

## Literatur Review: Performa Baterai Lithium-ion, Lithium-sulfur, dan Lithium-air sebagai Penggerak UAV Spionase Pertahanan dan Keamanan

Mohtar Suyitno<sup>1\*</sup> & Sovian Aritonang.<sup>2</sup>

<sup>1,2)</sup> Program Studi Magister Teknologi Daya Gerak Universitas Pertahanan Republik Indonesia

\*E-mail: [mohtarsuyitno@gmail.com](mailto:mohtarsuyitno@gmail.com)

### ABSTRAK

Currently, the development of science and technology is developing very quickly. One technology that is currently developing rapidly is unmanned aerial vehicles (UAV). This technology is believed to be a new breakthrough in the modern era because it minimizes human involvement in its operation. This increases effectiveness and reduces risk management in the operational field. Especially in the vast territory of the Unitary State of the Republic of Indonesia with diverse natural landscapes, UAV are considered very helpful as a means of defense and security equipment (alpahankam) in espionage. With these geographical conditions, to carry out its mission, a UAV requires a battery as the driving force. However, in general, the most widely used battery is the lithium-ion (Li-ion) type. It is known that there are several problems with Li-ion batteries, including not being able to withstand heat, being prone to exploding, and if the battery has a large capacity, the size of the battery must be large. Considering this situation, a study is needed to examine several alternative types of batteries, namely: lithium-air (Li-air) and lithium-sulfur (Li-S) batteries. This article aims to compare the performance of lithium-air batteries, and lithium-sulfur batteries which can later replace the use of lithium-ion batteries which are currently widely used in UAVs. The method used in writing this article is Systematic Literature Review (SLR) by searching, collecting and evaluating several sources related to the research object. From a comparison of the three batteries, Li-S batteries offer a large specific energy compared to Li-air and Li-ion batteries. Li-S batteries are currently receiving more attention so they are expected to move towards mass use more quickly. The results of this literature are that Li-S batteries have an energy density of 2,500Wh/kg and have exceeded the energy density of Li-ion batteries of 890Wh/kg and Li-air batteries of 250-1,200Wh/kg. Energy density determines how much energy can be accommodated in a cell of the same size. Thus, it is hoped that Li-S batteries will be a solution to problems with UAV batteries.

**Keyword:** Performa, Batteries Li-ion, Batteries Li-S, Batteries Li-air, Spionase.

### PENDAHULUAN

Luas wilayah Indonesia sebesar 5.455.675 km<sup>2</sup> dan 3.544.744 km<sup>2</sup> di antaranya atau 2/3 wilayahnya adalah lautan. Karena mempunyai wilayah yang luas, Indonesia berbatasan dengan banyak negara. Oleh karena itu diperlukan peralatan utama sistem pertahanan dan keamanan yang handal untuk menjaga wilayah perbatasan baik di daratan, laut maupun udara. Pemerintah menetapkan kebijakan program prioritas pengembangan teknologi dan industri untuk mewujudkan industri pertahanan yang maju, kuat, mandiri, dan berdaya saing dengan berpedoman pada Peraturan Presiden RI Nomor 8 Tahun 2021 tentang Kebijakan Umum Pertahanan Negara Tahun 2020-2024 (Jakumhanneg) salah satunya program pengembangan Pesawat Terbang Tanpa Awak (PTTA) atau *unmanned aerial vehicle* (UAV).

UAV adalah pesawat tanpa pilot yang dikendalikan dari jarak jauh atau mampu terbang mandiri. Mengandalkan hukum aerodinamika, drone mampu membawa berbagai muatan, mulai dari kamera dan sensor hingga senjata[1]. Teknologi UAV merupakan salah satu teknologi yang disruptif dan berkembang pesat yang dapat digunakan sebagai peralatan pendukung maupun dilengkapi oleh persenjataan untuk mendukung operasi militer maupun operasi non militer[2]. Penggunaan drone saat ini sudah tidak terbatas lagi pada militer, namun sudah lazim digunakan pada sektor komersil dan sipil[3]. Kemampuan drone ini telah menumbuhkan berbagai ancaman

dan peluang[4]. UAV dikategorikan menjadi dua jenis yaitu *fixed wing* dan *multi rotary*. *Fixed wing* merupakan jenis UAV bersayap kaku yang menghasilkan daya angkat saat bergerak maju. Sedangkan *Multi rotary* merupakan jenis UAV yang menggunakan baling-baling berputar untuk menghasilkan daya angkat agar dapat terbang dan melayang[5].

