasarnya mikrogrid merupakan jaringan mikro yang terpisah dari jaringan yang lebih besar, yang memberi daya dan menghasilkan listrik untuk sekelompok pelanggan lokal. Listrik dari generator kecil sering digabungkan dengan sistem penyimpanan energi (Asian Development Bank, 2020).

Sumber energi yang paling hemat biaya adalah sumber energi di mana sumber daya instalasi dapat membantu mengurangi kemacetan di jaringan utilitas lokal. Setiap sumber daya di lokasi dapat berfungsi sebagai DER termasuk generator bahan bakar fosil yang terbarukan, pembangkit listrik dan panas gabungan, fasilitas limbah menjadi energi dan baterai serta bentuk energi tersimpan lainnya. Banyak mikrogrid yang digunakan saat ini relatif tidak canggih dengan kemampuan terbatas untuk mengintegrasikan DER intermiten, sedikit atau tidak ada kemampuan penyimpanan, dan tidak ada kemampuan untuk memperoleh pendapatan melalui partisipasi dalam pasar energi atau memanfaatkan penghematan melalui manajemen energi saat terikat jaringan kelistrikan (Marqusee et al., 2017; Van Broekhoven et al., 2013).

Mikrogrid memberikan dampak baik untuk Pertahanan dan Operasi Militer dalam mencapai peningkatan keamanan energi untuk penggunaan infrastruktur, pengurangan biaya operasi melalui peningkatan efisiensi energi gedung, dan partisipasi di pasar listrik baru. Apabila diaplikasikan dengan benar, mikrogrid juga dapat berfungsi sebagai *enabler* untuk pengenalan skala luas sumber daya pembangkit terbarukan. (Van Broekhoven et al., 2013) Selama beroperasi, infrastruktur mikrogrid seperti *smart control building*, sistem penyimpanan energi, dan pembangkit lokal memberikan kemudahan akses sisi permintaan yang signifikan yang dapat digunakan untuk mengurangi kendala kapasitas pada sistem transmisi utilitas dan mengurangi permintaan beban puncak. Ketertarikan pada mikrogrid saat ini mencerminkan kemampuan sistem canggih ini untuk mencapai *triple play* energi—mengurangi biaya utilitas, menggabungkan energi terbarukan, dan meningkatkan keamanan dan kemandirian energi (Marqusee et al., 2017; Van Broekhoven et al., 2013).

Pengurangan biaya permintaan puncak (*peak load*) atau pasar untuk layanan tambahan akan digunakan untuk memberikan penghematan apa pun ke instalasi. Sebagian besar instalasi dapat diberi daya secara independen dari jaringan listrik menggunakan teknologi jaringan mikro ini, memungkinkan mereka berfungsi sebagai pulau energi jika terjadi krisis. Bagi Kementerian Pertahanan AS, manfaat ganda jaringan mikro dalam instalasi pertahanan—kemampuannya untuk menghemat uang dengan menyediakan layanan ke jaringan yang lebih besar sambil tetap beroperasi secara normal dan ke pulau-pulau terpencil yang jauh dari jaringan listrik—akan berfungsi sebagai motivator utama untuk adopsi secara luas. dari mikrogrid. Pertahanan Amerika Serikat. Yang telah ditunjukkan pada Gambar 1 (Van Broekhoven et al., 2013).

Memastikan keamanan energi yang kuat untuk Pertahanan dan Operasional militer selama pemadaman listrik jangka panjang memerlukan pendekatan baru. Agar hemat biaya dan kuat, solusi keamanan energi harus mampu memberikan manfaat selama operasi jaringan normal. Namun, solusi mikrogrid yang hemat biaya perlu menyesuaikan aset instalasi yang ada untuk digunakan dalam mikrogrid. Generator diesel cadangan yang ada, membangun sistem manajemen energi, dan infrastruktur pengukuran dapat digunakan untuk mengurangi biaya keseluruhan implementasi mikrogrid. Namun, usia, kondisi, dan produsen sistem ini sangat bervariasi di seluruh instalasi Pertahanan. Cara terbaik untuk menggabungkan perangkat keras lama dan menggunakan sistem distribusi yang ada merupakan tantangan yang signifikan dan akan menjadi pemicu biaya bagi banyak mikrogrid instalasi Pertahanan. Dengan mikrogrid, pangkalan militer dapat memanfaatkan sumber daya energi terbarukan yang akan digunakan. Karena ini adalah sumber daya energi yang gratis dan efektif, ini dapat digunakan untuk

