

Teknologi Tenda Militer Portabel Berbasis Tenaga Surya Dalam Mobilisasi Taktis Tempur

Sovian Aritonang^{1,*}, Zaidan Al Fajri¹, Putry Wanda Azida¹, Azzahra Sandri¹ & Muhammad Daffa Dintyra¹

¹) Department of Chemistry, Faculty of Military Mathematics and Natural Sciences, Universitas Pertahanan Republik Indonesia (Unhan RI), Bogor 16810, Indonesia

*E-mail: sovian.aritonang@idu.ac.id

ABSTRACT

Indonesia's extensive geography, spanning from Sabang to Merauke, provides an uninterrupted solar energy supply, thanks to its prolonged daylight hours. This presents an excellent opportunity for the country to embrace renewable and sustainable energy, with solar power being a convenient option given Indonesia's tropical climate. The conversion of solar heat into electrical energy is an attractive proposition, allowing for the use of portable solar panels to power military vehicles while minimizing reliance on fossil fuels. Efficient energy storage solutions are needed to convert solar thermal energy into electrical energy, and sodium batteries are a more potent and eco-friendly option. Portable solar panels also offer an energy source for various military operations, such as powering tents and charging communication equipment. By incorporating solar energy into their operations, the Indonesian army can increase their capabilities while reducing their reliance on conventional energy sources. In conclusion, harnessing the abundant sunlight and tropical climate in Indonesia through portable solar panels and sodium-based batteries is a dependable and sustainable solution to meet the energy needs of military operations. This approach enables Indonesian soldiers to carry out their missions efficiently while minimizing environmental impacts.

Keyword: Perovskite, Sel surya, tenda, Automatic Transfer Switch, Militer

PENDAHULUAN

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun, menjadikannya kandidat yang ideal untuk memanfaatkan energi terbarukan, khususnya energi surya [1]. Meskipun sangat bergantung pada sumber daya tak terbarukan seperti minyak dan gas, yang jumlahnya semakin berkurang, Indonesia menyadari pentingnya transisi ke sumber energi terbarukan [2]. Sumber energi ini menawarkan solusi yang layak untuk menyediakan listrik di daerah terpencil dan juga ramah lingkungan [3]. Energi panas bumi terutama yang memiliki potensi besar untuk menjadi pilihan energi yang disukai di Indonesia [1]. Indonesia memiliki potensi panas bumi terbesar di dunia, dengan 40% potensi panas bumi yang berasal dari formasi gunung berapi yang tersebar di Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku [4]. Pembangkit listrik tenaga surya dapat dibangun dengan memanfaatkan suhu tinggi ini, memberikan penghematan biaya jangka panjang untuk anggaran daerah. Pergeseran energi listrik ini juga dapat berfungsi sebagai sumber energi alternatif.

Permintaan energi di masa depan di Indonesia diproyeksikan akan sangat besar, hampir dua kali lipat dari konsumsi listrik nasional pada tahun 2014 [5]. Dengan diberlakukannya Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2012 dan Peraturan Pemerintah Nomor 76 Tahun 2014 tentang mekanisme industri pertahanan dan akuisisi alat peralatan pertahanan dan keamanan, maka pengembangan industri pertahanan, termasuk penelitian dan pengembangan material kendaraan tempur dan kendaraan tempur infanteri harus didorong dan diperluas [6]. Dengan wilayah yang luas dan sumber daya alam yang kaya, Indonesia harus menjaga kepentingan domestiknya sambil mempertahankan kedaulatan. Pertahanan negara membutuhkan sumber daya, termasuk alat yang meningkatkan keterampilan dan harga diri, khususnya di bidang militer [7].