Dalam perkembangannya drone digunakan untuk kegiatan spionase yang dapat mengganggu keamanan Indonesia[6]. UAV yang dioperasikan dari jarak jauh ini memiliki muatan yang bervariasi, mulai dari kemampuan pengawasan hingga sistem penargetan yang presisi, dan bahkan kemampuan pengambilan keputusan secara otonom. Keterjangkauan, keserbagunaan, dan kemudahan penempatannya telah memperluas penggunaannya untuk operasi intelijen, pengawasan, pengintaian, dan penyerangan. UAV telah menjadi alat yang populer digunakan untuk pengawasan perbatasan dan melakukan navigasi yang tidak mudah terdeteksi[7]. Penggunaan UAV untuk tujuan pengumpulan intelijen udara menimbulkan ancaman besar terhadap keamanan nasional. Musuh dapat memperoleh informasi sensitif dan rahasia melalui spionase, mengganggu operasi militer dan meningkatkan risiko potensi ketidakseimbangan militer[8]. Bahkan dalam perkembangannya sudah ada UAV siluman, yang dapat menghindari deteksi dan pengawasan[9].

Namun, kemajuan ini juga menimbulkan kekhawatiran mengenai ancaman yang ditimbulkannya, baik di dalam negeri maupun internasional[10]. Salah satu faktor utama yang membentuk persepsi ancaman drone adalah pesatnya kemajuan teknologi drone. Ketika drone menjadi lebih kecil, lebih cepat, lebih cerdas, dan terjangkau, potensi ancamannya semakin besar. Sehingga perlu kolaborasi dan kerjasama internasional untuk mengatasi ancaman drone yang melampaui batas negara[11]. Menurut statistik penjualan dan penjualan tahunan drone komersial global, jumlah UAV di negara-negara di seluruh dunia meningkat setiap tahun seiring dengan kemajuan teknologi UAV[12].

Daya dari UAV untuk memutar motor menggunakan baterai. Baterai yang sering digunakan yaitu baterai *lithium-ion* karena menggunakan elektrolit polimer kering yang disusun berlapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Tetapi baterai *lithium-ion* hanya memiliki daya tahan yang terbatas, sehingga semakin banyak motor yang digunakan maka daya baterai akan cepat habis. Pada operasi *spionase* dengan geografis yang luas dan tambahan beban misalnya berupa senjata akan berdampak pada konsumsi baterai, meskipun demikian perlu riset untuk mengetahui dampak tersebut secara detail. Hal tersebut menarik perhatian untuk adanya suatu kajian mengenai perkembangan teknologi baterai dalam UAV dan menganalisis performa jenis baterai pada UAV *spionase* yang sesuai dengan kebutuhan geografis Indonesia baik dalam operasi militer maupun non militer.

Baterai adalah satu atau lebih sel elektrokimia yang terhubung secara elektrik yang memiliki terminal/kontak untuk memasok energi listrik. Baterai menghasilkan energi listrik melalui proses reaksi kimia. Terdapat 2 jenis baterai berdasarkan pada proses kimia, yaitu: baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer dan sekunder adalah dua jenis baterai yang memiliki fungsi sama, yaitu mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Perbedaannya terletak pada kemampuan untuk diisi ulang. Baterai primer sekali pakai, sedangkan baterai sekunder dapat diisi ulang berkali-kali. Baterai primer lebih murah dan mudah ditemukan, sedangkan baterai sekunder lebih ramah lingkungan dan hemat biaya dalam jangka panjang[13].

Pada saat ini *secondary battery* banyak digunakan pada *electrical vehicle* (EV) yang didalamnya termasuk UAV, *secondary battery* yang paling umum digunakan adalah *lithium-ion*. Sebagian besar EV saat ini, menggunakan baterai Li-ion untuk tenaga penggerak. Baterai Li-ion banyak digunakan dikarenakan memiliki beberapa keunggulan, seperti siklus hidup yang panjang, kepadatan daya yang tinggi, dan sifat *self-discharge* rendah. Ada beberapa hal yang menjadi kendala pada baterai Li-ion ini seperti ketersediaan bahan mentah dan masalah keamanan karena mudah meledak[14].

