

Potensi Penggunaan Energi Ramah Lingkungan Pada Sistem Daya Gerak Alpalhankam dalam Mendukung Strategi Pertahanan Indonesia

Riyan Eko Prasetyo^{1✉}, Ardan Nagra Coutsar², Sonia Aprilya³, Michael Tobing⁴, Anugrah Endy⁵, Ansori⁶

^{1,2,3,4,5,6}, Prodi Teknologi Daya Gerak, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 24-05-2023

Direvisi : 01-06-2023

Diterima : 04-06-2023

Kata Kunci:

Energi Ramah Lingkungan, Alpalhankam, Biodiesel, Bioavtur, Baterai.

Keywords :

Green Energy, Alpalhankam, Biodiesel, Bioavtur, Battery.

ABSTRAK

Perancangan alat peralatan pertahanan keamanan (alpalhankam) sebagai strategi pertahanan dan keamanan, akan menghadapi tantangan untuk mengurangi jejak karbon. Bahan bakar yang bersumber dari energi baru terbarukan menjadi rencana aksi di masa depan untuk mencapai tingkat efisiensi energi tinggi dan upaya untuk mencapai *net zero emission* di sektor pertahanan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan masukan mengenai penggunaan teknologi ramah lingkungan di bidang alpalhankam. Dalam upaya mendukung strategi pertahanan Indonesia. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur, wawancara, dan metode analisis SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*). Berdasarkan hasil kajian, terdapat beberapa aplikasi pemanfaatan energi ramah lingkungan dalam aspek komersial yang terbatas pada bidang pertahanan dan keamanan, seperti biodiesel, bioavtur, dan penggunaan baterai. Penggunaan energi ini berpotensi untuk diterapkan pada alpalhankam, dengan mempertimbangkan solusi dari permasalahan yang timbul. Berdasarkan jangkauan misi operasi dan keandalannya, aplikasi tersebut dapat digunakan sebagai energi pada operasi militer selain perang atau non-kombatan, karena tidak beroperasi dalam jangkauan operasi dalam menghadapi tantangan yang berat dalam penggunaan energi yang tinggi.

ABSTRACT

The design of defense and security equipment (alpalhankam) as a defense and security strategy will face the challenge of reducing the carbon footprint. Fuel sourced from renewable energy is a future action plan to achieve high levels of energy efficiency and efforts to achieve net zero emissions in the defense sector. This research aims to provide input on using environmentally friendly technology in the field of alpalhankam to support Indonesia's defense strategy. This research uses literature study methods, interviews, and SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) analysis methods. Based on the study results, several commercial applications of environmentally friendly energy utilization are limited to the defense and security sector, such as biodiesel, bioavtur, and battery use. The use of this energy has the potential to be applied to defense and security equipment, taking into account the solution to the problems that arise. Based on the range of operational missions and reliability, these applications can be used as energy in military operations other than war or non-combatant because they do not operate within the range of operations in the face of severe challenges in high energy usage.

Corresponding Author :

Riyan Eko Prasetyo

Prodi Telnologi Daya Gerak, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan RI
Jl. Salemba Raya No.3, RT.1/RW.3, Paseban, Jakarta, Kota Jakarta Pusat. 10440

Email: riyan.prasetyo@tp.idu.ac.id



PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan jumlah 17.499 pulau yang terbentang dari Pulau Sabang hingga Pulau Merauke, dengan luas wilayah sekitar 5.189 juta km² (Hasanah, 2020). Sesuai yang diamanatkan dalam UUD 1945 dan penjelasan pada Undang-Undang Republik Indonesia No. 43 Tahun 2008 tentang Wilayah Negara, Indonesia memiliki kedaulatan yang terbagi atas tiga wilayah, yaitu wilayah darat, wilayah perairan, dan wilayah udara. Kedaulatan tersebut terdiri dari sepertiga wilayah daratan, dua pertiga wilayah lautan, serta berdaulat di wilayah udara di atas wilayah kedaulatan darat dan laut (Savitri & Prabandari, 2020).

Pada era kemajuan saat ini, perkembangan Lingkungan strategis bergerak dengan cepat dan dinamis. Sehingga terjadi banyak krisis dan konflik baik global, nasional, maupun regional, yang dapat menimbulkan ancaman militer maupun nirmiliter yang bersifat potensial dan aktual. Berdasarkan hal tersebut untuk menjaga kedaulatan dan keamanan negara dari ancaman militer maupun nirmiliter, maka dibutuhkan sistem pertahanan yang kuat dan berdaya saing. Dalam penyelenggaraan usaha pertahanan negara dapat dilakukan melalui pembangunan postur pertahanan negara secara berkesinambungan untuk mewujudkan kekuatan dan kemampuan pertahanan negara. Pembangunan postur pertahanan militer diarahkan pada pemenuhan Kekuatan Pokok Minimum (MEF) (Sisriadi, 2016).

Upaya menjaga stabilitas keamanan nasional diperlukan adanya pembangunan pertahanan yang mampu mengatasi semua bentuk ancaman, yang dapat dicapai salah satunya melalui pengadaan alat peralatan pertahanan dan keamanan atau alpalhankam. Pada rencana pembangunan jangka menengah nasional 2020-2024 Kementerian Pertahanan Republik Indonesia melalui 7 program prioritas nasional menjelaskan salah satunya adalah memperkuat stabilitas politik, hukum, pertahanan dan keamanan, serta transformasi pelayanan publik. Dari hal tersebut maka diperlukan kemampuan pertahanan yang kuat dan modern, melalui adanya pembangunan dan pengembangan industri pertahanan serta penggunaan teknologi pada alat peralatan pertahanan dan keamanan (alpalhankam). Strategi tersebut didukung dengan adanya Undang-Undang No. 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara, pasal 23 ayat 1, mengatakan bahwa dalam rangka meningkatkan kemampuan pertahanan pemerintah melakukan penelitian dan pengembangan industri dan teknologi pertahanan.

Energi merupakan salah satu faktor penting dalam pencapaian pembangunan berkelanjutan (Khan et al., 2020). Pada bidang pertahanan dan keamanan, energi merupakan faktor utama dalam menjalankan seluruh operasi militer perang dan operasi militer selain perang. Dari perkembangannya sumber energi mengalami beberapa kali perubahan dari yang awalnya biomassa hingga menjadi fosil. Sebagian besar energi yang digunakan pada militer di Indonesia berasal dari energi fosil, terbukti dengan adanya penggunaan pada alpalhankam yang masih tinggi. Salah satu isu yang menjadi perhatian dunia saat ini terkait dengan pengembangan industri dan teknologi adalah isu *global warming* (Utina, 2009).

BMKG secara keseluruhan menyatakan perubahan suhu yang terjadi di Indonesia, pada tahun 2016 menjadi tahun dengan suhu terpanas dengan nilai anomali sebesar 0,6°C sepanjang periode 1981 sampai dengan 2022 (BMKG, 2023). Beberapa tahun terakhir telah terjadi pertumbuhan frekuensi dan intensitas peristiwa cuaca ekstrim, perubahan cuaca memiliki hubungan antara aktivitas manusia dengan terjadinya cuaca ekstrim (IPCC, 2023). Pada saat yang sama pemikiran militer mengenai perubahan iklim mengalami perkembangan seiring dengan meningkatnya kesadaran akan ancaman tersebut (Verdict, 2022).

Secara mendasar bahwa analisis pada bidang pertahanan dan keamanan hanya berfokus pada hubungan antar negara dan terjadinya suatu konflik. Rancangan alat peralatan pertahanan dan keamanan (alpalhankam) perlu dikembangkan dan adanya transformasi perubahan sejalan dengan pemikiran strategis dan hasil deklarasi KTT G20 di Bali tentang *energy transition mechanism* yang menyangkut perubahan iklim dan Indonesia memiliki komitmen untuk mencapai *net zero emissions* pada tahun 2060 (Hidranto, 2022).