Studi ini diperlukan untuk mengatasi masalah di tingkat kebijakan dalam transisi Indonesia menuju sumber energi terbarukan dan tantangan yang terkait dengan peningkatan sistem pertahanan nasional. Meskipun Indonesia memiliki sinar matahari dan potensi panas bumi yang melimpah, negara ini sangat bergantung pada sumber daya tak terbarukan yang terus menurun seperti minyak dan gas [4]. Dengan beralih ke energi terbarukan, khususnya pembangkit listrik tenaga surya, dan energi panas bumi, tinjauan ini bertujuan untuk memberikan solusi untuk memasok listrik ke daerah-daerah terpencil sambil mempromosikan keberlanjutan dan mengurangi dampak lingkungan. Selain itu, dengan kemajuan teknologi pertahanan dan kebutuhan untuk memperkuat kemampuan pertahanan, penerapan kendaraan patroli berbasis teknologi yang tidak bergantung pada bahan bakar tradisional menjadi sangat penting. Pemilihan sampel dalam tinjauan ini, yang berfokus pada kendaraan tempur dan kapal penjelajah militer Indonesia, melengkapi masalah dengan mengeksplorasi kelayakan penggunaan kendaraan listrik dan solusi penyimpanan yang inovatif untuk mengatasi tantangan logistik yang dihadapi di daerah terpencil [3]. Kemajuan teknologi ini dan teknologi tenaga militer berbasis tenaga surya portabel dalam operasi jarak jauh Ultra-thin flexible solar tend dapat sangat membantu kendaraan militer selama operasi di daerah terpencil, di mana pasokan bahan bakar sulit, sehingga meningkatkan efisiensi operasional [4]. Dengan memanfaatkan teknologi energi terbarukan, penelitian ini bermaksud untuk meningkatkan efisiensi operasional dan berkontribusi dalam mengembangkan sistem pertahanan yang berkelanjutan di Indonesia.

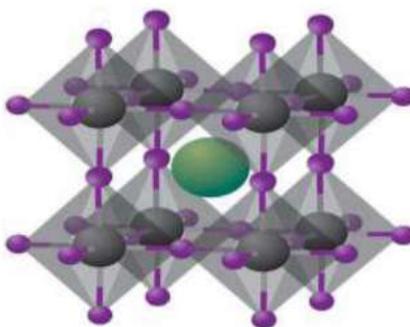
METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan melibatkan pengumpulan dan pengorganisasian data ilmiah secara sistematis dari metodologi tervalidasi yang didukung oleh berbagai studi penelitian. Kemudian, kami menggunakan VOS Viewer untuk mengkategorikan material berdasarkan parameter-parameter yang dipilih secara cermat dan penting untuk analisis baterai sel surya berbasis perovskit, teknologi susunan surya portabel, serta jenis tenda dan material untuk militer dalam situasi pertempuran. Ditambah lagi, kami melakukan wawancara dengan Direktur Teknologi PT Pindad untuk menyempurnakan penelitian kami. Proses penelitian ini dimulai dengan wawancara dengan seorang ahli di bidang teknologi, khususnya Direktur Teknologi PT. Pindad, yaitu Direktur Teknologi PT Pindad.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sel fotovoltaik organik atau OPV (Organic Photovoltaic Cell) sering disebut sebagai sel surya (Solar Cell) adalah sel-sel photovoltaic yang menggunakan bahan organik sebagai komponen [8]. Proses penyerapan cahaya dan pengiriman muatan dilakukan oleh bahan organik. Ada berbagai jenis OPV, seperti sel surya sensitif pewarna (DSSC), sel lapisan ganda, sel heterojunction bulk, dan sel solar perovskite. (PSC). Akhirnya, prospek OPV dibahas. Dari pengembangan OPV, dapat dilihat bahwa efisiensi di generasi pertama adalah 6%. Keefektifan generasi kedua adalah 17%. Sementara efisiensi generasi ketiga adalah yang tertinggi di sekitar 26% [9]. Kelemahan OPV adalah efisiensi rendah dan umur pendek. Sifat OPV ringan dan fleksibel sehingga aplikasinya lebih luas. Keuntungan sel OPV adalah bahwa biaya manufakturnya murah, memungkinkan untuk digunakan dalam jumlah besar. Karena sifat sel OPV ringan dan fleksibel, aplikasi OPV lebih luas daripada sel surya anorganik. Sel OPV bahkan dapat digunakan untuk kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh sel surya anorganik. Efisiensi OPV masih rendah di sekitar 8,3%. Dengan menggunakan nanoteknologi, diharapkan akan ada peningkatan efisiensi yang setara dengan sel surya silikon. Selain efisiensi rendah, kelemahan sel OPV adalah umur pendek mereka. Sel OPV komersial memiliki umur operasi 5 tahun [10]. Sel OPV murah untuk diproduksi, ringan, dan fleksibel, tetapi efisiensi mereka lebih rendah daripada sel surya anorganik. Karena ringan dan fleksibel, OPVs cocok untuk berbagai penggunaan, mulai dari perangkat pengisian baterai laptop, ponsel, hingga penyedia daya untuk perangkat portabel seperti ponsel dan pemutar MP3 [11].