Energi pada baterai dapat dinyatakan dalam kepadatan energi yang diukur dalam Wh/kg atau dalam kepadatan energi yang diukur dalam Wh/L, masing-masing juga disebut kepadatan energi gravimetri dan volumetrik. Kepadatan energi atau densitas energi baterai dapat diubah oleh desain sel. Kapasitas spesifik baterai (mAh/g), bergantung pada jenis bahan aktif yang digunakan. Nilai teoritik kapasitas spesifik dapat dihitung, walaupun nilai sebenarnya akan berbeda. Mengacu pada nilai kapasitas spesifik teoritik, maka kuantitas kapasitas baterai akan bergantung pada banyak bahan aktif yang digunakan. Lapisan tebal bahan elektroda memberikan energi tinggi karena

bertambahnya jumlah bahan aktif, tetapi ini juga meningkatkan panjang difusi ion-ion dalam bahan yang pada gilirannya menurunkan daya. Sebaliknya, lapisan elektroda yang lebih tipis memberikan jalur difusi yang pendek dan oleh karena itu daya yang lebih tinggi, tetapi mengandung bahan yang kurang aktif dan oleh karena itu kandungan energinya diturunkan. Dengan demikian, peningkatan satu sifat sering kali mengorbankan properti lainnya. Kepadatan energi menyiratkan berapa banyak energi yang dapat ditampung baterai, baterai dengan kerapatan energi lebih tinggi akan lebih ringan daripada baterai berkapasitas serupa dengan kerapatan energi lebih rendah[15].

## METODOLOGI PENELITIAN

Dalam literatur review ini menggunakan pendekatan metode *Systematic Literature Review* (SLR) atau tinjauan pustaka sistematis. Dalam hal ini dilakukan tindakan mengidentifikasi, menilai, dan menginterpretasi seluruh temuan-temuan berkaitan dengan topik bahasan dari berbagai sumber. *Systematic review* merupakan sebuah istilah yang digunakan untuk mengacu pada metodologi penelitian tertentu, pengembangan yang dilakukan untuk mencari, mengumpulkan dan kemudian mengevaluasi penelitian yang terkait pada fokus topik tertentu[16].

Tahapan dari metode SLR dijabarkan menjadi 3 tahap, yaitu: 1) Perancangan (*Planning*), dalam penulisan mengacu pada rumusan masalah yang telah dijelaskan di pendahuluan, data yang dipakai pada penelitian ini merupakan data sekunder, data sekunder dapat diperoleh melalui studi pustaka, artikel ilmiah terkait; 2) Pelaksanaan (*Conducting*), penerapan metode SLR dapat membantu mencari sumber. Pada tahap pencarian sumber referensi atau literatur yang relevan menggunakan kata kunci (*keyword*), pencarian pada jurnal yang menggunakan bahasa Inggris untuk jurnal internasional, sedangkan menggunakan bahasa Indonesia untuk jurnal nasional; 3) Pelaporan (*Reporting*), tahap akhir pada metode SLR dimana tulisan atau analisis dari hasil yang telah dicari akan dibuat dalam bentuk tulisan yang kemudian dilanjutkandalam pembahasan literatur review ini[17].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada literatur review: "Literatur Review: Performa Baterai Lithium-ion, Lithium-sulfur, dan Lithium-air sebagai Penggerak UAV Spionase Pertahanan dan Keamanan". Adapun kareakteristik dari masing-masing jenis baterai tersebut adalah sebagai berikut:

### 1. *Lithium-ion* (Li-ion)

Baterai *lithium-ion* terbagi menjadi beberapa jenis bergantung pada jenis komposisi bahannya. Hal tersebut berpengaruh terhadap kemampuan setiap jenis baterai *lithium-ion*. Beberapa jenis baterai lithium yaitu NCA, NCM, LFP, dan lain-lain. Pada penelitian NCA (*Lithium nickel cobalt aluminum oxide*) yang dibuat dengan reaksi hidrotermal, dan sifat elektrokimianya ditingkatkan dengan doping logam Ti menunjukkan kapasitas discharge terbaik 179,6 mAh/g-1setelah siklus pertama dan efisiensi coulombik awal 88,6% [18]. Pada baterai NCA energi kepadatan yang ingin dicapai saat ini 742 Wh/kg [19].

