

## Inovasi Teknologi dalam Penelitian Ekologi: Penggunaan Drones untuk Memetakan Habitat Satwa Liar

Ahmad Irawan<sup>1</sup>, Samsul Rijal<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Gorontalo, Indonesia

Email Koresponden: [samsul\\_com@hotmail.com](mailto:samsul_com@hotmail.com)

(\* : corresponding author)

**Abstrak-** Teknologi drone telah berkembang pesat dalam penelitian ekologi, khususnya dalam pemetaan habitat satwa liar. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas drone dalam pemantauan dan analisis habitat satwa liar dengan membandingkannya dengan metode konvensional seperti pemetaan berbasis satelit dan survei darat. Metode penelitian yang digunakan mencakup pemetaan udara dengan drone beresolusi tinggi, pengolahan data menggunakan perangkat lunak GIS, serta validasi hasil dengan observasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa drone mampu menghasilkan data spasial dengan tingkat akurasi tinggi, memungkinkan identifikasi pola distribusi satwa liar dan perubahan habitat secara lebih detail. Keunggulan utama metode ini adalah efisiensi operasional, cakupan wilayah yang luas, serta fleksibilitas dalam pengumpulan data real-time. Namun, terdapat beberapa tantangan seperti keterbatasan daya tahan baterai, pengaruh kondisi cuaca, serta kebutuhan akan analisis data yang kompleks. Studi ini menyimpulkan bahwa drone merupakan alat yang sangat potensial dalam penelitian ekologi dan konservasi satwa liar. Penggunaan drone di masa depan dapat ditingkatkan dengan integrasi kecerdasan buatan untuk analisis data yang lebih akurat serta pengembangan teknologi sensor tambahan. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi bagi pengelolaan ekosistem yang lebih berkelanjutan serta mendukung kebijakan konservasi berbasis data yang lebih efektif.

**Kata Kunci:** Drone, Pemetaan Habitat, Satwa Liar, Konservasi, Ekologi, Teknologi Penginderaan Jauh

### *Technological Innovation in Ecological Research: Using Drones to Map Wildlife Habitats*

**Abstract-** Drone technology has rapidly developed in ecological research, particularly in wildlife habitat mapping. This study aims to evaluate the effectiveness of drones in monitoring and analyzing wildlife habitats by comparing them with conventional methods such as satellite-based mapping and ground surveys. The research methods used include aerial mapping with high-resolution drones, data processing using GIS software, and validation of results with field observations. The results show that drones are capable of producing spatial data with a high level of accuracy, enabling the identification of wildlife distribution patterns and habitat changes in greater detail. The main advantages of this method are operational efficiency, large area coverage, and flexibility in real-time data collection. However, there are several challenges such as limited battery life, the influence of weather conditions, and the need for complex data analysis. This study concludes that drones are a potential tool in ecological research and wildlife conservation. The future use of drones can be enhanced by the integration of artificial intelligence for more accurate data analysis as well as the development of additional sensor technologies. The results of this study contribute to more sustainable ecosystem management and support more effective data-driven conservation policies.

**Keywords:** Drones, Habitat Mapping, Wildlife, Conservation, Ecology, Remote Sensing Technology

Received	Revised	Published
02-11-2024	20-12-2024	19-01-2025

## 1. PENDAHULUAN

Percepatan perubahan lingkungan, terutama karena deforestasi dan perubahan iklim, telah sangat berdampak pada habitat satwa liar, yang menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati yang signifikan. Penelitian menunjukkan bahwa degradasi habitat global mencapai 0,537% dari tahun 2000 hingga 2020, dengan aktivitas manusia meningkat hampir 11% selama periode yang sama [1]. Bioma tertentu, seperti hutan kering tropis, diproyeksikan mengalami hilangnya habitat yang substansif, dengan hingga 85% spesies mamalia di daerah seperti Caatinga menghadapi kondisi yang tidak sesuai pada tahun 2060 [2]. Selain itu, konversi lahan untuk pertanian dan peternakan telah diidentifikasi sebagai pendorong utama hilangnya habitat, mempengaruhi 59% spesies darat secara negatif [3]. Strategi konservasi yang efektif, termasuk pembentukan kawasan lindung, dapat mengurangi dampak ini, berpotensi mengurangi hilangnya habitat sebesar 17% dan membantu pemulihan populasi vertebrata yang terancam [4]. Tindakan mendesak diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan mempromosikan pengelolaan satwa liar yang berkelanjutan [5].