Pada perancangan alpalhankam dalam mendukung strategi pertahanan dan keamanan akan menghadapi tantangan untuk menurunkan jejak karbon dan beralih ke kendaraan hibrida dengan bahan bakar alternatif atau bersumber dari energi baru terbarukan. Pada alat peralatan militer yang digunakan di Indonesia, hampir keseluruhan menggunakan bahan bakar fosil (Isbah & Mangestiyono, 2020) (Kurniawan, 2022). Dampak yang ditimbulkan oleh penggunaan energi ini secara terus menerus dapat menyebabkan efek rumah kaca pada lapisan ozon. Gas monoksida yang dihasilkan dari pembakaran mesin, dapat membuat panas dari matahari terperangkap dalam atmosfer bumi (Utina, 2009). Pemerintah Indonesia melalui kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah mengeluarkan beberapa kebijakan terkait dengan penggunaan bahan bakar fosil untuk perlahan diganti dengan menggunakan Energi Baru Terbarukan (EBT) (ESDM, 2020).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bahwa penggunaan teknologi Ramah Lingkungan pada militer saat ini Saat merupakan salah satu yang penting termasuk pada teknologi untuk angkatan bersenjata dengan melalui penelitian dan penerapan berbagai jenis solusi. Selain itu, teknologi ramah Lingkungan memiliki peran penting dalam rencana aksi di masa depan untuk mencapai tingkat efisiensi energi yang lebih tinggi dan cocok untuk diterapkan di berbagai peralatan berbeda yang diterapkan di medan perang dengan biaya operasi yang dapat diterima (Mili & Bojkovi, 2023).

Adanya implementasi konsep militer hijau di Indonesia masih relatif rendah dan terbatas pada beberapa inisiatif yang terisolasi, seperti penggunaan kendaraan listrik dan panel surya. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kurangnya kesadaran tentang lingkungan dan keberlanjutan, prioritas tugas militer yang mengutamakan aspek keamanan dan pertahanan, serta keterbatasan sumber daya dan anggaran. Sebagai upaya dalam mencapai *net zero emission* dalam bidang pertahanan khususnya penggunaannya pada alpalhankam maka diperlukan kajian solusi efisiensi penggunaan energi ramah lingkungan pada alpalhankam, Sehingga kedepan dibutuhkan kebijakan yang mengatur penggunaan energi ramah lingkungan di bidang militer khususnya alpalhankam (R, Mahmudah K S & Kurniawan, 2019).

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *literature review* yang berupa *desk research* dari berbagai literatur terkait potensi penggunaan energi ramah lingkungan pada Alpalhankam dan melakukan *interview* dengan ahli terkait yaitu Dirjen Pothan Kementrian Pertahanan RI dan beberapa masukan hasil diskusi dengan Direktur Utama PT Drigantara Indonesia. Analisis SWOT digunakan untuk dapat mengkaji kondisi terkini dari penggunaan energi ramah lingkungan pada alpalhankam di Indonesia. Instrumen *interview* terdiri dari pertanyaan yang berkaitan dengan ancaman apa yang dapat mengintai Indonesia, sehingga muncul kebutuhan pertahanan, dan penggunaan energi baru terbarukan di bidang pertahanan yang disertai peluang dan tantangannya.

Analisis SWOT mengatur kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman utama ke dalam daftar yang terorganisir. *Strengths* (kekuatan) dan *Weaknesses* (kelemahan) merupakan variabel yang berasal dari internal. Sedangkan *Opportunities* (peluang) dan *Threats* (ancaman) merupakan variabel yang berasal dari eksternal. Analisis *strengths* (kekuatan) dilakukan dengan menganalisis keunggulan dan yang menjadi kekuatan dari energi ramah lingkungan yang sudah ada atau sedang dikembangkan dalam penggunaannya pada alpalhankam, analisis *weaknesses* (kelemahan) dilakukan dengan menganalisis sisi kelemahan energi ramah lingkungan yang sudah ada yang dapat menjadi kekurangan dalam peluang penggunaannya. Analisis *Opportunities* (peluang) dilakukan dengan memproyeksikan peluang kedepan dalam penggunaan energi ramah lingkungan pada alpalhankam. *Threats* (ancaman) dilakukan dengan menganalisis dan melakukan proyeksi ancaman yang dapat ditimbulkan dari energi ramah lingkungan pada alpalhankam. Dalam konteks penggunaan energi ramah lingkungan pada alpalhankam, maka yang menjadi batasan internal dan eksternal adalah kesiapan dalam penggunaan energi ramah lingkungan pada Alpalhankam di suatu negara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan teknologi energi ramah lingkungan telah diterapkan pada beberapa negara (Wang et al., 2019) (Shi & Lai, 2013), tetapi penerapannya hanya sebatas pada penggunaan komersial dan tidak berada pada ranah militer. Salah satu penggunaan teknologi energi ramah lingkungan adalah menggunakan bahan bakar biodiesel (Neupane, 2023). Saat ini pemerintah Indonesia telah mewajibkan transportasi darat dan laut menggunakan Biodiesel B30 dan akan meningkat menjadi B35 dan B40 yang saat ini sedang dalam rangkaian uji (ESDM, 2022). B30 disini mengartikan jumlah campuran FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) terhadap solar konvensional. B30 terdiri dari 30% FAME dan 70% Solar Konvensional.

Kemudian adanya penggunaan bahan bakar bioavtur pada pesawat, yang salah diterapkan pada pesawat Pesawat CN235-220 *Flying Test Bed* (FTB) PT DI dengan jenis bahan bakar Bioavtur J2.4 yang berhasil uji terbang dari Bandung ke Jakarta (PT Dirgantara Indonesia, 2021). Selain itu, penggunaan energi hijau diterapkan dengan menggunakan teknologi baterai pada *electric vehicle* (PT PINDAD, 2022). Saat ini penggunaan baterai telah diimplementasikan pada sepeda motor produksi PT PINDAD. Motor listrik yang diproduksi oleh PT LEN melalui anak perusahaannya PT Eltran Indonesia, dengan nama *E-Tactical Stealth Trail*. Motor listrik ini merupakan motor listrik khusus yang dapat digunakan dalam operasi militer (PT LEN, 2022). Dari teknologi yang telah diterapkan di Indonesia, dilakukan pengkajian terhadap penerapan teknologi tersebut apabila diterapkan pada alpalhankam dan pengaruhnya dari sisi daya gerakannya. Hasil kajian dilakukan dengan menggunakan analisis SWOT. Berikut merupakan hasil kajian pada energi biodiesel dan bioavtur sebagai sumber energi ramah lingkungan yang diterapkan pada alpalhankam.

1. Kekuatan (*Strengths*)

Biodiesel yang dihasilkan dari minyak lemak hewan dan tumbuhan merupakan sumber energi yang berkelanjutan. Biodiesel bersifat efisien, untuk membuatnya diperlukan katalis heterogen yang baik untuk mengubah minyak mentah menjadi biodiesel. Sebuah katalis berpori yang terbuat dari karbonat-fluorapatit yang dimuat dengan nikel dan besi telah disintesis dan diuji untuk mengonversi minyak jelantah menjadi biodiesel. Katalis dibuat dengan melarutkan fosforit dalam asam nitrat, kemudian ditambahkan larutan klorida nikel ke dalam filtratnya. Katalis yang digunakan memiliki sifat lebih efektif daripada katalis hidroksiapatit dan katalis berbasis kalsium lainnya yang biasa digunakan. Produk biodiesel yang dihasilkan dapat memenuhi spesifikasi ASTM D-6571 dan sebagian besar standar biodiesel EN 14214 (Abukhadra et al., 2018).

Biofuel sebagai sumber energi menawarkan beberapa manfaat terhadap lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Campuran biodiesel dalam bahan bakar Solar-Rendah Kadar Belerang (ULSD) dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon dioksida dan gas rumah kaca yang terkait dengan transportasi dan polusi udara (Abukhadra et al., 2018). Biodiesel adalah alternatif yang menjanjikan untuk bahan bakar fosil atau diesel berasal dari minyak bumi dengan sifat yang serupa dan dapat mengurangi jejak karbon dan emisi gas rumah kaca. Biodiesel dapat diproduksi dari bahan baku yang terbarukan dan berkelanjutan seperti minyak nabati, dan bersifat mudah terdegradasi dan tidak beracun bagi ekosistem. Proses produksi biodiesel dapat dilakukan melalui katalis kimia tradisional (Transesterifikasi Asam atau Alkali) atau transesterifikasi yang dimediasi enzim (Mathew et al., 2021).