Pada awalnya sel surya organik akan diterapkan untuk penggunaan khusus seperti pasar militer pertama karena efisiensi rendah dan biaya unit pengeluaran listrik tinggi. Generasi baru ini mencakup sel surya organik / polimer dan sensitif pewarna. Teknologi sel surya fotovoltaik organik (OPV) menggunakan polimer yang lebih murah sebagai bahan pengganti untuk semikonduktor anorganik (silicon, CdTe, and CIGS). Sel surya generasi ketiga ini adalah yang paling murah dibandingkan dengan semua generasi sel surya sebelumnya. Efisiensi yang diperoleh dari sel tunggal sensitif pewarna adalah ~11% dan sel tunggal polimer adalah 8%. Ini menunjukkan bahwa efisiensi yang diperoleh dari sel surya organik umumnya sangat rendah. Fotovoltaik organik secara teknologi tidak matang dan aplikasi luasnya dibatasi oleh masalah ketidakstabilan yang terkait dengan kerusakan di lingkungan yang berbeda. Upaya tak henti-hentinya para peneliti di bidang fotovoltaik melahirkan jenis sel surya baru, sel solar organik-inorganik hibrida yang dikenal sebagai perovskite, yang ditemukan oleh Miyasaka dan rekan-rekannya pada tahun 2006. Bahan baru ini dilaporkan memiliki efisiensi tertinggi ~ 19,3%. Teknologi sel solar hibrida seperti sel surya perovskite disebut demikian karena lapisan fotoaktif terbuat dari bahan organometal.



Gambar 1. Struktur kristal perovskite

Generasi ketiga dari sel surya fotovoltaik biasa disebut sel surya perovskite (PSC). Sistem ini menggunakan penyerapan cahaya oleh halida organometal sehingga membuat efisiensi konversi daya lebih tinggi dikombinasikan dengan bahan yang lebih murah. Hasil penelitian baru-baru ini mencatat bahwa sel surya silikon tradisional memiliki efisiensi 25%, tetapi mendapatkan efisiensinya yang tinggi sangat mahal untuk diproduksi sehingga sel-sel surya dengan efektivitas sekitar 15% biasanya dipasang. PSC dilaporkan memiliki efisiensi 26% dengan keuntungan biaya manufaktur yang rendah dan karakteristik yang sangat stabil. Teknologi film tipis, yang merupakan generasi kedua, memiliki efisiensi 12-20% [9]. Sel-sel surya perovskite (PSC) telah muncul sebagai “bintang naik” dalam beberapa tahun terakhir karena efisiensi konversi daya tinggi (PCE), biaya yang sangat rendah dan teknik manufaktur yang mudah. Hingga saat ini, PSC telah mencapai PCE bersertifikat 25,2% pada substrat konduktif kaku, dan 19,5% pada substrate fleksibel. Kemajuan signifikan PSC telah tercapai melalui berbagai rute, termasuk teknik komposisi perovskite, modifikasi antarmuka, pasivasi permukaan, optimalisasi proses manufaktur, dan eksploitasi bahan transportasi beban baru. FPSC termasuk substrat fleksibel, absorber perovskite, bahan transportasi beban, serta metode manufaktur perangkat dan encapsulation. Sel surya perovskite pada beberapa permukaan yang tidak teratur atau melengkung dari kendaraan atau tenda [12]