Pada penelitian NMC (*Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide*) Hasil percobaan elektrokimia menunjukkan bahwa bahan katoda  $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,1}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_2$  berlapis yang dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 16 jam memiliki kapasitas pelepasan awal tertinggi 193,7 mAh/g dalam rentang tegangan dari 3,0 hingga 4,3 V dengan kemampuan laju yang baik [20]. Pada baterai NMC energi kepadatan yang ingin dicapai saat ini 588 Wh/kg<sup>-1</sup> [19].

Pada penelitian LFP (*Lithium Iron Phosphate*), ditemukan bahwa sejumlah kecil karbon internal (IC), dapat meningkatkan konduktivitas ionik. Performa elektrokimia LFP, seperti stabilitas dan kemampuan pemulihan kapasitas, lebih baik daripada LFP biasa yang dibuat menggunakan PA, meskipun dengan kandungan bahan aktif yang tinggi dalam elektroda kerja (85%). Terutama, LFP yang telah disiapkan menunjukkan kapasitas spesifik sangat tinggi 192 mAh/g pada 0,1 C, yang melebihi kapasitas teoritis LFP, dengan kinerja laju yang luar biasa sebesar 140 mAh/g pada 10 C. Efisiensi energi LFP mencapai hampir 96% pada 0,1 C (Zhao et al., 2017). Pada baterai LFP energi kepadatan yang ingin dicapai saat ini >890 Wh/kg [19].

### 2. *Lithium-sulfur* (Li-S)

Baterai *lithium-sulfur* memberikan pilihan yang menjanjikan yang secara teoritis dapat, dengan mempertimbangkan biaya dan energi yang spesifik. Secara teoritis *lithium-sulfur* memiliki kepadatan energi 2500 Wh/kg[21]. Ada sebuah penelitian yang menggunakan teknik pengukuran *cyclic voltammetry* (CV) dan galvanostatic untuk mengamati proses pengisian dan pelepasan, ditemukan peningkatan jumlah siklus mengakibatkan peningkatan perbedaan potensial antara pengisian dan pelepasan. Perbedaan rata-rata ini disebabkan oleh pembentukan polisulfida. Kapasitas debit setelah 30 siklus kira-kira 200 mAh/g. Kehilangan kapasitas setelah 30 siklus adalah sekitar 66%. Pelepasan baterai Li-S pasti menyebabkan pembentukan polisulfida  $\text{Li}_2\text{S}_2$  dan  $\text{Li}_2\text{S}$  yang tidak dapat larut[22]. Tegangan tipikal dari sel Li-S yang diperoleh pada arus konstan. Pelepasan berpusat pada 2,35 V[23].

Pada penelitian *lithium-sulfur* dengan penambahan *carbon nano-fiber* (CNF) pada elektroda belerang. Elektroda belerang dengan serat nano karbon masing-masing menggunakan PEO dan PVdF sebagai pengikat. Untuk PEO sebagai pengikat menunjukkan sifat siklus hidup yang lebih stabil hingga siklus ke-60. Untuk PVdF sebagai pengikat dengan elektroda menunjukkan kapasitas pelepasan awal yang lebih tinggi tetapi kapasitas pelepasan menurun pada setiap siklusnya[24]. Pada penelitian yang menyelidiki hubungan antara sifat bahan dan kinerja baterai diperoleh hasil bahwa luas permukaan spesifik dari bahan konduktif memiliki pengaruh yang lebih besar pada kinerja baterai dibandingkan dengan konduktivitas elektroniknya[25]. Baterai *lithium-sulfur* (Li-S) telah lama menjadi pusat penelitian karena kapasitas spesifik teoretisnya yang tinggi, biaya rendah, dan tidak beracun. Namun pelarutan katoda belerang dan polisulfida menyebabkan efek shuttle yang secara signifikan dan pertumbuhan dendrit yang tidak terkendali dapat mengurangi siklus hidup[26].