menyediakan daya cadangan untuk beban menengah yang biasanya tidak akan terpenuhi (Marqusee et al., 2017; Van Broekhoven et al., 2013).

Di departemen pertahanan Amerika Serikat, ada dua kegiatan penelitian dan pengembangan yang signifikan pada penyebaran mikrogrid. Beberapa contohnya adalah JCTD (*Joint Capability Technology Demonstration*), SPIDERS (*Smart Power Infrastructure Demonstration for Energy Reliability and Security*), dan proyek mikrogrid yang didanai ESTCP (Van Broekhoven et al., 2013). Pejabat militer AS telah berusaha untuk mempercepat pengembangan mikrogrid dengan menjadi tempat uji coba untuk prototipe sebelum menjadi komersial. Di instalasi militer, inisiatif tersebut telah mendanai 24 percobaan jaringan mikro dan sistem penyimpanan energi mutakhir. Inisiatif percontohan jaringan mikro militer, di sisi lain, cenderung merupakan sistem besar-besaran.

Pusat Tempur Darat Udara Korps Marinir *Twentynine Palms* memiliki jaringan mikro yang mengatur sebagian besar kebutuhan daya puncak fasilitas. Sebuah studi percontohan yang didanai ESTCP mengarah pada pengembangan mikrogrid *Twentynine Palms*. Efisiensi mikrogrid ditingkatkan dengan menyeimbangkan input dan output energi (Marqusee et al., 2017).

Selain energi matahari dan angin, situs Departemen Pertahanan AS memiliki lahan seluas 28 juta hektar. OSD menugaskan penelitian untuk menilai kemungkinan produksi energi surya di enam juta hektar situs militer di California dan Gurun Mojave Nevada dan Colorado. Ini mencakup tujuh situs California dan dua situs Nevada. Energi terbarukan yang terputus-putus seperti tenaga surya dan angin sebagai daya cadangan utama, dengan penyimpanan energi. Sebagian besar lokasi militer memerlukan baterai yang dapat menyimpan setidaknya 16kW-jam energi per kilowatt, dan beberapa membutuhkan jauh lebih banyak.

Mikrogrid dapat berfungsi lebih baik tanpa penyimpanan jika mereka dapat menggunakan energi terbarukan untuk seluruh periode cadangan. Sebagai contoh, sistem fotovoltaik surya 5 MW yang dipasang di tanah tanpa penyimpanan baterai dapat menyediakan daya cadangan tambahan 20-28 jam, tergantung pada sumber energi matahari. Ini dapat membantu mikrogrid memberikan lebih banyak daya cadangan. (Marqusee et al., 2017).

Proyeksi masa depan penggunaan infrastruktur teknologi dan operasional: Kasus Instansi Pertahanan Amerika Serikat

Masa depan militer AS adalah militer yang lebih efisien dan efektif dan juga lebih hijau. Kementerian Pertahanan Amerika Serikat telah mulai melakukan investasi signifikan dalam teknologi komponen yang akan memungkinkan solusi mikrogrid yang kuat, aman, dan hemat biaya.

Masing-masing instansi militer telah berjanji untuk memasang lebih dari 1 GW Fotovoltaik pada instalasi domestiknya pada tahun 2025, yang akan berjumlah hampir 50% peningkatan total kapasitas PV terpasang domestik secara nasional pada tahun 2012. Kementerian Pertahanan Amerika Serikat baru-baru ini mengumumkan rencana untuk menyewakan hingga 500 kendaraan listrik atau *Electric Vehicle (EV) plug-in* di enam instalasi militer yang berbeda dengan tujuan mendaftarkan kendaraan dalam program kendaraan-ke-jaringan, menunjukkan potensi efektivitas biaya EV.