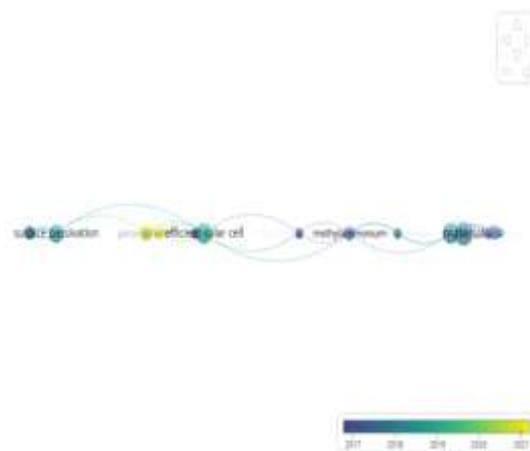
Salah satu kemajuan terbaru dan menarik di bidang teknologi energi surya melibatkan penggunaan sel surya perovskite. Sel-sel surya ini menonjol karena fleksibilitas yang luar biasa dan karakteristik ringan, membanggakan efisiensi konversi energi surya yang mengesankan (PCE) hingga 12,2% dan menampilkan radius kemiringan yang menakjubkan hingga 10 mm, seperti yang ditunjukkan oleh [13]. Penelitian yang sedang berlangsung di bidang ini telah menyebabkan kemajuan yang luar biasa, terutama pada tahun 2016, di mana kemajuan substansial dilakukan dalam upaya untuk mengintegrasikan sel surya perovskite ke dalam tekstil dengan lancer [14]. Pada tahun 2019, sel surya perovskite (PSC) mengalami kemajuan teknologi yang substansial yang mengakibatkan peningkatan yang luar biasa dalam efisiensi konversi daya (PCE), mencapai 23,7% yang mengesankan [15] Tujuan utama adalah untuk mengembangkan tekstil cerdas yang dapat

◆ memanfaatkan energi surya untuk listrik, dengan aplikasi dalam pasokan daya perangkat elektronik, mewakili langkah besar menuju solusi energi berkelanjutan.

Perkembangan perintis ini bergantung pada teknologi kondensator super PSC, yang dapat ditenun dengan rumit ke dalam tekstil, pada dasarnya membentuk struktur pendukung yang tertanam dari benang kapas. Ketika konstruksi tekstil ini terpapar sinar matahari simulasi, mereka menunjukkan kepadatan energi yang mengesankan $1,15 \text{ mWh cm}^{-3}$ dan ketumpatan daya 243 mW cm^{-3} , bukti efisiensi mereka dalam panen tenaga surya, seperti yang dijelaskan dalam pekerjaan oleh [14]. Implikasi dari terobosan ini mendalam, membuka jalan bagi penciptaan tekstil cerdas yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan energi listrik dari sinar matahari. Tekstil ini dapat muncul sebagai alternatif yang kuat atau sumber tambahan untuk metode pembangkit listrik tradisional dalam berbagai aplikasi. Inovasi ini tidak hanya mewakili lompatan yang signifikan dalam teknologi berkelanjutan tetapi juga menekankan potensi transformatif sel surya perovskite di bidang energi terbarukan.

Solar panel telah mengalami perkembangan dari waktu ke waktu. Generasi pertama panel surya terdiri dari bahan yang kokoh, berat, dan tebal yang dirancang untuk digunakan selama 25 tahun. Model ini tidak mudah dibawa-bawa dan biasanya dipasang di atap. Sedangkan panel surya generasi kedua memperkenalkan sel surya berbasis silikon, yang bertujuan untuk mengurangi biaya produksi dengan tetap mempertahankan kinerja yang baik. Generasi ketiga dari panel surya menggabungkan keuntungan dari generasi pertama dan kedua, memanfaatkan bahan berbiaya rendah dan proses manufaktur yang hemat biaya. Salah satu jenis panel surya generasi ketiga adalah sel surya organik [16], [17]. Sel solar generasi pertama dan kedua beroperasi berdasarkan mekanisme fotovoltaiik, di mana pembangkitan energi listrik bergantung pada bahan semikonduktor yang digunakan. Sedangkan sel surya generasi ketiga menggunakan struktur perovskit dengan efek fotoelektrokimia [16]. Kompleks ini terdiri dari kation organik, kation anorganik, dan anion anorganik, membentuk struktur kimia yang dikenal sebagai ABX_3 [18]. Di antara sel surya generasi ketiga, sel surya berbasis titanium telah mendapatkan perhatian karena kemudahan dalam produksi, bahan yang murah, dan efisiensi yang baik. Pada lapisan titanium oksida dimodifikasi dengan bahan berbasis natrium untuk memperluas spektrum penyerapan sinar matahari [19]. Penting untuk disebutkan bahwa direktur teknologi PT. Pindad menyoroti penggunaan bahan berbasis film tipis perovskite di daerah perairan, yang transparan dan ramah lingkungan.