Bioavtur dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin langka dan mahal, mengurangi emisi karbon dioksida dan gas rumah kaca, sehingga berkontribusi pada perlindungan lingkungan dan penanggulangan perubahan iklim (Fahmi et al., 2022). Menunjukkan komitmen industri penerbangan dalam mengembangkan teknologi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dan dapat digunakan pada pesawat yang sudah ada tanpa perlu modifikasi yang signifikan (RI, n.d.)

2. Kelemahan (*Weaknesses*)

Biodiesel memiliki sifat-sifat yang dapat dibandingkan dengan solar, seperti panas pembakaran dan angka oktan. Namun, emisi partikel, CO₂, dan sulfur yang dihasilkan saat membakar biodiesel jauh lebih rendah. Proses produksi biodiesel merupakan proses transesterifikasi sederhana dari triasilgliserol atau minyak lemak dengan bantuan katalis basa atau asam (Mathew et al., 2021)

Biodiesel diproduksi melalui transesterifikasi katalitik yang dilakukan oleh katalis homogen atau heterogen. Katalis alkalin seperti hidroksida kalium dan natrium umumnya digunakan dalam proses transesterifikasi lemak. Namun, katalis ini menyebabkan kesulitan dalam transesterifikasi bahan baku berkualitas rendah (Ingle et al., 2020). Penggunaan enzim sebagai katalis alami dengan kondisi kerja yang ramah lingkungan, memerlukan proses dengan enzim untuk mengatasi kekurangan sintesis kimia. Saat ini, 95% dari produksi biodiesel di seluruh dunia berasal dari minyak nabati yang dapat dimakan, sedangkan minyak daur ulang dan lemak hewan masing-masing menyumbang 10% dan 6%. Dari has tersebut masih pada setiap proses masih memiliki keterbatasan (Mathew et al., 2021).

Selain itu biodiesel berpotensi menyebabkan penyumbatan pada filter lebih tinggi dibandingkan petro-diesel. Penyaringan oli bahan bakar yang biasa digunakan merupakan *cartridge* dengan media yang terbuat dari bahan sintetik berpori. Pada gambar mikroskop endoskopi, permukaan media filter jelas terdegradasi. Terlihat bahwa pori-pori media penyaringan sebagian besar tertutup oleh lumpur minyak. Nilai kecenderungan pemblokiran penyaringan (FBT) digunakan untuk memprediksi batas waktu penyumbatan dalam penyaringan. Pada penelitian penggunaan B20 melakukan FBT berkisar antara 1,51-1,84, sedangkan pada penggunaan B100 berkisar 1,58-2,42 dalam periode kontak 3500 jam. Penyumbatan dini terjadi pada media penyaringan yang bersentuhan dengan B100, dan penggantian media penyaringan harus dilakukan sebelum 8 bulan. Ada hubungan yang signifikan antara kadar air biodiesel terhadap laju dan karakteristik penyumbatan pada media penyaringan (Komariah et al., 2018).

Bioavtur dalam proses produksinya masih memerlukan penggunaan energi dan sumber daya yang cukup besar sehingga masih memerlukan investasi yang mesar untuk mencapai skala ekonomis, dengan kualitas yang masih perlu ditingkatkan dalam memenuhi standar kualitas bahan bakar pesawat. Adanya peningkatan produksi bioavtur dapat memicu dampak lingkungan dan sosial, seperti konflik lahan, deforestasi, dan penurunan ketersediaan pangan (Widayatno et al., 2016).

3. Peluang (*Opportunities*)

Penggunaan enzim yang ramah lingkungan dapat menghasilkan proses produksi yang lebih hemat energi dengan produk samping yang terbatas. Penggantian sumber bahan baku dari *Jatropha* atau minyak kelapa sawit menjadi minyak goreng bekas dapat mengurangi biaya proses dan mengatasi masalah limbah minyak goreng. Pengembangan proses produksi biodiesel yang efektif dan berkelanjutan dapat menjadi kunci bagi pembangunan ekonomi besar. Oleh karena itu, penelitian yang difokuskan pada masalah pasokan bahan baku, inovasi dalam proses produksi seperti konfigurasi reaktor yang tahan kondisi yang keras, atau pengembangan enzim yang hemat biaya akan diperlukan (Mathew et al., 2021).

Meskipun setiap proses memiliki keterbatasan, efisiensi enzim, ketahanan terhadap alkohol, dan tingkat pemulihan adalah faktor penting yang harus diatasi. Tanpa keraguan, produksi biodiesel menggunakan bahan baku terbarukan dan enzim sebagai katalis dapat direkomendasikan untuk tujuan komersial, tetapi penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dapat menjadi keuntungan (Mathew et al., 2021). Implementasi yang efektif dari biomassa dalam skema energi saat ini akan melibatkan pengembangan teknologi baru untuk produksi biofuel secara massal. Dua metode utama untuk mengubah biomassa menjadi biofuel adalah proses termo-kimia dan biokimia. Konversi termo-kimia adalah jalur utama untuk menghasilkan produk seperti bioetanol, biodiesel, bio-minyak, *bio-syngas*, dan *biohydrogen* (Saoud, 2018).

Biofuel termo-kimia semakin mendapat perhatian belakangan ini karena biofuel ini menawarkan beberapa keuntungan teknis dan strategis, seperti infrastruktur industri yang sangat berkembang dan biofuel dapat diproduksi dari hampir semua jenis biomassa yang tersedia dalam jangka waktu yang wajar tanpa modifikasi yang signifikan dalam proses keseluruhan. Pada suhu reaksi yang lebih rendah, pengolahan termal dari biomassa dengan metode katalitik menawarkan kemungkinan menghasilkan produk yang sempit secara selektif dan mengurangi kebutuhan energi dari transformasi (Saoud, 2018).

Adanya kebijakan pemerintah dan regulasi yang mendorong penggunaan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan (RI, n.d.). Potensi pengembangan teknologi dan inovasi baru yang dapat meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas bioavtur (Dwiratna et al., 2015; Fahmi et al., 2022; Sabarman et al., 2019). Berpeluang untuk menjalin kemitraan dan kerja sama dengan perusahaan dan institusi lain untuk mempercepat pengembangan bioavtur (Widayatno et al., 2016).

4. Ancaman (*Threats*)

Salah satu masalah besar dalam menggunakan minyak nabati generasi kedua adalah bahwa ini mengurangi umur mesin jika minyak tidak diolah dengan benar. Masalah-masalah penggunaan biofuel generasi pertama dan kedua, seperti ketidakamanan ekonomi, sosial, dan pangan, dapat diatasi menggunakan biofuel generasi ketiga dan keempat. Biofuel generasi ketiga dan keempat dihasilkan dari berbagai jenis alga, yang sangat efisien, dan biofuel berbasis alga memiliki potensi besar dan tidak ada persaingan untuk makanan atau tanah. Saat ini, biofuel generasi keempat memiliki harapan besar untuk mengatasi kelemahan intrinsik dan memenuhi permintaan energi yang semakin meningkat di dunia (Neupane, 2023). Meskipun budidaya alga sederhana, produksi pakan rumput laut sangat kompleks karena kandungan lipid yang tinggi, dan masalah panen harus diatasi. Pekerjaan terperinci tentang parameter kompatibilitas bahan bakar diperlukan (Neupane, 2023).

Dari analisis SWOT di atas apabila biodiesel diterapkan pada alpalhankam yang di Indonesia, maka terdapat permasalahan utama berupa *clogging* (Komariah et al., 2018) yang menyebabkan biaya perawatan berupa penggantian filter yang sering dilakukan. Apabila diterapkan pada tank yang ada di Indonesia, relatif tidak begitu berpengaruh karena bahan bakar disimpan hanya dalam jumlah yang relatif kecil. Tetapi apabila diterapkan pada kapal perang KRI maka hal ini akan berpengaruh cukup signifikan.