### 3. *Lithium-air* (Li-air)

Ada beberapa jenis baterai *lithium-air* yaitu *non-aqueous* dan *aqueous*. Tahun 1996, Abraham dan Jiang untuk pertama kalinya baterai  $\text{Li-O}_2$  *non-aqueous* menggunakan elektrolit organik sebagai pengganti elektrolit berair. Terdiri dari membran elektrolit polimer organik konduktif  $\text{Li}^+$ , anoda logam Li, dan elektroda komposit karbon. Pada *open circuit voltage* (OCV) tetap konstan selama pelepasan (discharge) pertama sekitar 2,85 V selama 60% dan kemudian turun menjadi sekitar 2,75 V pada akhir *discharge*. *Recharge* kapasitas pelepasan dalam sel Li/oksigen dapat dipulihkan sepenuhnya dengan mengisi daya dengan tegangan 4 V dan sel-sel pada baterai menunjukkan energi spesifik antara 250-350 Wh/kg.

Sel dapat diisi ulang dengan efisiensi coulomb yang baik menggunakan elektroda karbon yang dikatalisasi oleh phthalocyanine kobalt, meskipun terdapat kelebihan potensial yang besar antara pengosongan dan pengisian daya serta siklus hidup yang sangat singkat[27]. Pada sebuah penelitian yang menggunakan perhitungan DFT dari spektrum satu elektron menunjukkan  $\text{Li}_2\text{O}_2$  memiliki celah atau gap pita yang cukup besar. Secara garis besar gap energi dihitung menjadi 2.85 eV yang tidak tergantung pada kerapatan elektron. Ini berarti bahwa dari sudut pandang termodinamika, sebagian besar gap Li dapat dibuat pada potensial 2.85 V[28].

Pada  $\text{Li-O}_2$  *aqueous* terdiri dari anoda logam litium, katoda berpori, dan elektrolit berair yang dipisahkan dari anoda litium oleh elektrolit padat penghantar ion litium yang tahan air. Li-Air *aqueous* dapat mencapai energi spesifik spektakuler lebih dari 800 Wh/kg[29]. Baterai Li-air berbasis (*gel polyelectrolyte*) GPE menunjukkan perilaku pengisian yang lebih baik. Baterai Li-air berbasis LiI-GPE efisiensi coulombik dapat mencapai sekitar 100%, berkat sinergi aditif LiI dan elektrolit gel di mana LiI dapat membuat produk pelepasan terurai dengan over potensial rendah dan GPE dapat bertindak sebagai pelindung logam Li pada saat yang sama. Kinerja baterai Li-air berbasis LiI-GPE atau GPE jauh lebih baik daripada baterai Li-air yang menggunakan elektrolit cair, yang dapat dikaitkan dengan perlindungan efektif dari struktur kompak elektrolit gel. Baterai Li-air berbasis LiI-GPE menunjukkan kurva tegangan yang hampir dapat direproduksi tanpa kapasitas memudar selama 400 siklus, kecuali untuk peningkatan kecil dalam polarisasi tegangan selama 50 siklus awal. tegangan yang diperoleh di terminal pelepasan baterai Li-air LiI-GPE lebih tinggi dari 2,3V[30]. Pada penelitian katoda yang direkayasa untuk menghasilkan kinerja yang signifikan saat beroperasi di udara. Katoda DC elektrolit tertanam, daya puncaknya adalah 4380 W  $\text{kg}^{-1}$  karbon dan energi spesifik pada laju pelepasan C / 3 adalah karbon 1200 Wh/kg saat beroperasi pada udara yang mengalir[31]. Yang

menjadi perhatian pada *lithium-air* ini adalah kemurnian udara. Kemurnian udara menjadi tantangan, karena udara yang ada tidak cukup bersih sehingga perlu disaring. Reaksi kimia yang terjadi didalam baterai akan menghasilkan dendrit yang menjadi penghalang pergerakan elektron[32].

Tabel 1. Analisa perfoma jenis baterai lithium

Baterai	Kepadatan Energi (Wh/kg)	Tegangan per sel (V)	Discharging	Charging	Siklus
Lithium-ion	890	3	3	4,3	500-2.000
Lithium-sulfur	2.500	2,1-2,4	2,35	3,8	60
Lithium-air	240-1.200	2,85	2,3-2,85	4	50