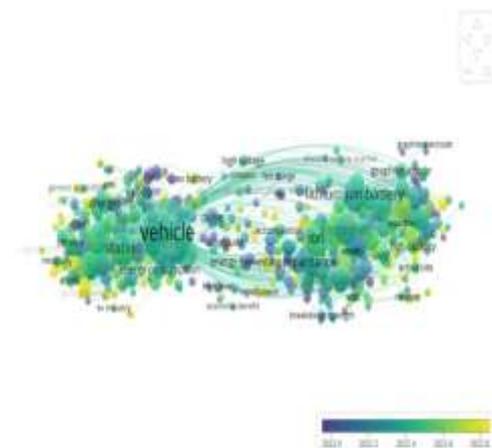
Sehingga diterapkan pada aktivitas di tenda militer yang notabene masih sangat minim dengan aliran listrik sehingga para prajurit masih melakukan aktivitas dengan cara tradisional dan hal ini sangat menghambat dan membuka peluang yang lebih luas untuk dideteksi oleh musuh dan tentunya hal ini tidak efektif dalam pergerakan taktik yang dilakukan oleh para prajurit TNI. Sebagai contoh untuk berkomunikasi melalui radio, mengisi baterai jam tangan, berkomunikasi melalui smart phone dan masih banyak pekerjaan di tenda-tenda militer yang sangat terbantu apabila di dalam tenda tersebut memiliki sumber listrik sendiri tanpa harus memikirkan keberadaan tempat yang baik di wilayah pedalaman sekalipun.



Gambar 2. Bibliografik Sel Surya Perovskite

sementara bahan cordura di pasar dijual untuk 1 juta / 4 pcs, tetapi dari usia penggunaan material cordura hanya dapat digunakan selama 1 tahun.

Bahan tenda saat ini yang digunakan tidak efektif dalam memenuhi kebutuhan listrik prajurit sehingga membutuhkan perangkat penyimpanan eksternal yang membuat banyak peralatan yang perlu dibawa. Tenda berbasis sel surya dengan kombinasi silylon dirancang untuk menyederhanakan fungsi listrik dan berat barang yang dibawa oleh prajurit. Di medan perang, efisiensi ini akan mempengaruhi gerakan platoon, sehingga dalam hal taktik jenis tenda ini akan memfasilitasi dalam hal mobilisasi. Tenda yang dirancang akan dapat menyimpan listrik dengan baterai natrium yang lebih murah dari lithium. Energi listrik yang disimpan akan digunakan untuk perangkat komunikasi dan pencahayaan untuk prajurit di medan perang [22].



Gambar 5 Bibliografik Sistem Pengisian Ulang Baterai

Perangkat yang digunakan dalam pengaturan ini adalah sistem pemantauan dan Automatic Transfer Switch (ATS) yang secara Otomatis dapat mengalihkan sumber daya ke sumber energi cadangan [23]. Pada saat terjadi pemadaman listrik, sistem dapat mengalihkan sumber daya kembali ke catu daya utama setelah dipulihkan. Pengaturan manual juga dapat dilakukan tergantung pada posisi sakelar sakelar. Dengan sistem ini, operator server dapat memantau aliran server dan transfer sumber daya. Dari segi sistem panel surya, sistem ini mampu mengisi penuh baterai 60AH dalam waktu enam hari. Dengan output 20W pada panel surya dan kapasitas baterai 0,4 Volt, setiap forum dapat mendukung beban 22W selama 3 jam [18]. Sistem ATS digunakan untuk mentransfer daya ke sumber daya siaga secara otomatis. Begitu catu daya utama dipulihkan, sistem dapat memindahkan kontrol kembali ke sumber listrik. Letak sakelar memungkinkan penyesuaian manual bila diperlukan. Dengan sistem ini, operator server dapat memonitor aliran server dan memfasilitasi transfer sumber daya. Pada output maksimum 20W dan kapasitas baterai 0.4V, sistem panel surya dapat mengisi penuh baterai 60 AH selama enam hari, mendukung beban pengisian daya 22W [23].

Material elektroda organik dikategorikan ke dalam tiga jenis berdasarkan reaksi redoksnya: Tipe N, tipe P, dan tipe bipolar. Jenis bahan N-type dapat direduksi dari keadaan netral, menghasilkan muatan negatif. Sedangkan bahan tipe-P, cenderung teroksidasi dari keadaan netral, sehingga menghasilkan muatan positif. Baik bahan tipe-N maupun tipe-P dapat digunakan secara individual dalam baterai tipe tunggal. Akan tetapi, material tipe bipolar menggabungkan reaksi redoks tipe-N dan tipe-P, menciptakan dua pasangan redoks yang berbeda [18]. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan mendapatkan material katoda dengan tiga status muatan (netral, negatif, dan positif) yang sesuai untuk digunakan dalam dua jenis Baterai Lithium-Ion (LIB) [24].