Biodiesel yang disimpan pada kapal KRI memiliki jumlah yang cukup besar dan dapat mencapai ratusan ton jumlahnya. Mengingat biodiesel yang memiliki sifat yang dapat teroksidasi (Pullen & Saeed, 2012) dan terdegradasi (W. B. Zhang, 2012) maka hal ini menyebabkan kualitas dari bahan bakar tersebut dapat menurun dan mengakibatkan kerja dari mesin tidak sesuai dengan semestinya. Sifat biodiesel yang memiliki kemampuan menyerap air juga memperburuk kondisi didalam tangki (Mirghani et al., 2011). Air yang terakumulasi pada tangki bahan bakar dapat menyebabkan karat dan juga residu endapan yang berada didalam tangki (Hoang et al., 2019). Endapan ini apabila tidak dibuang akan menyebabkan ikut serta dengan bahan bakar dan masuk kedalam ruang bakar. Kotoran yang terbakar dalam ruang bakar dapat menyebabkan kerak dan berpotensi untuk merusak silinder liner dari mesin. Sehingga sifat biodiesel yang teroksidasi dan terdegradasi perlu untuk dapat ditangani.

Salah satu cara yang telah diterapkan oleh negara luar pada beberapa kasus diatas adalah dengan melakukan *heat treatment* pada bahan bakar tersebut (Wahyuni, 2010). Dengan adanya perlakuan panas, maka diharapkan kandungan air yang berada pada bahan bakar dapat berkurang. Selain itu penggunaan sirkulasi pada bahan bakar dilakukan agar endapan air pada tangki bahan bakar tidak begitu banyak. Selain adanya *heat treatment* dan sirkulasi pada bahan bakar tersebut, penambahan biocide dapat dilakukan sebagai opsi untuk menghindari terjadinya *clogging* (Bücker et al., 2014). *Clogging* tersebut dapat terjadi diakibatkan karena terbentuknya gel yang diakibatkan oleh pertumbuhan jamur dan juga bakteri pada bahan bakar tersebut. Apabila dilihat dari bahan pembentuk bahan bakar tersebut, biodiesel di Indonesia merupakan campuran antara FAME yang

berasal dari minyak kelapa sawit yang dicampurkan dengan solar hasil penyulingan minyak bumi. Maka wajar apabila bakteri dan jamur dapat tumbuh pada media tersebut. Semakin banyak kandungan dari FAME maka bakteri dan jamur yang tumbuh juga semakin banyak sehingga menyebabkan pembentukan gel juga semakin cepat (Bücker et al., 2014).

Masih rendahnya tingkat produksi bioavtur dapat mengakibatkan tingginya harga jual, sehingga kurang kompetitif dibandingkan dengan bahan bakar fosil (Widayatno et al., 2016). Kemungkinan adanya resistensi atau tekanan dari kelompok-kelompok yang terpengaruh oleh kebijakan penggunaan lahan atau penurunan ketersediaan pangan (Widayatno et al., 2016). Pengembangan teknologi bahan bakar alternatif lain yang lebih murah, lebih efisien, dan ramah lingkungan dapat menggeser posisi bioavtur sebagai bahan bakar alternatif pilihan di masa depan (Meichika et al., 2021). Adanya ketidakpastian terkait stabilitas dan keberlanjutan pasokan bahan baku nabati untuk produksi bioavtur (Meichika et al., 2021). Selain penggunaan biodiesel sebagai sumber energi ramah lingkungan yang diterapkan pada daya gerak suatu kendaraan, terdapat juga teknologi baterai yang dapat digunakan sebagai sumber energi daya gerak yang diterapkan pada kendaraan listrik. Semua bentuk penggerak elektrik akan memungkinkan mesin beroperasi pada mode efisiensi diberbagai kecepatan kendaraan. Dalam kasus desain elektrik hibrida, pemanfaatan penghematan bahan bakar dapat dimaksimalkan dengan sistem penyimpanan energi seperti paket baterai atau kapasitor.

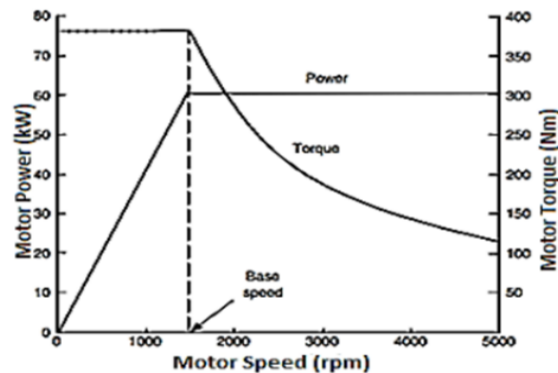
Beberapa teknologi yang memungkinkan dalam mendukung daya gerak telah diidentifikasi dalam mengatasi permasalahan yang ada. Dan yang paling menjanjikan adalah elektronika daya *silicon Carbide* (SiC). Teknologi kedua dengan peningkatan signifikan adalah baterai lithium Ion (Li-Ion). Kemudian yang lain yaitu tiga bahan kimia sedang dipertimbangkan, yaitu *Lithium Nickel Cobalt*, *Lithium Iron Phosphate* dan *Lithium Titanate*. Masing-masing kimia ini memberikan karakteristik yang berbeda dan dapat diaplikasikan secara berbeda (Khalil, 2009). Teknologi lain untuk meningkatkan kerapatan tenaga dan torsi motor traksi dan pengontrolnya juga akan meningkatkan integrasi listrik hibrida dalam kendaraan militer.

Selanjutnya untuk mengetahui potensi dari penggunaan baterai pada kendaraan listrik (*electric vehicle*) dilakukan dengan menggunakan analisis SWOT. Berikut merupakan hasil kajian pada baterai sebagai sumber energi ramah lingkungan yang diterapkan pada alpalhankam.

1. Kekuatan (*Strengths*)

Penentuan emisi yang dihasilkan oleh kendaraan berenergi baterai tidak hanya terkait pengisian kendaraan listrik pada jaringan listrik tertentu saja, melainkan melakukan juga tinjauan emisi yang terkait dengan jarak tempuh non listrik. Termasuk jarak tempuh pada kendaraan listrik hibrida *plug-in* dalam mode bensin dan jarak tempuh pada kendaraan listrik baterai, serta kendaraan konvensional. Penggunaan sumber energi listrik pada *Battery Electric Vehicle* (BEV) adalah 100% operasi dengan *electric*, *Plug-In Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) dapat dioperasikan dengan elektrik dan pembakaran dalam, serta *Conventional Vehicle* (CV) 100% pembakaran dalam (McLaren et al., 2016).

Pada penggunaannya di kendaraan listrik, baik semua jenis kendaraan listrik, kendaraan listrik hibrida *plug-in* (PHEV), dan kendaraan listrik hibrida (HEV) baterai memiliki emisi yang lebih rendah daripada kendaraan konvensional, dan emisi nol saat hanya menggunakan energi listrik (U.S Department of Eneqry, 2022). Baterai lithium ion memiliki kapasitas yang lebih besar dibawah kapasitas yang sama dan memiliki karakteristik yang ramah lingkungan dan menjaga perlindungan lingkungan dalam proses produksi, penggunaan, dan daur ulang (Chen et al., 2022).



Gambar 1. Karakteristik Motor Listrik. Sumber: (Nyoman, 2015)

Berdasarkan gambar 1. bahwa karakteristik dari motor listrik adalah ketika power atau tenaga dari motor listrik dibawah kecepatan dasar (*base speed*) maka akan terjadi penambahan secara linear hingga mencapai tenaga maksimum yang tepat berada saat di kecepatan dasar. Tenaga yang dihasilkan oleh motor listrik bernilai konstan sebesar tenaga maksimum yang dapat dihasilkan oleh motor listrik dari hasil proses kecepatan dasar sampai kecepatan maksimum. Sedangkan besar torsi yang dihasilkan oleh motor listrik adalah maksimum dari kecepatan awal sampai dengan *base*, dan akan menurun secara hiperbolik dari kecepatan *base* sampai kecepatan maksimum (Prasetyo & Wasiwitono, 2018) (Budi et al., 2019).