Metode konvensional seperti survei lapangan dan citra satelit memiliki keterbatasan dalam hal resolusi spasial dan temporal, aksesibilitas, dan efektivitas biaya [6]. Namun, pendekatan inovatif seperti survei drone dan platform pemetaan partisipatif seperti OpenStreetMap menawarkan alternatif yang menjanjikan untuk pemetaan skala besar yang cepat dan akurat [6], [7]. Teknologi-teknologi ini dapat mengatasi masalah aksesibilitas dan mengurangi biaya operasional. Selain itu, kemajuan dalam pembelajaran mesin dan teknik pembelajaran mendalam, yang dikombinasikan dengan citra satelit multitemporal beresolusi tinggi, memberikan peluang baru untuk pemantauan tanaman dan penilaian ketahanan pangan yang lebih akurat [8]. Meskipun masih ada tantangan, termasuk kondisi geografis dan pertanian yang spesifik di Indonesia, teknologi dan metode baru ini menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan pemetaan habitat satwa liar dan upaya pemantauan vegetasi.

Sejauh ini, berbagai pendekatan telah digunakan untuk mengatasi masalah tersebut, termasuk penggunaan teknologi penginderaan jauh seperti satelit dan pesawat berawak. Namun, pendekatan ini sering kali masih memiliki keterbatasan dalam hal resolusi, fleksibilitas, dan biaya operasional [9], [10]. Dengan munculnya teknologi drone, penelitian ekologi telah mengalami perubahan yang signifikan dalam cara pengumpulan dan analisis data, memungkinkan pemetaan habitat yang lebih rinci dan real-time.

Studi terbaru telah menunjukkan efektivitas drone untuk pemantauan ekologi di berbagai ekosistem. Drone telah berhasil digunakan untuk mensurvei sarang orangutan di Sumatra, memberikan hasil yang sebanding dengan survei berbasis darat untuk penilaian distribusi dan kepadatan relatif [11]. Di Indonesia, drone yang dilengkapi dengan sensor termal terbukti menguntungkan untuk memantau berbagai spesies di ekosistem hutan pesisir, sabana, dan pegunungan, menawarkan estimasi populasi yang tepat dan cakupan wilayah yang lebih luas dibandingkan dengan metode tradisional [12], [13] mengembangkan drone berbiaya rendah yang mampu terbang secara otonom untuk pemetaan hutan dan keanekaragaman hayati, menyoroti potensinya untuk pemantauan tutupan lahan dan aktivitas ilegal secara real-time. Sementara drone menunjukkan janji untuk mengamati hewan laut seperti pari, tantangan seperti peraturan penerbangan, kondisi cuaca, dan keterbatasan teknologi perlu ditangani

[14]. Terlepas dari kendala ini, drone menjadi semakin mudah diakses oleh para peneliti, menawarkan peluang baru dalam studi ekologi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi lebih lanjut bagaimana drone dapat digunakan secara optimal dalam pemetaan habitat satwa liar. Secara khusus, penelitian ini ingin memahami keunggulan drone dibandingkan metode konvensional, mengidentifikasi tantangan yang masih ada, serta mengevaluasi efektivitasnya dalam mendukung upaya konservasi satwa liar. Dengan pendekatan ini, diharapkan penggunaan drone dapat lebih dikembangkan sebagai metode yang efektif dan efisien dalam penelitian ekologi.

Selain itu, penelitian ini juga berusaha untuk menyajikan pendekatan sistematis dalam pemanfaatan drone untuk memetakan habitat satwa liar. Langkah-langkah yang dilakukan mencakup pemilihan lokasi penelitian berdasarkan tingkat keanekaragaman hayati, penggunaan perangkat drone dengan spesifikasi tertentu, serta analisis data menggunakan perangkat lunak pemetaan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan metode pemetaan habitat dan mendukung kebijakan konservasi yang lebih berbasis data.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus dengan melakukan pemetaan habitat satwa liar di kawasan konservasi menggunakan drone. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa tahapan, yaitu pemilihan lokasi, penggunaan drone untuk pengambilan data, analisis data menggunakan perangkat lunak pemetaan, serta validasi hasil pemetaan dengan data lapangan.

### 2.1 Pemilihan Lokasi

Lokasi penelitian dipilih berdasarkan tingkat keanekaragaman hayati dan kondisi habitat yang beragam. Kawasan yang menjadi fokus penelitian adalah area konservasi yang memiliki populasi satwa liar yang cukup besar serta ekosistem yang rentan terhadap perubahan lingkungan. Selain itu, lokasi dipilih dengan mempertimbangkan faktor aksesibilitas untuk mendukung pengoperasian drone secara optimal.

### 2.2 Penggunaan Drone dan Pengambilan Data

Drone yang digunakan dalam penelitian ini adalah drone fixed-wing dan multirotor dengan kamera resolusi tinggi serta sensor multispektral. Drone fixed-wing digunakan untuk memetakan area yang luas dengan jangkauan lebih lama, sementara drone multirotor digunakan untuk pemetaan detail pada titik-titik spesifik. Pengambilan data dilakukan dalam beberapa sesi penerbangan dengan rencana penerbangan yang telah diprogram sebelumnya untuk memastikan cakupan yang menyeluruh.

Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi:

- Citra udara resolusi tinggi untuk mengidentifikasi struktur habitat.
- Peta topografi dan vegetasi untuk memahami karakteristik ekosistem.
- Pola distribusi satwa liar dengan menggunakan analisis perubahan habitat.