Bahan polimer yang diberi nama PBQPZ disintesis dalam kondisi netral. P-BQPZ dapat diturunkan menjadi muatan negatif dengan menambahkan ion natrium (Na) atau lithium (Li), yang dapat bersumber dari elektrolit dan umumnya digunakan dalam alat militer [25]. Selain itu, P-BQPZ dapat teroksidasi ke keadaan bermuatan positif dengan memasukkan ion klorin (Cl). Suatu polimer baru, P-BQPZ, dirancang dan disintesis melalui reaksi kondensasi satu langkah sederhana antara dua monomer yang tersedia secara komersial: 2,3,5,6-tetromino-1,4-benzoquinone (TABQ)

dan 2,3,5,6-tetrakloropiranin (TCPZ). Hasil reaksi polimerisasi ini menghasilkan P-BQPZ, yang mengandung gugus aktif redoks tipe-n dan tipe-p dengan gugus tidak aktif redoks yang minimal.

P-BQPZ berkinerja tinggi menunjukkan karakteristik yang memenuhi persyaratan khusus dengan menggabungkan gugus aktif redoks tipe-n dan tipe-p, meminimalkan gugus tidak aktif redoks, dan mempunyai tulang punggung polimer yang stabil. Hal ini memungkinkan untuk merakit dua LIB organik berkinerja tinggi, masing-masing menggunakan gugus aktif redoks tipe-n atau tipe-p dalam rentang potensial yang berbeda. ATS otomatis mengalihkan daya ke sumber daya cadangan jika terjadi kegagalan daya utama. Apabila catu daya utama pulih, sistem dapat mentransfer kontrol kembali ke sumber listrik. Sistem ini memungkinkan penyesuaian manual tergantung pada posisi sakelar. Selain itu, sistem ini memfasilitasi pemantauan aliran server dan transfer sumber daya untuk operator server. Mengenai sistem panel surya, jika panel surya dengan output maksimum 20W dan kapasitas baterai 0.4V digunakan, panel surya ini dapat mengisi penuh baterai 60AH dalam waktu enam hari. Kapasitas pengisian daya adalah 22W [25].

Desain teknologi ini dirancang untuk penggunaan jangka panjang di zaman modern, dengan mengambil manfaat dari kemajuan teknologi [6]. Teknologi ini menggabungkan baterai isi ulang yang menawarkan masa pakai yang lebih lama dan dapat diisi ulang setelah habis. Akan tetapi, jika baterai rusak dan tidak dapat menyimpan energi maksimum, baterai harus diganti. Perlu diketahui bahwa baterai yang dibuang dapat menimbulkan risiko bagi lingkungan karena diklasifikasikan sebagai limbah non-organik dan tidak dapat terurai secara alami. Limbah baterai termasuk dalam kategori B3, yang dikenal sebagai bahan berbahaya dan beracun [26]. Pengelolaan yang tidak tepat terhadap limbah tersebut dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Dalam mengatasi masalah ini, pengisian oksidasi mangan atau penggunaan elektrolit pada baterai bekas dapat meremajakan fungsinya dan memungkinkan untuk digunakan kembali [6]. Terlebih lagi, batang karbon dari baterai bekas dapat berfungsi sebagai katoda dalam sel elektrolisis, yang memungkinkan degradasi konsentrasi limbah pewarna batik melalui pewarnaan elektroda. Gabungan pendekatan inovatif diusulkan untuk menyempurnakan tenda tempur lebih lanjut, dengan mengintegrasikan komposisi, proses, dan perlakuan produksi. Untuk membuka kemungkinan pengembangan material seperti polimer atau bahan ringan lainnya. Material-material ini dapat dipadukan dengan teknologi ini, yang memanfaatkan material perovskit higroskopis yang menghasilkan gas hidrogen ketika terkena kelembaban dan sinar matahari [17]. Integrasi semacam itu memungkinkan pemanfaatan pengisi daya yang tipis dan portabel yang dapat dipindahkan sesuai kebutuhan tenda tempur dan peralatan elektronik militer lainnya