Pada kendaraan sistem transmisi berfungsi untuk mengkonversi torsi dan kecepatan dari sumber-sumber penggerak menjadi torsi dan kecepatan yang berbeda-beda yang akan diteruskan ke penggerak akhir (Prasetyo & Wasiwitono, 2018). Penggunaan baterai pada kendaraan listrik terdiri dari bahan lead acid, nikel metal dan metal lithium. Dengan spesifikasi yang dapat dibandingkan pada tabel 1. Bahwa baterai lithium ion tidak mengalami masalah pada memori dibandingkan dengan timbal asam dan nikel kadmium. Efek memori yang digunakan dapat mendefinisikan penurunan kapasitas baterai ketika sebagian diisi dan dikosongkan (Nelson et al., 1983) (Balagopal et al., 2018) (Muslimin et al., 2022). Lithium ion secara signifikan lebih baik daripada jenis baterai lainnya dengan siklus 600 – 3000. Baterai lithium ion tersusun dari bahan ramah lingkungan dan tidak mengandung masalah gas beracun serta memiliki keamanan yang tinggi yang ditunjukkan pada tabel 2 (Abdollahi et al., 2016) (Liu et al., 2019).

2. Kelemahan (*Weaknesses*)

Kepadatan energi baterai merupakan jumlah energi yang terkandung dalam baterai, yang biasanya disebut sebagai kerapatan energi. Kepadatan energi pada baterai sangat penting karena semakin tinggi kepadatan energi, maka semakin lama baterai dapat mengeluarkan muatannya (Anonim, 2022). Kepadatan energi didefinisikan sebagai jumlah energi yang dapat disimpan dalam satu per satuan volume atau per satuan berat (Kim et al., 2018). Pengembangan baterai li-on saat ini dibatasi oleh kepadatan energi, dibandingkan dengan kecepatan ekspansi skala industri. Tantangan kepadatan energi dengan baterai lion selalu relevan dengan proses kimia dalam baterai. Elektrolit dan pemisah sangat penting sebagai jalur ion lithium, dengan elektroda yang membutuhkan kapasitas penyimpanan yang besar untuk pengisian dan pemakaian yang berulang. Untuk transportasi ion lithium yang teratur dalam distribusi ion dan atom lithium dan reaksi kimia yang teratur, baterai li-on memerlukan berbagai bahan yang biasanya mengorbankan kerapatan energi (Fang, 2021).

Baterai sekunder lithium memiliki kemampuan menyimpan 150–250 watt-jam per kilogram (kg) dan dapat menyimpan energi 1,5–2 kali lebih banyak daripada baterai Na–S, dua hingga tiga kali lebih banyak daripada baterai aliran redoks, dan sekitar lima kali lebih banyak daripada baterai penyimpan timbal. Salah satu elemen kinerja penting dari perangkat penyimpanan energi adalah masa pakainya dan faktor ini memiliki dampak besar dalam tinjauan efisiensi ekonomi. Kemudian pertimbangan utama lainnya adalah tingkat ramah lingkungan

sejauh mana perangkat tersebut tidak berbahaya bagi lingkungan dan dapat didaur ulang (Kim et al., 2018).

Tabel 1. Perbandingan Antara Baterai yang Digunakan Pada EV. Sumber: (Chian et al., 2019)

Spesifik Energi (Wh/Kg)		Densitas Energi (Wh/L)	Spesifik Power (W/Kg)	Massa baterai untuk EV (kWh)	Perbandingan Reduksi massa	Efisiensi Energi (%)	Kapasitas (kWh)	Jarak untuk Beroperasi
Lead Acid	35-40	80-90	285	500-600	0%	85	1.28	Pendekatan. 22
Nikel Metal	50-70	100-140	200	300-400	36,36%	85	26.4	75-150
Lithium	150-200	250-400	200	100-140	40%	90	55	250

Tabel 2. Perbandingan Baterai yang Digunakan Pada EV Berdasarkan Kinerja Pengisian Daya. Sumber: (Liu et al., 2019)

Tipe Baterai	Siklus	Tegangan	Densitas Energi	Densitas Power	Self-Discharge Rate	Efisiensi Pengisian Daya	Temperatur Pengisian Daya	Temperatur Pengosongan
		V	W.H. Kg ⁻¹	W. Kg ⁻¹	% Month ⁻¹	%	°C	°C
Lithium ion battery	600-3000	3.2 – 3.7	100 – 270	– 250 – 680	3 – 10	80 – 90	0 – 45	(-20) – 60
Lead acid battery	200 – 300	2.0	30 – 50	180	5	50 – 95	(-20) – 50	(-20) – 50
NiCd battery	1000	1.2	50 – 80	150	20	70 – 90	0 – 45	(-20) – 65
NiMH battery	300 – 600	1.2	60 – 120	250 – 1000	30	65	0 – 45	(-20) – 65

Penggunaan teknologi mapan ini menunjukkan adanya masalah keamanan terkait *thermal runaway*. Sebuah kejadian kejadian yang timbul akibat penyalahgunaan sel mengakibatkan adanya kebakaran dan ledakan. Adanya serangkaian reaksi eksotermik menyebabkan sel menjadi terlalu panas dan emisi gas yang mudah terbakar dapat meluaskan dari tingkat sel ke seluruh paket baterai yang mengakibatkan terjadinya kebakaran atau ledakan (Barelli et al., 2021; K. Zhang et al., 2010)

Baterai lithium-ion rentan terhadap korsleting dan pengisian daya. Baterai lithium-ion dengan sirkuit yang pendek memungkinkan terjadi aliran listrik yang tinggi tercipta dan suhu baterai meningkat hingga beberapa ratus derajat sehingga menghasilkan reaksi pembakaran bata baterai (Jacoby, 2007). Kasus kebakaran durasi panjang dilaporkan terjadi pada kendaraan listrik (EV) kecil dengan baterai berkapasitas rendah, kendaraan mewah dan kendaraan van yang melibatkan kerusakan pada bangunan didekatnya dari efek api dan asap yang diakibatkan dari kasus kebakaran (Barelli et al., 2021; Huang, 2019; Sun et al., 2020). Kasus meledaknya dan terbakarnya logam lithium menghasilkan kotoran yang dapat mencemari baterai dan menyebabkan pembentukan dendrit yang berpotensi terjadinya korsleting dan ledakan (Isidor,

2007). Kekuatan pada baterai lithium ion akan berkurang pada saat cuaca dingin (Molenda, 2011) dan banyak material bahan anoda dan katoda potensial memiliki konduktivitas listrik yang buruk, terjadi interaksi negative lainnya dengan elektrolit, stabilitas yang buruk, ekspansi volume yang cepat, dan kerapuhan mekanis (S. Rangarajan et al., 2022).

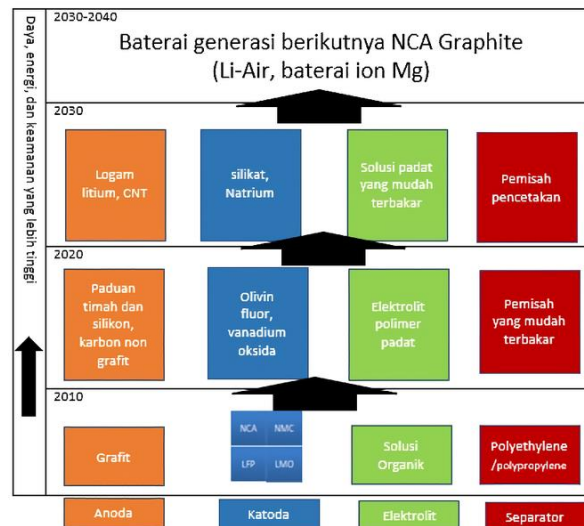
3. Peluang (*Opportunities*)

Pada pengembangannya di kendaraan listrik, ada banyak jenis baterai yang digunakan sebagai sumber energi. Kapasitas baterai yang lebih tinggi diperlukan karena kendaraan listrik akan mengonsumsi listrik ribuan kali lebih banyak dan melakukannya jauh lebih cepat dibandingkan pada smartphone. Baterai kendaraan listrik harus memiliki kapasitas energi dan daya keluaran yang tinggi hingga 100 kW atau hingga puluhan kWh. Selain itu harus mampu mengatasi kendala berat dan ruang yang signifikan sejalan dengan harga yang kompetitif. Pada Kendaraan listrik (EV) memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar (Dattathreya et al., 2012) (Barth, T Swaim, 2018).