Dan dalam menanggapi kebutuhan jangka pendek yang signifikan, Departemen Pertahanan kemungkinan akan menjadi faktor pendorong dalam pengembangan pendekatan keamanan siber baru untuk mikrogrid dan jaringan listrik yang lebih besar. (Van Broekhoven et al., 2013)

Proyeksi masa depan penggunaan infrastruktur teknologi dan operasional: Kasus Instansi Pertahanan Indonesia

PLTS adalah istilah yang mengacu pada sistem on-grid di mana daya dihasilkan sepenuhnya oleh panel surya tanpa menggunakan baterai. Sistem On-Grid bekerja sama dengan arus listrik PLN sebagai penyalur atau penyalur listrik dari panel surya ke beban. Akibatnya, semua daya yang dikonsumsi sepanjang hari dihasilkan oleh panel surya dan dikirim ke beban. Selain itu, teknologi ini dapat membantu dalam menurunkan biaya listrik PLN.

Universitas Pertahanan Republik Indonesia (Unhan RI) memanfaatkan energi terbarukan untuk menerapkan indikasi ketahanan energi dengan menggunakan sumber daya listriknya sesuai dengan kriteria sebagai berikut: *Availability: Accessibility, Affordability, Acceptability*, dan *Sustainability: 4A dan 1S*. Pembangkit listrik tenaga surya 30 kW dapat mengurangi keluaran polusi udara sebesar 34,7 tCO₂ dari faktor emisi GRK keseluruhan sebesar 1.074 tCO₂/MWh, atau setara dengan 80,7 barel minyak mentah yang tidak dibakar setiap tahun. Sistem hibrida PLTS dapat digunakan di lebih banyak lokasi yang menjanjikan tetapi menghadapi tantangan dengan ketergantungan pasokan energi. Memberikan pendampingan pemanfaatan EBT sebagai sumber energi, serta kemungkinan tambahan EBT untuk dimanfaatkan di wilayah Unhan, agar Unhan menjadi *green campus* yang menjadi pionir dan model bagi institusi pendidikan lainnya (Panunggul et al., 2018).

Infrastruktur Teknologi Energi masa depan

Teknologi baru, terutama yang menggunakan sumber energi terbarukan, akan menjadi bahan utama dalam menyediakan akses listrik bagi mereka yang jauh dari jaringan yang ada. Keberlanjutan jangka panjang adalah kunci untuk kualitas hidup masyarakat dan keberhasilan misi instalasi, dan keinginan untuk mengurangi jejak karbon secara keseluruhan membawa kita pada pilihan opsi teknologi yang pada dasarnya didasarkan pada energi terbarukan.

Beberapa opsi termasuk teknologi surya, angin, panas bumi, gabungan panas dan listrik/*combine heat power* (CHP), bio-energi, dan pembangkit listrik tenaga air kecil, jika memungkinkan. Selain itu, energi nuklir skala kecil (misalnya, reaktor modular kecil) memberikan energi yang fleksibel dan hemat biaya ke daerah yang mungkin kekurangan sumber daya terbarukan. (Cities & Installations, 2012)

Selain itu ke depannya ada teknologi lain yang dapat mendukung penerapan mikrogrid untuk militer dan operasionalnya ditunjukkan pada Gambar 3 (a) dan (b). Dari gambar tersebut menunjukkan macam-macam teknologi saat ini untuk sumber daya energi terdistribusi (DER) berupa pembangkit listrik dan *energy storage system* (ESS) yang telah di terapkan dan yang masih dalam penelitian & pengembang.