Berdasarkan tabel 1 setiap jenis baterai memiliki spesifikasi yang berbeda. Baterai *lithium-air* memiliki kepadatan energi sebesar 240 Wh/kg sampai dengan 1.200Wh/kg. Baterai *lithium-sulfur* memiliki energi spesifik paling tinggi sebesar 2.500Wh/kg. Pada baterai *lithium-ion* memiliki energi spesifik sebesar 890Wh/kg. Untuk energi spesifik terbaik pada ketiga baterai ini adalah baterai *lithium-sulfur* dikarenakan energi spesifik yang paling besar yaitu 2.500Wh/kg. Kepadatan energi menyiratkan berapa banyak energi yang dapat ditampung baterai, baterai dengan kepadatan energi lebih tinggi akan lebih ringan daripada baterai berkapasitas serupa dengan kepadatan energi lebih rendah. Baterai dengan Kepadatan energi tinggi memiliki waktu pengoperasian baterai yang lebih lama dibandingkan dengan ukuran baterai. Baterai dengan kepadatan energi tinggi dapat menghasilkan jumlah energi yang sama, tetapi dalam *footprint* yang lebih kecil dibandingkan dengan baterai dengan kepadatan energi yang lebih rendah.

Tegangan per sel adalah tegangan yang dapat dihasilkan pada setiap selnya. Pada baterai *lithium-air* memiliki tegangan per sel sebesar 2,85V. Pada baterai *lithium-sulfur* memiliki tegangan per sel sebesar 2,1V sampai dengan 2,4V. Sedangkan pada baterai *lithium-ion* tegangan per sel pada baterai *lithium-ion* sebesar 3V. Untuk tegangan per sel terbaik pada ketiga baterai ini adalah baterai *lithium-ion*, dikarenakan baterai *lithium-ion* memiliki tegangan per sel yang paling besar yaitu 3V.

*Discharge* atau pelepasan adalah operasi di mana baterai melepaskan atau memberikan energi listrik pada beban. Baterai *lithium-air* memiliki potensi *discharge* sebesar 2,85V, baterai *lithium-sulfur* memiliki potensi *discharge* sebesar 2,35V, dan pada baterai *lithium-ion* memiliki potensi *discharge* paling besar yaitu sebesar 3V.

*Charge* atau pengisian adalah operasi di mana baterai dikembalikan ke kondisi terisi kembali. *Charge* kapasitas pelepasan pada baterai *lithium-air* dapat dipulihkan dengan mengisi daya dengan tegangan 4V. Untuk *charge* kapasitas pelepasan pada baterai *lithium-sulfur* dapat dipulihkan dengan mengisi daya dengan tegangan 3,8V. Pada baterai *lithium-ion* *charge* kapasitas pelepasan dapat dipulihkan dengan mengisi daya dengan tegangan 4,3V.

## KESIMPULAN

Berikut perbandingan kepadatan energi dari ketiga jenis baterai tersebut, baterai *lithium-sulfur* memiliki kepadatan energi yang tertinggi yaitu sebesar 2.500Wh/kg. Kepadatan energi tinggi memiliki waktu pengoperasian baterai yang lebih lama dibandingkan dengan ukuran baterai. Baterai dengan kepadatan energi tinggi dapat menghasilkan jumlah energi yang sama, tetapi dalam *footprint* yang lebih kecil dibandingkan dengan baterai dengan kepadatan energi yang lebih rendah. Pada tegangan per sel *lithium-ion* memiliki tegangan per sel yang tinggi sebesar 3V. Untuk *discharge* baterai, baterai *lithium-ion* memiliki potensi paling tinggi yaitu 3V. Hal ini baik untuk memberikan energi ke beban. Pada *charge* baterai, baterai *lithium-ion* memiliki potensi besar yaitu 4,3V. Hal ini baik untuk pengisian atau pengembalian ke kondisi terisi dengan cepat. Hal ini dapat disimpulkan bahwa baterai dapat digunakan sebagai energi pengganti dari bahan bakar fosil, dikarenakan banyak industri yang mengembangkan teknologi berbasis bahan bakar listrik. Setiap baterai memiliki spesifikasi yang berbeda. Baterai *lithium-air* dan baterai *lithium-sulfur*