Sebagai komponen inti dari kendaraan energi baru, kualitas daya baterai lithium ion sebagai sumber energi secara langsung Menentukan kinerja seluruh kendaraan. Baterai lithium selalu menjadi pilihan pertama sebagai baterai hijau, dengan peningkatan berkelanjutan dari teknologi produksi dan kompresi biaya, selain itu baterai lithium telah banyak digunakan di berbagai bidang dalam beberapa tahun terakhir. Pasar baterai lithium ion memiliki pengembangan yang lebih luas dan telah memasuki periode yang meningkat dibandingkan dengan baterai tradisional (Chen et al., 2022).

Pengembangan material potensial untuk meningkatkan kinerja baterai di masa depan akan dicapai dengan penggunaan nano teknologi dengan menciptakan ukuran nano sebesar 10^{-9} m melalui manipulasi skala atom. Penggunaan bahan nano dapat menunjukan sifat kimia dan fisika yang berbeda dari bahan yang berukuran makro sebesar 10^{-6} meter. Adanya nanoteknologi diharapkan dapat meningkatkan kinerja bagian baterai lithium ion yaitu katoda, anoda, dan separator. Gambar 2 menunjukan road map teknologi baterai untuk kendaraan dan pengembangan baterai lithium ion dari tahun 2010 hingga 2030 dan generasi selanjutnya setelah dengan meningkatkan kinerja baterai masa depan melalui kepadatan energi, daya, dan keamanan yang lebih tinggi (Lowe et al., 2010).

Nanoteknologi dalam meningkatkan keamanan dan performa baterai. Dengan anoda/katoda berukuran nano dengan densitas daya yang lebih tinggi; anoda/katoda berukuran nano dengan densitas yang lebih tinggi; anoda/katoda berukuran nano untuk meningkatkan kecepatan pengisian baterai; bahan nano untuk meningkatkan konduktivitas listrik anoda dan katoda; bahan nano untuk meningkatkan stabilitas termal; nanoteknologi untuk mengatasi stabilitas termal; nanoteknologi yang mengontrol ukuran dan property nanomaterial; dan teknologi sebagai evaluasi nanomaterial (Lowe et al., 2010).



Gambar 2. Road map perkembangan teknologi baterai dengan nano teknologi pada kendaraan listrik dari tahun 2010 sampai dengan 2030 dan 10 tahun berikutnya. Sumber: (DOE, 2007) (NEDO, 2008) (Lowe et al., 2010)

4. Ancaman (*Threats*)

Meningkatnya penggunaan sensor di kendaraan listrik menciptakan ancaman siber dan masalah pengumpulan privasi data yang. Sensor mengumpulkan berbagai informasi, termasuk identifikasi pengemudi dan penumpang, data lokasi, dan kinerja kendaraan, yang dapat digunakan untuk tujuan jahat (Aghapour et al., 2022). Selain itu, aktor jahat bisa mengeksploitasi kerentanan perangkat lunak untuk mendapatkan akses ke sistem kendaraan dan mengambil kendali mobil (Miller, 2019). Ancaman siber yang mungkin terjadi pada kendaraan seperti *malware*, *private data*, *third data*, dan lainnya (Muhammad et al., 2023). Ancaman siber dapat menyebar melalui kendaraan menuju stasiun pengisian dan sebaliknya, bahkan bisa meluas menuju perangkat lain yang berhubungan (Mousavian et al., 2018).

Emisi bahan kimia berbahaya yang dihasilkan disaat terjadi kerusakan, kebocoran atau *self-ignition* dari sel lithium-ion perlu diberikan perhatian khusus. Hasil pengukuran emisi berbahaya dalam skenario buatan dari kejadian diatas menunjukkan bahwa komposisi campuran gas yang dipancarkan dari sel Li-ion yang rusak berbeda secara signifikan dari komposisi aslinya dan mungkin beracun bagi manusia dan lingkungan. Beberapa dari campuran gas tersebut memiliki karakteristik mudah terbakar, mudah meledak, beracun bagi lingkungan dan manusia, merusak organ tubuh, karsinogenik, dan mutagenik (Nedjalkov et al., 2016).

Baterai lithium-ion terdiri dari logam berat dan elektrolit beracun, dan diakhir masa pakainya dapat menimbulkan ancaman ketika komponen sel ini terpapar ke lingkungan terdekat. Komponen ini dapat dengan mudah menyebabkan pencemaran air, terutama jika disimpan di lokasi TPA. Demikian pula dengan pembakaran yang dapat menghasilkan emisi gas beracun ke dalam lingkungan (Zheng et al., 2018). Sebagian besar bahan kimia yang digunakan pada baterai Li-ion dapat menyebabkan iritasi kulit atau mata, beracun bagi tubuh, dan dapat menyebabkan alergi. Sejumlah besar senyawa yang digunakan juga mudah terbakar dan memiliki sifat eksplosif (Sobianowska-Turek et al., 2021).

Pada penerapan kendaraan listrik di alpalhankam, terdapat beberapa permasalahan terutama dalam segi kesiapan teknologi tersebut. Hasil dari analisis SWOT diatas menunjukkan bahwa teknologi baterai saat ini masih belum mampu mendukung kendaraan tempur secara penuh, terutama dari segi kepadatan energi yang masih kurang dan risiko yang ditimbulkan dari kerusakan baterai akibat menerima serangan. Namun penerapan pada kendaraan militer non tempur seperti ambulans, kendaraan dapur lapangan, dan kendaraan administrasi akan lebih bermanfaat bila menggunakan kendaraan listrik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil kajian penggunaan teknologi energi ramah lingkungan terdapat beberapa aplikasi penggunaan teknologi pada aspek komersial dan terbatas pada alpalhankam seperti penggunaan biodiesel, bioavtur, dan penggunaan baterai. Dari analisis SWOT yang dilakukan penggunaan tiga energi tersebut sangat berpotensi untuk diterapkan pada alpalhankam, dengan memperhatikan solusi atas permasalahan yang ditimbulkan. Seperti penggunaan *heat treatment* dan *circulation* pada biodiesel dan juga penambahan biocides. Selain itu solusi atas penggunaan baterai pada alpalhankam juga sangat berpotensi dengan melakukan riset terhadap material terutama terkait teknologi nano sehingga agar lebih aman untuk digunakan pada kendaraan.

Selain itu penggunaan energi tersebut dilihat dari sisi jangkauan operasi maka biodiesel atau bioavtur akan lebih cocok pada jangkauan misi yang panjang, karena memiliki energi yang lebih padat, sedangkan baterai lebih cocok pada jangkauan misi yang lebih pendek. Serta jika dari segi keandalan maka energi biodiesel atau bioavtur lebih menjadi pertimbangan utama karena lebih stabil dan dapat diandalkan selama operasi, sedangkan baterai dapat lebih rentan terhadap kegagalan.

Kemudian dengan melihat dua sisi dari jangkauan misi operasional dan keandalan maka untuk aplikasi yang dapat dilakukan adalah dapat digunakan sebagai energi pada kendaraan yang digunakan pada operasi militer selain perang seperti ambulans, kendaraan dapur, dan lainnya yang termasuk kendaraan non kombatan, hal ini di karenakan kendaraan-kendaraan tersebut tidak beroperasi pada medan operasi dengan jangkauan luas atau panjang dan tantangan yang berat untuk menggunakan energi yang banyak.

Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas diharapkan menjadi masukan dalam pemanfaatan energi ramah lingkungan di bidang militer, dalam penggunaannya pada alpalhankam Indonesia. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan metode SWOT dapat menjadi pertimbangan dalam pembuatan arah kebijakan penggunaan energi ramah lingkungan dalam militer di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada semua pihak yang mendukung dan memberi masukan dan saran atas selesainya penulisan itu, terutama Ditjen Pothan, PT Dirgantara Indonesia, dan para narasumber yang telah memberikan masukan dan pandangan pada hasil analisis pada tulisan ini.