Smart Micro-Grids di dalam *Smart Energy Networks*, dan di dalamnya, teknologi surya film tipis sebagai contoh ilustratif dari pembangkit terdistribusi yang menjanjikan untuk memberikan layanan energi dasar ke pedesaan, komunitas terpencil dan memiliki potensi yang baik untuk operasi militer yang bergerak (nomaden) atau instalasi sementara (*off-grid*) (Cities & Installations, 2012).

| Distribusi Pembangkitan | | Sumber Energi | Produk | | | Aplikasi | | |
|-------------------------|----------------------|---------------|--------|-------|-------------|-----------|-----------|----------|
| Generator | Tipe | | Daya | Panas | Bahan Bakar | Perumahan | Komersial | Industri |
| PLTB | Horizontal | Angin | | | | | | |
| | Vertical | | | | | | | |
| PV | Cry-Si | Surya | | | | | | |
| | Thin-Film | | | | | | | |
| | Concentrator | | | | | | | |
| Solar Thermal | Panel Surya | Surya | | | | | | |
| | Concentrator | | | | | | | |
| Bio Energi | Gasifikasi | Biomassa | | | | | | |
| | Pirolisis | | | | | | | |
| | Pembangkit Integrasi | | | | | | | |
| Fuel Cell | DMFC | Hidrogen | | | | | | |
| | PEMFC | | | | | | | |
| | AFC | | | | | | | |
| | PAFC | | | | | | | |
| | MCFC | | | | | | | |
| Geotermal | Pemakaian-langsung | Geotermal | | | | | | |
| | Hidrotermal | NG+Geotermal | | | | | | |

Petunjuk :  : Berkembang  : R&D  : Tidak Ada  : Mahal

| Distribusi Pembangkitan | | Sumber Energi | Produk | | | Aplikasi | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------|--------|-------|-------------|-----------|-----------|----------|
| Generator | Tipe | | Daya | Panas | Bahan Bakar | Perumahan | Komersial | Industri |
| Hidrogen | Pembentukan dari NG | Natural Gas (NG) | | | | | | |
| | Gasifikasi Batubara | Batubara | | | | | | |
| | Gasifikasi Biomassa | Biomassa | | | | | | |
| | Pembentukan dari Liquid | Liquid Terbarukan | | | | | | |
| | Elektrolisis Air | Air dan listrik | | | | | | |
| Energy Storage System | SuperCapacitor | Elektrokimia | | | | | | |
| | Li-Ion Baterai | | | | | | | |
| | Lead-Acid Baterai | | | | | | | |
| | Udara Beterkanan | Udara | | | | | | |
| CHP | Fly-Wheels | Listrik | | | | | | |
| | Turbin Gas | NG atau Biogas | | | | | | |
| | Mikro Turbin | | | | | | | |
| | Recipro-Engine | Diesel atau NG | | | | | | |
| Fuel Cell | Hidrogen | | | | | | | |

Gambar 3. (a) dan (b) Macam-macam jenis pembangkit terdistribusi beserta teknologinya (Cities & Installations, 2012).

Sistem distribusi sumber energi berbasis generator *fuel cell*, hidrogen, dan *energy storage system* akan menjadi proyeksi energi militer ke depannya karena akan ditemukan teknologi yang andal dan mutakhir sekaligus meningkatkan tingkat keekonomisannya karena menjadi lebih murah dengan penemuan, pengembangan dan penelitian dalam teknologi baru, bahan

baku dan proses industrialisasi pembuatannya yang lebih andal, efisien dan ekonomis. Prospek yang ke depannya sangat menjanjikan adalah penyimpanan energi. Penyimpanan energi merupakan kemajuan teknologi yang juga menjadi solusi untuk memastikan kualitas daya dan urutan operasional yang tidak terganggu oleh pertukaran daya acak antara beban dan pasokan listrik dengan sistem tertutup. (Kashem et al., 2018)