menawarkan kepadatan energi yang besar dibandingkan baterai *lithium-ion*. Pada baterai *lithium-sulfur* memiliki kepadatan energi sebesar 2.500Wh/kg dan sudah melebihi kepadatan energi baterai *lithium-ion*. Baterai *lithium-sulfur* ini mulai banyak mengalami perkembangan pesat dan sebagai hasil dari kemajuan ini, baterai *lithium-sulfur* sekarang siap untuk diproduksi massal. Sejumlah perusahaan telah mulai membangun pabrik *lithium-sulfur* skala besar, dan baterai *lithium-sulfur* diprediksi akan tersedia secara komersial dalam beberapa tahun ke depan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. I. Yonardy and W. Wirawan, "Penerapan Desain Lintasan UAV yang Hemat Energi untuk Deteksi Kebakaran Hutan," *J. Tek. ITS*, vol. 12, no. 3, pp. A188–A193, 2023.
- [2] A. Sarjito, "Analisis Dampak Persepsi Ancaman Drone Terhadap Pembuatan Kebijakan Pertahanan Dan Proses Alokasi Sumber Daya," *J. Manag. Soc. Sci.*, vol. 1, no. 4, pp. 14–32, 2023, doi: <https://doi.org/10.59031/jmsc.v1i4.228>.
- [3] J. P. Yaacoub, H. Noura, O. Salman, and A. Chehab, "Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 11, p. 100218, 2020, doi: [10.1016/j.iot.2020.100218](https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100218).
- [4] A. Mustofa, L. S. Wasitova, L. R. Dyahtaryani, and R. Widodo, "The Use of Drones: From the Perspective of Regulation and National Defense and Security," *Turkish J. Comput. Math. Educ.*, vol. 12, no. 10, pp. 670–677, 2021.
- [5] D. Wicaksono and F. Setiawan, "Penerapan Metode Manufaktur Terbaru Pada Body Drone Uav Skywalker," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 9, no. 1, pp. 201–208, 2023, doi: [10.56521/teknika.v9i2.964](https://doi.org/10.56521/teknika.v9i2.964).
- [6] A. Harris, L. Y. Prakoso, and D. Sianturi, "Strategi Pertahanan Laut dalam Rangka Ancaman Keamanan di Alur Laut Kepulauan Indonesia II," *J. Strateg. Pertahanan Laut*, vol. 5, no. 1, pp. 15–30, 2019, doi: <https://doi.org/10.33172/spl.v5i1.648>.
- [7] M. K. Sharma *et al.*, "Intervenor: intelligent border surveillance using sensors and drones," in *2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, IEEE, 2021, pp. 1–7.
- [8] T. F. Abiodun, "Usage of drones or unmanned aerial vehicles (UAVs) for effective aerial surveillance, mapping system and intelligence gathering in combating insecurity in Nigeria," *African J. Soc. Sci. Humanit. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 29–44, 2020.
- [9] J. Johnson, "Artificial intelligence, drone swarming and escalation risks in future warfare," *RUSI J.*, vol. 165, no. 2, pp. 26–36, 2020.
- [10] W. H. Adnan and M. F. Khamis, "Drone use in military and civilian application: Risk to national security," *J. Media Inf. Warf.*, vol. 15, no. 1, pp. 60–70, 2022, [Online]. Available: <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/58297>
- [11] E. Lin-Greenberg, "Allies and artificial intelligence: Obstacles to operations and decision-making (Spring 2020)," vol. 3, no. 2, pp. 56–76, 2020, doi: [http://dx.doi.org/10.26153/tsw/8866](https://dx.doi.org/10.26153/tsw/8866).
- [12] C. Chen *et al.*, "Yolo-based uav technology: A review of the research and its applications," *Drones*, vol. 7, no. 3, p. 190, 2023.
- [13] M. Nasution, "Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik," *JET (Journal Electr. Technol.)*, vol. 6, no. 1, pp. 35–40, 2021.
- [14] R. Kristiyono, B. Nugroho, and B. Supriyanto, "Automatic Charging Battery Lithium Untuk Kendaraan Listrik," *Teknika*, vol. 7, no. 4, pp. 236–242, Oct. 2022, doi: [10.52561/teknika.v7i4.195](https://doi.org/10.52561/teknika.v7i4.195).
- [15] T. Nordh, "Li4Ti5O12 as an anode material for Li ion batteries in situ XRD and XPS studies." Uppsala Universitet, pp. 1–40, 2013.
- [16] L. Lusiana and M. Suryani, "Metode SLR untuk mengidentifikasi isu-isu dalam Software Engineering," *Sains dan Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2014, doi: [DOI: 10.33372/stn.v3i1.347](https://doi.org/10.33372/stn.v3i1.347).
- [17] E. Triandini, S. Jayanatha, A. Indrawan, G. W. Putra, and B. Iswara, "Metode systematic literature review untuk identifikasi platform dan metode pengembangan sistem informasi di Indonesia," *Indones. J. Inf. Syst.*, vol. 1, no. 2, pp. 63–77, 2019, doi: <https://doi.org/10.30596/rmme.v7i2.19536>