REFERENSI

- Abdollahi, A., Han, X., Avvari, G. V., Raghunathan, N., Balasingam, B., Pattipati, K. R., & Bar-Shalom, Y. (2016). Optimal battery charging, Part I: Minimizing time-to-charge, energy loss, and temperature rise for OCV-resistance battery model. *Journal of Power Sources*, 303(February), 388–398. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.02.075>
- Abukhadra, M. R., Dardir, F. M., Shaban, M., Ahmed, E. A., & Soliman, M. F. (2018). Spongy Ni/Fe carbonate-fluorapatite catalyst for efficient conversion of cooking oil waste into biodiesel. *Environmental Chemistry Letters*, 16(2), 665–670. <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0695-2>
- Aghapour, R., Zeraati, M., Jabari, F., Sheibani, M., & Arasteh, H. (2022). cybersecurity and Data Privacy Issues of Electric Vehicles Smart Charging in Smart Microgrids. In *Electric Vehicle Integration via Smart Charging*; Springer, 85–110.
- Anonim. (2022). *Why Does Energy Density Matter In Batteries?* Dragonfly Energy. <https://dragonflyenergy.com/why-does-energy-density-matter-in-batteries/#:~:text=Battery energy density is the,energy density when comparing size.>

- Balagopal, B., Huang, C. S., & Chow, M.-Y. (2018). *Effect of calendar ageing on SEI growth and its impact on electrical circuit model parameters in Lithium ion batteries*. 32–37. <https://doi.org/10.1109/IESES.2018.8349846>.
- Barelli, L., Bidini, G., Ottaviano, P. A., Pelosi, D., Perla, M., Trombetti, L., Gallorini, F., & Serangeli, M. (2021). Electric vehicles fire protection during charge operation through Vanadium-air flow battery technology. *Heliyon*, 7(9), e08064. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08064>
- Barth, T Swaim, R. (2018). *NTSB Investigations of EV Fire*.
- BMKG. (2023). *Ekstrem Perubahan Iklim*. <https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=ekstrem-perubahan-iklim>
- Bücker, F., Barbosa, C. S., Quadros, P. D., Bueno, M. K., Fiori, P., Huang, C. te, Frazzon, A. P. G., Ferrão, M. F., de Oliveira Camargo, F. A., & Bento, F. M. (2014). Fuel biodegradation and molecular characterization of microbial biofilms in stored diesel/biodiesel blend B10 and the effect of biocide. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 95(PB), 346–355. <https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2014.05.030>
- Budi, N., Yoga, K., & Nyoman, I. (2019). Desain dan Analisis Sistem Tenaga dan Transmisi pada Mobil Bertenaga Listrik Ezzy ITS II. *JURNAL TEKNIK ITS*, 8(1).
- Chen, Ji., Huang, X., & Wang, H. (2022). Lithium Battery, About Its History, Future Development, Environmental Impact and System Economics. *Proceedings of the 2021 International Conference on Public Art and Human Development (ICPAHD 2021)*, 638(Icpahd 2021), 103–109. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220110.021>
- Chian, T., Wei, Y., Ze, W. L. J., Ren, E. L. M., Ping, L. Z., Bakar, Y. E. A., Faizal, N. Z., & M Sivakumar, S. (2019). A Review on Recent Progress of Batteries for Electric Vehicles. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(24), 4441–4461. <http://www.ripublication.com>
- Dattathreya, M. S., Singh, H., & Meitzler, T. (2012). Detection and elimination of a potential fire in engine and battery compartments of hybrid electric vehicles. *Advances in Fuzzy Systems*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/687652>
- DOE. (2007). *Plug in Hybrid Electric Vehicle R&D Plan*. http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/program/phev_rd_plan_02-2807.pdf.%0A
- Dwiratna, B., Soebagjo, D., Teknologi, P., Energi, S., Pengkajian, B., & Teknologi, P. (2015). PENGEMBANGAN KATALIS BERBASIS NiMo ALUMINA UNTUK REAKSI HIDRODEOKSIGENASI MINYAK NABATI MENJADI BIOAVTUR. *Jurnal Energi Dan Lingkungan (Enerlink)*, 11(2). <https://doi.org/10.29122/ELK.V11I2.1580>
- ESDM. (2020). *Transisi Energi Mutlak Diperlukan*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/10/22/2667/menteri.arifin.transisi.energi.mutlak.diperlukan?lang=en>
- ESDM, K. (2022). *Penetapan Alokasi Biodiesel Tahun 2023 Sebesar 13,15 Juta Kiloliter*.
- Fahmi, I., Maulani, T. S. M., Sasongko, N. A., & Yoessiantoro, D. (2022). Bahan Bakar Hayati Sebagai Pengganti Bahan Bakar Fosil (Biofuel : Biodiesel, Bioethanol, BioAvtur, Green Diesel, Green Gasoline, Green Avtur). *TNI Angkatan Udara*, 1(3).
- Fang, H. (2021). Challenges with the Ultimate Energy Density with Li-ion Batteries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 781(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/781/4/042023>
- Hasanah, F. T. (2020). Karakteristik Wilayah Daratan dan Perairan Indonesia. *Jurnal Geografi*, 20(13), 1–6. <https://www.researchgate.net/publication/345803603>
- Hidranto, F. (2022). *Indonesia Peroleh Komitmen Hijau dari G20*. Portal Informasi Indonesia. <https://www.indonesia.go.id/kategori/editorial/6687/indonesia-peroleh-komitmen-hijau-dari-g20?lang=1>
- Hoang, A. T., Tabatabaei, M., & Aghbashlo, M. (2019). A review of the effect of biodiesel on the corrosion behavior of metals/alloys in diesel engines. *Https://Doi.Org/10.1080/15567036.2019.1623346*, 42(23), 2923–2943. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1623346>

- Huang, E. (2019). Electric Vans from One of China's Biggest EV Makers Are Catching Fire. *Quartz*.
- Ingle, A. P., Chandel, A. K., Philippini, R., Martiniano, S. E., & da Silva, S. S. (2020). Advances in nanocatalysts mediated biodiesel production: A critical appraisal. *Symmetry*, 12(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/sym12020256>
- IPCC. (2023). *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/>
- Isbah, I., & Mangestiyono, W. (2020). Analysis the cause of leakage and repair of floor plates diesel fuel tank 20-D-2 at PT BADAK NGL Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 845(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/845/1/012043>
- Isidor, B. (2007). *Lithium-ion Safety Concerns*. Bartteray University.
- Jacoby, M. (2007). *Hazardous failures of lithium-ion batteries are uncommon, yet researchers strive to minimize dangers*. C&EN Serving the Chemical, Life Sciences and Laboratory Worlds. <https://pubsapp.acs.org/cen/science/85/8551sci1.html?>
- Khalil, G. (2009). *Challenges of Hybrid Electric Vehicles for Military Applications*. 1–3.
- Khan, H., Khan, I., & Binh, T. (2020). *The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: A panel quantile regression approach*. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.04.002>
- Kim, D. K., Yoneoka, S., Banatwala, A. Z., Kim, Y.-T., & Nam, K.-Y. (2018). Handbook on Battery Energy Storage System. In *Asian Development Bank* (Issue December). Asian Development Bank. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22617/TCS189791-2>
- Komariah, L. N., Hadiyah, F., Aprianjaya, F., & Nevriadi, F. (2018). Biodiesel effects on fuel filter; assessment of clogging characteristics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1095(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1095/1/012017>
- Kurniawan, M. R. A. (2022). *Analisis Unjuk Kerja Marine Diesel Engine 2-Stroke dengan Menggunakan Bahan Bakar B20 dan B30 (Yang Digunakan Di Kapal Perang)*. Poletiknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Liu, K., Li, K., Peng, Q., & Zhang, C. (2019). A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 14(1), 47–64. <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0516-8>
- Lowe, M., Tokuoka, S., Gereffi, T. T., & Gary. (2010). *Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles: THE U.S. VALUE CHAIN*. <http://www.edf.org/home.cfm>
- Mathew, G. M., Raina, D., Narisetty, V., Kumar, V., Saran, S., Pugazhendhi, A., Sindhu, R., Pandey, A., & Binod, P. (2021). Recent advances in biodiesel production: Challenges and solutions. *Science of the Total Environment*, 794(148751), 1–65. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148751>
- Mclaren, J., Miller, J., O 'shaughnessy, E., Wood, E., & Shapiro, E. (2016). CO2 emissions associated with electric vehicle charging: The impact of electricity generation mix, charging infrastructure availability and vehicle type Keywords: CO 2 emissions Carbon-dioxide Electric vehicles Plug-in electric vehicles PEV Plug-in hybri. *Technical Report of National Renewable Energy Laboratory*, April. https://ac.els-cdn.com/S1040619016300690/1-s2.0-S1040619016300690-main.pdf?_tid=c68ff22e-fba8-11e7-aa40-00000aabb0f27&acdnat=1516208976_7fc27d9ada25d47889d4632d62100bb9
- Meichika, Azhar, A., & Rivai, F. (2021). *STRATEGI PEMERINTAH INDONESIA DALAM UPAYA MENGATASI KETERGANTUNGAN TERHADAP BAHAN BAKAR FOSIL*.
- Mili, Z. M., & Bojkovi, Z. S. (2023). *Military green technology : present and future Military green technology evolution has a large impact not only on Organization , challenges and strategies in military Starting from the early 1950s , armament and military equipment*. 71(1), 136–152. <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-40544>
- Miller, C. (2019). *Lessons learned from hacking a car*.
- Mirghani, M. E. S., Kabbashi, N. A., Alam, M. Z., Qudsieh, I. Y., & Alkatib, M. F. R. (2011). Rapid Method for the Determination of Moisture Content in Biodiesel Using FTIR Spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88(12), 1897–1904. <https://doi.org/10.1007/S11746-011-1866-0>
- Molenda, J. (2011). Li-ion batteries for electric vehicles. *Annales UMCS, Chemistry*, 66(1).