KESIMPULAN

Inovasi teknologi buatan ini menjawab tantangan di berbagai sektor, terutama di sektor pertahanan. Teknologi ini menjawab masalah listrik dan mobilisasi tentara untuk daerah pedalaman dan perbatasan. Demi menjamin keselamatan prajurit dan menjaga keutuhan wilayah NKRI, teknologi ini memungkinkan operasi yang lebih efektif dan mobile. Dengan teknologi tenda portabel berbasis listrik, prajurit tidak perlu khawatir akan kehilangan sumber daya energi listrik karena mereka dapat menggunakan sumber energi yang tersedia, seperti tenaga surya, saat bertugas di lokasi terpencil. Teknologi ini juga berkontribusi pada peran generasi muda dalam mencapai Indonesia bebas emisi pada tahun 2045, dengan beralih dari sumber energi konvensional ke energi terbarukan.

Perpaduan teknologi dan energi dalam sektor militer berpotensi menciptakan lingkungan operasional yang lebih baik yang ditunjukkan dengan peningkatan efisiensi, keandalan, dan daya tahan untuk meningkatkan pengukuran dan pengelolaan konsumsi energi di fasilitas militer menjanjikan peningkatan efisiensi energi dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi eksternal. Di tahun-tahun mendatang, penggunaan peralatan militer bertenaga listrik oleh Tentara Nasional Indonesia (TNI) di lingkungan perkotaan dan operasi militer dapat memainkan peran penting dalam mewujudkan Indonesia yang mandiri secara teknologi. Tenda portabel berbasis listrik ini memiliki potensi untuk menjadi landasan kemajuan di sektor pertahanan Indonesia, memajukan teknologi pertahanan dan meningkatkan moral para prajurit di lapangan dengan menggabungkan teknologi baterai natrium-ion, metode pengisian DCFC, pengisi daya kontrol

fuzzy, sel surya berbasis perovskit generasi ketiga, menawarkan solusi untuk tantangan yang dihadapi dalam sektor pertahanan, energi, dan pembangunan di Indonesia yang memungkinkan untuk pembangkit energi terbarukan, berkontribusi pada tujuan mencapai emisi nol bersih dan mendukung sektor prioritas kepresidenan Indonesia di G20, terutama dalam memberdayakan generasi muda untuk mendorong tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs) masyarakat 5.0.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Azhar and D. A. Satriawan, "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional," *Administrative Law and Governance Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 398–412, 2018.
- [2] R. Hartono, F. Noor, and E. Kurnia, "Perancangan Dan Pembuatan Mobil Sel Surya Menggunakan Motor DC Magnet Permanen," *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, vol. 6, no. 1, 2016.
- [3] D. Remme and J. Jackson, "Green mission creep: The unintended consequences of circular economy strategies for electric vehicles," *J Clean Prod*, vol. 394, p. 136346, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2023.136346.
- [4] K. Witkowski, "Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management," *Procedia Eng*, vol. 182, pp. 763–769, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.PROENG.2017.03.197.
- [5] X. Hu, Z. Zhu, L. Gao, S. Wang, and R. Zhou, "Consumers' value perceptions and intentions to purchase electric vehicles: A Benefit-risk analysis," 2022.
- [6] S. Khan, K. Sudhakar, and M. H. bin Yusof, "Comparison of mono and bifacial modules for building integration and electric vehicle charging: A case study in Sweden," *Energy Conversion and Management: X*, vol. 20, p. 100420, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.ECMX.2023.100420.
- [7] M. Aziz, Y. Marcellino, I. Agnita Rizki, S. Anwar Ikhwanuddin, and J. Welman Simatupang, "Studi Analisis Perkembangan Teknologi Dan Dukungan Pemerintah Indonesia Terkait Mobil Listrik," *TESLA*, vol. 22, no. 1, pp. 45–55, 2020.
- [8] S. Ramli *et al.*, "Electrical Energy Monitoring System From Solar Panel Article Info Abstract," *Defence Science, Engineering & Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 20–26, 2022, doi: 10.58247/jdset-2022-0501-03.
- [9] L. B. Setyawan, "Perkembangan dan Prospek Sel Fotovoltaik Organik: Sebuah Telaah Ilmiah," *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 17, no. 2, pp. 93–100, 2018.
- [10] A. Jannat, M. Rahman, M. Saddam, H. Khan, and M. F. Rahman, "A Review Study of Organic Photovoltaic Cell," *Int J Sci Eng Res*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2013, [Online]. Available: <http://www.ijser.org>
- [11] Askari. M. Bagher, "Introduction to Organic Solar Cells," *Sustainable Energy*, vol. 2, no. 3, pp. 85–90, 2014, doi: 10.12691/RSE-2-3-2.
- [12] J. Zhang, W. Zhang, H. M. Cheng, and S. R. P. Silva, "Critical review of recent progress of flexible perovskite solar cells," *Materials Today*, vol. 39, pp. 66–88, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.MATTOD.2020.05.002.
- [13] B. J. Kim *et al.*, "Highly efficient and bending durable perovskite solar cells: Toward a wearable power source," *Energy Environ Sci*, vol. 8, no. 3, pp. 916–921, Mar. 2015, doi: 10.1039/c4ee02441a.
- [14] J. Xu, Z. Ku, Y. Zhang, D. Chao, and H. J. Fan, "Integrated Photo-Supercapacitor Based on PEDOT Modified Printable Perovskite Solar Cell," *Adv Mater Technol*, vol. 1, no. 5, Aug. 2016, doi: 10.1002/admt.201600074.
- [15] S. H. Chan, Y. H. Chang, and M. C. Wu, "High-performance perovskite solar cells based on low-temperature processed electron extraction layer," *Frontiers in Materials*, vol. 6, no. 57, Frontiers Media S.A., pp. 1–7, Mar. 08, 2019. doi: 10.3389/fmats.2019.00057.
- [16] B. Widyolar, L. Jiang, Y. Bhusal, J. Brinkley, and R. Winston, "Solar thermal process heating with the external compound parabolic concentrator (XCPC) – 45 m2 experimental