- ◆ <https://doi.org/10.24002/ijis.v1i2.1916> →
- [18] D. Y. Wan *et al.*, “Effect of metal (Mn, Ti) doping on NCA cathode materials for lithium ion batteries,” *J. Nanomater.*, vol. 2018, pp. 1–9, 2018, doi: <https://doi.org/10.1155/2018/8082502>.
- [19] S. B. Chikkannavar, D. M. Bernardi, and L. Liu, “A review of blended cathode materials for use in Li-ion batteries,” *J. Power Sources*, vol. 248, pp. 91–100, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.09.052>.
- [20] D.-L. Vu and J. Lee, “Properties of LiNi 0.8 Co 0.1 Mn 0.1 O 2 as a high energy cathode material for lithium-ion batteries,” *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 33, pp. 514–526, 2016.
- [21] L. Chen and L. L. Shaw, “Recent advances in lithium–sulfur batteries,” *J. Power Sources*, vol. 267, pp. 770–783, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.05.111>.
- [22] M. Juračka, J. Vondrák, M. Sedlaříková, and T. Gottwald, “Lithium Sulphur Batteries,” *ECS Trans.*, vol. 70, no. 1, pp. 283–288, 2015, doi: 10.1149/07001.0283ecst.
- [23] L. F. Nazar, M. Cuisinier, and Q. Pang, “Lithium-sulfur batteries,” *MRS Bull.*, vol. 39, no. 5, pp. 436–442, 2014, doi: DOI: <https://doi.org/10.1557/mrs.2014.86>.
- [24] Y.-J. Choi, K.-W. Kim, H.-J. Ahn, and J.-H. Ahn, “Improvement of cycle property of sulfur electrode for lithium/sulfur battery,” *J. Alloys Compd.*, vol. 449, no. 1–2, pp. 313–316, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2006.02.098>.
- [25] H. Nagata and Y. Chikusa, “A lithium sulfur battery with high power density,” *J. Power Sources*, vol. 264, pp. 206–210, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.04.106>.
- [26] Y. Hu *et al.*, “Strategies toward high-loading lithium–sulfur battery,” *Adv. Energy Mater.*, vol. 10, no. 17, p. 2000082, 2020, doi: <https://doi.org/10.1002/aenm.202000082>.
- [27] K. M. Abraham and Z. Jiang, “A polymer electrolyte-based rechargeable lithium/oxygen battery,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 143, no. 1, pp. 1–5, 1996.
- [28] J. S. Hummelshøj *et al.*, “Communications: Elementary oxygen electrode reactions in the aprotic Li-air battery,” *J. Chem. Phys.*, vol. 132, no. 7, 2010, doi: <https://doi.org/10.1063/1.3298994>.
- [29] S. J. Visco *et al.*, “Aqueous and nonaqueous lithium-air batteries enabled by water-stable lithium metal electrodes,” *J. Solid State Electrochem.*, vol. 18, pp. 1443–1456, 2014.
- [30] Z. Guo, C. Li, J. Liu, Y. Wang, and Y. Xia, “A long-life lithium–air battery in ambient air with a polymer electrolyte containing a redox mediator,” *Angew. Chemie*, vol. 129, no. 26, pp. 7613–7617, 2017, doi: <https://doi.org/10.1002/ange.201701290>.
- [31] J. Adams, M. Karulkar, and V. Anandan, “Evaluation and electrochemical analyses of cathodes for lithium-air batteries,” *J. Power Sources*, vol. 239, pp. 132–143, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.03.140>.
- [32] P. G. Bruce, L. J. Hardwick, and K. M. Abraham, “Lithium-air and lithium-sulfur batteries,” *MRS Bull.*, vol. 36, no. 7, pp. 506–512, 2011, doi: <https://doi.org/10.1557/mrs.2011.157>.