- <https://doi.org/10.2478/v10063-011-0004-z>
- Mousavian, S., Erol-Kantarci, M., Wu, L., & Ortmeier, T. (2018). A risk-based optimization model for electric vehicle infrastructure response to cyber attacks. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(6), 6160–6169. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2705188>
- Muhammad, Z., Anwar, Z., Saleem, B., & Shahid, J. (2023). Emerging Cybersecurity and Privacy Threats to Electric Vehicles and Their Impact on Human and Environmental Sustainability. *Energies*, 16(3), 1–30. <https://doi.org/10.3390/en16031113>
- Muslimin, S., Nawawi, Z., Suprpto, B. Y., & Dewi, T. (2022). Comparison of Batteries Used in Electrical Vehicles. *Proceedings of the 5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021)*, 9, 421–425. <https://doi.org/10.2991/ahe.k.220205.074>
- Nedjalkov, A., Meyer, J., Köhring, M., Doering, A., Angelmahr, M., Dahle, S., Sander, A., Fischer, A., & Schade, W. (2016). Toxic Gas Emissions from Damaged Lithium Ion Batteries-Analysis and Safety Enhancement Solution. *Batteries*, 2, 5.
- NEDO. (2008). *Next Generation Automobile Battery Technologies, Road Map 2008*. http://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/other/FA/nedooothernews.2009-0529.2374124845/30ed30fc30de30c389e38aacP_516c958b7248518d65398a027248_.pdf.%0A
- Nelson, P. A., Webster, W. H., & Shimotake, H. (1983). Batteries for Electric Vehicles. *New Materials & New Processes*, 2(November), 362–364. <https://doi.org/10.1017/cbo9781316090978>
- Neupane, D. (2023). Biofuels from Renewable Sources, a Potential Option for Biodiesel Production. *Bioengineering*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/bioengineering10010029>
- Nyoman, S. (2015). *Teknologi Otomotif Hybrid*. Guna Widya.
- Prasetyo, D. B., & Wasiwitono, U. (2018). Desain dan Analisa Sistem Tenaga dan Transmisi pada Mobil Angkutan Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.27130>
- PT Drigantara Indonesia. (2021). *PTDI Berhasil Uji Terbang Pesawat CN235-220 FTB Berbahan Bakar Bioavtur*. https://www.indonesian-aerospace.com/press/detail/189_ptdi+berhasil+uji+terbang+pesawat+cn235-220+ftb+berbahan+bakar+bioavtur
- PT LEN. (2022). *Pameran Indo Defence 2022, PT Len Industri (Persero) Pamerkan Produk Unggulan*. <https://www.len.co.id/pameran-indo-defence-2022-pt-len-industri-persero-pamerkan-produk-unggulan/>
- PT PINDAD. (2022). *Dukung Ekosistem Kendaraan Listrik, Pindad Perkenalkan Inovasi MotoEV di Mandalika*.
- Pullen, J., & Saeed, K. (2012). An overview of biodiesel oxidation stability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5924–5950. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.06.024>
- R, Mahmudah K S, P. R., & Kurniawan. (2019). Green Military: Towards a Sustainable Military. *Journal of Defense Resource Management*, 10(2), 95–106.
- RI, K. E. (n.d.). *Flight Test of Bioavtur Successful, Strategic Step to Use Renewable Energy for Air Transportation*.
- S. Rangarajan, S., Sunddararaj, S. P., Sudhakar, A. V. V., Shiva, C. K., Subramaniam, U., Collins, E. R., & Senjyu, T. (2022). Lithium-Ion Batteries—The Crux of Electric Vehicles with Opportunities and Challenges. *Clean Technologies*, 4(4), 908–930. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040056>
- Sabarman, J. S., Legowo, E. H., Widiputri, D. I., & Siregar, A. R. (2019). Bioavtur Synthesis from Palm Fatty Acid Distillate through Hydrotreating and Hydrocracking Processes. *Indonesian Journal of Energy*, 2(2), 99–110. <https://doi.org/10.33116/IJE.V2I2.40>
- Saoud, K. (2018). *Nanocatalyst for Biofuel Production: A Review*. 39–62. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75052-1_4
- Savitri, R. N. R., & Prabandari, A. P. (2020). TNI Angkatan Udara dan Keamanan Wilayah Udara Indonesia. *Jurnal Pembangunan Hukum Indonesia*, 2(2), 236–245. <https://doi.org/10.14710/jphi.v2i2.236-245>

- Shi, Q., & Lai, X. (2013). Identifying the underpin of green and low carbon technology innovation research: A literature review from 1994 to 2010. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(5), 839–864. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2012.09.002>
- Sisriadi. (2016). Pengembangan Postur Pertahanan Militer guna Mendukung Terwujudnya Poros Maritim Dunia. *Media Wira Kemhan*, 59(43), 1–92.
- Sobianowska-Turek, A., Urbańska, W., Janicka, A., Zawisławski, M., & Matla, J. (2021). The necessity of recycling of waste li-ion batteries used in electric vehicles as objects posing a threat to human health and the environment. *Recycling*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/recycling6020035>
- Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., & Huang, X. (2020). Correction to: A Review of Battery Fires in Electric Vehicles (Fire Technology, (2020), 56, 4, (1361-1410), 10.1007/s10694-019-00944-3). In *Fire Technology* (Vol. 56, Issue 4). <https://doi.org/10.1007/s10694-020-00958-2>
- U.S Department of Energy. (2022). *Emissions from Electric Vehicles*. U.S. Department of Energy's Vehicle Technologies. https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_emissions.html
- Utina, R. (2009). *Pemanasan Global: Dampak dan Upaya Meminimalisasinya*. <https://doi.org/10.1016/B978-008046620-0/50035-9>
- Verdict. (2022). *Climate change creates challenges for military vehicle design*. Army Technology. <https://www.army-technology.com/comment/climate-change-create-challenges-for-military-vehicle-design/>
- Wahyuni, A. (2010). *Characterization of Biodiesel Quality from Palm Oil Based on Different Set of Temperature Level by Using Circulation Reactor*.
- Wang, Q., Qu, J., Wang, B., Wang, P., & Yang, T. (2019). Green technology innovation development in China in 1990–2015. *Science of The Total Environment*, 696, 134008. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134008>
- Widayatno, R. L., W, A. D., & Abidin, Z. (2016). Analysis Bioavtur for Energy Security. *Jurnal Pertahanan: Media Informasi Ttg Kajian & Strategi Pertahanan Yang Mengedepankan Identity, Nasionalism & Integrity*, 2(3), 243–256. <https://doi.org/10.33172/JP.V2I3.102>
- Zhang, K., Han, Z., & Song, B. (2010). *Flight Performance Analysis of Hybrid Airship : Revised*. 47(4). <https://doi.org/10.2514/1.47294>
- Zhang, W. B. (2012). Review on analysis of biodiesel with infrared spectroscopy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6048–6058. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.07.003>
- Zheng, X., Zhu, Z., Lin, X., Zhang, Y., He, Y., Cao, H., & Sun, Z. (2018). A mini-review on metal recycling from spent lithium ion batteries. *Engineering* 4, 361–370.