- array performance, annual generation (kWh/m²-year), and economics,” *Solar Energy*, vol. 230, pp. 131–150, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.SOLENER.2021.10.027.
- [17] F. Qin *et al.*, “Design of high efficiency perovskite solar cells based on inorganic and organic undoped double hole layer,” *Solar Energy*, vol. 262, p. 111796, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.SOLENER.2023.111796.
- [18] Z. Qiao *et al.*, “Inorganic tin-based perovskite solar cells: Modeling and performance analysis of hole transport layer-free structures,” *Chem Phys Lett*, vol. 813, p. 140295, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.CPLETT.2022.140295.
- [19] Y. Y. Wang *et al.*, “Recent advances in non-metal doped titania for solar-driven photocatalytic/photoelectrochemical water-splitting,” *Journal of Energy Chemistry*, vol. 66, pp. 529–559, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.JECHEM.2021.08.038.
- [20] G. Gudipudi, P. C. Nikhil, T. V. Sai, and A. Thakur, “Comparative Analysis of FIR Filter Design using Different Multipliers and CLA adder,” *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol. 5, no. 6, pp. 4816–4826, Aug. 2023, doi: 10.56726/irjmets42181.
- [21] L. Li, S. Zhang, Z. Yang, E. E. S. Berthold, and W. Chen, “Recent advances of flexible perovskite solar cells,” *Journal of Energy Chemistry*, vol. 27, no. 3, pp. 673–689, May 2018, doi: 10.1016/J.JECHEM.2018.01.003.
- [22] R. R. Van Amber, “Apparel and Household Textiles and Their Role in Forensics,” *Forensic Textile Science*, pp. 15–26, Jan. 2017, doi: 10.1016/B978-0-08-101872-9.00002-9.
- [23] B. Behram, S. Ahmad, A. Shoukat, and S. S. Khan, “Fabrication of Three-phase Automatic Transfer Switching System with Reduced Switching Time,” in *16th International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, 2021.
- [24] X. Zeng *et al.*, “Commercialization of Lithium Battery Technologies for Electric Vehicles,” *Advanced Energy Materials*, vol. 9, no. 27. Wiley-VCH Verlag, Jul. 19, 2019. doi: 10.1002/aenm.201900161.
- [25] E. P. Mesakh, M. Napitupulu, and S. T. Gonggo, “Pengaruh Alumina Terhadap Membran Blend Kitosanpolivinil Alkohol- Litium Sebagai Membran Elektrolit Baterai,” *Jurnal Akademika Kimia*, vol. 6, no. 2, pp. 72–78, 2017.
- [26] N. Apriyani, “Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya,” *MITL Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 3, no. 1, pp. 21–29, 2018.