KESIMPULAN

Dalam konteks aplikasi militer, keterjangkauan energi merupakan persyaratan penting untuk keberhasilan misi pertahanan. Memanfaatkan potensi sumber daya terbarukan yang ada juga memiliki tujuan ganda yaitu meningkatkan akses energi bagi masyarakat terpencil dan mengatasi layanan kelistrikan yang berkualitas rendah. Sementara itu, tujuan strategis untuk mendorong pengembangan *smart-grid* dan *smart-energy* yang cocok dengan teknologi komponen dapat mendukung aplikasi seluler dan desktop. Mengurangi biaya dan meningkatkan keandalan dan aksesibilitas menciptakan pasar listrik baru yang terbuka. Akses listrik yang andal tetap penting bagi pembangunan berkelanjutan masyarakat terpencil dan keberhasilan misi mereka. *Smart-mikrogrid*, teknologi surya baru, dan opsi energi terbarukan lainnya dapat memajukan ekonomi energi transisi dari energi berbasis bahan bakar fosil dan memutus siklus krisis energi.

Untuk mencapai penghematan biaya jangka panjang, *mikrogrid* pada instalasi Instansi Pertahanan domestik harus terintegrasi erat dengan jaringan utilitas yang lebih besar. Dan Kemampuan *mikrogrid* untuk memutuskan sambungan dari jaringan pasokan utama dan memasok daya yang andal berbasis kewilayahan menjadikannya pilihan optimal untuk daerah terpencil yang terletak di tempat yang relatif tidak terhubung dengan jaringan.

DAFTAR PUSTAKA

- API. (n.d.). *Energy Infrastructure*. Retrieved December 10, 2021, from <https://www.api.org/news-policy-and-issues/energy-infrastructure>
- Asian Development Bank. (2020). *Handbook on Microgrids for Power Quality and Connectivity* (Issue July). <http://dx.doi.org/10.22617/TIM200182-2>
- Chakraborty, S., Das, S., & Negi, M. (2020). Hybrid Microgrids for Diesel Consumption Reduction in Remote Military Bases of India. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 580, 145–159. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9119-5_13
- Cities, S., & Installations, M. (2012). *NATO Science for Peace and Security Series -C: Environmental Security Sustainable Cities and Military Installations* (I. Linkov (ed.)). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7161-1>
- Giachetti, R. E., Peterson, C. J., Van Bossuyt, D. L., & Parker, G. W. (2020). Systems Engineering Issues in Microgrids for Military Installations. *INCOSE International Symposium*, 30(1), 731–746. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2020.00751.x>
- Harris, D. (2019). Literature Review and Research Design. In *Literature Review and Research Design*. <https://doi.org/10.4324/9780429285660>
- Kashem, S. B. A., De Souza, S., Iqbal, A., & Ahmed, J. (2018). Microgrid in military applications. *Proceedings - 2018 IEEE 12th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, CPE-POWERENG 2018*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CPE.2018.8372506>
- Marqusee, J., Schultz, C., & Robyn, D. (2017). Power Begins at Home: Assured Energy for U.S. Military Bases. *Noblis*.
- Panunggul, D. A., Boedoyo, M. S., & Sasongko, N. A. (2018). Analisa Pemanfaatan Energi Terbarukan Di Universitas Pertahanan Sebagai Pendukung Keamanan Pasokan Energi

(Studi Kasus: Energi Surya Dan Angin). *Jurnal Ketahanan Energi*, 4(2), 75–91.

- Schuh, B., Dallhamme, E., Damsgaard, N., & Stewart, E. N. (2012). INFRASTRUCTURE FOR RENEWABLE ENERGIES: A FACTOR OF LOCAL AND REGIONAL DEVELOPMENT. In L. Poljančič (Ed.), *DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL POLICIES POLICY DEPARTMENT B: STRUCTURAL AND COHESION POLICIES REGIONAL DEVELOPMENT*. European Union. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Touš, M., Máša, V., & Vondra, M. (2021). Energy and water savings in military base camps. *Energy Systems*, 12(2), 545–562. <https://doi.org/10.1007/s12667-019-00354-y>
- Van Broekhoven, S., Judson, N., Galvin, J., & Marqusee, J. (2013). Leading the Charge: Microgrids for Domestic Military Installations. *IEEE Power and Energy Magazine*, 11(4), 40–45. <https://doi.org/10.1109/MPE.2013.2258280>