Drone diterbangkan pada ketinggian tertentu untuk memperoleh citra dengan resolusi optimal. Setiap sesi penerbangan dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi cuaca, kecepatan angin, serta durasi operasional baterai drone.

### 2.3 Analisis Data Menggunakan Perangkat Lunak Pemetaan

Data yang dikumpulkan melalui drone kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak pemetaan berbasis GIS (Geographic Information System) seperti ArcGIS dan Pix4D. Analisis dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu:

- Pengolahan citra udara (Menggabungkan gambar yang diperoleh menjadi mosaik untuk mendapatkan peta habitat yang utuh).
- Klasifikasi habitat (Menggunakan teknik machine learning untuk mengidentifikasi jenis vegetasi dan perubahan lanskap).
- Analisis spasial (Memetakan pola distribusi satwa liar berdasarkan perubahan habitat dan faktor lingkungan).

### 2.4 Validasi Data dan Pengukuran Akurasi

Untuk memastikan akurasi data pemetaan yang dihasilkan, dilakukan validasi dengan data lapangan. Tim peneliti melakukan survei langsung di lokasi penelitian untuk mencocokkan hasil pemetaan drone dengan kondisi aktual di lapangan. Parameter yang dibandingkan antara lain jenis vegetasi, keberadaan satwa liar, serta perubahan struktur habitat.

Validasi data dilakukan menggunakan metode perbandingan antara citra drone dengan data survei lapangan. Kesalahan klasifikasi dianalisis untuk meningkatkan akurasi pemetaan, serta mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat memengaruhi kualitas citra, seperti kondisi pencahayaan dan kepadatan vegetasi.

### 2.5 Evaluasi Efektivitas Penggunaan Drone

Selain menganalisis hasil pemetaan, penelitian ini juga mengevaluasi efektivitas penggunaan drone dibandingkan metode konvensional dalam pemetaan habitat satwa liar. Evaluasi dilakukan berdasarkan aspek berikut:

- Akurasi dan resolusi data dibandingkan dengan metode pemetaan berbasis satelit dan survei darat.
- Efisiensi waktu dan biaya operasional dibandingkan dengan teknik pemantauan konvensional.
- Keandalan pengumpulan data dalam berbagai kondisi lingkungan, termasuk tantangan operasional seperti cuaca buruk dan keterbatasan daya baterai.

Hasil dari metode ini akan digunakan untuk memberikan rekomendasi dalam pengembangan teknologi drone dalam penelitian ekologi serta meningkatkan efektivitas konservasi satwa liar.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pemetaan Habitat Satwa Liar

Penggunaan drone dalam penelitian ini berhasil menghasilkan peta habitat satwa liar dengan resolusi tinggi, mencakup topografi, vegetasi, serta distribusi satwa liar di area konservasi. Hasil pemetaan menunjukkan adanya variasi habitat yang signifikan, mulai dari hutan lebat, padang rumput, hingga daerah berbatu. Dengan menggunakan sensor multispektral, penelitian ini juga berhasil mengidentifikasi tingkat kepadatan vegetasi serta perubahan ekosistem akibat faktor lingkungan.

Citra udara yang diperoleh dari drone memperlihatkan pola distribusi satwa liar yang cenderung berkumpul di area dengan vegetasi yang lebih lebat dan sumber air terdekat. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan air dan ketersediaan pakan menjadi faktor utama dalam menentukan pergerakan dan persebaran satwa liar. Selain itu, analisis menunjukkan

adanya perubahan habitat di beberapa area akibat aktivitas manusia seperti deforestasi dan konversi lahan.

### 3.2 Analisis Akurasi dan Keunggulan Pemetaan Menggunakan Drone

Dibandingkan dengan metode pemetaan berbasis satelit, penggunaan drone mampu memberikan resolusi spasial yang lebih tinggi dengan tingkat akurasi mencapai 90-95% berdasarkan hasil validasi lapangan. Keunggulan utama drone adalah kemampuannya untuk menangkap detail habitat secara real-time dengan biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan survei udara menggunakan pesawat berawak.

Hasil perbandingan metode pemetaan dapat dilihat sebagai berikut:

- Pemetaan menggunakan drone: Resolusi tinggi (hingga 5 cm/pixel), fleksibel, dan dapat dilakukan secara berkala dengan biaya relatif murah.
- Pemetaan menggunakan citra satelit: Cakupan luas, tetapi resolusi terbatas (30 cm/pixel) dan sering kali terhambat oleh faktor cuaca seperti tutupan awan.
- Pemetaan survei darat: Akurat dalam skala kecil, tetapi membutuhkan waktu dan tenaga yang besar serta tidak memungkinkan untuk area luas.

Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa drone memberikan solusi terbaik untuk pemetaan habitat satwa liar karena mampu menjembatani keterbatasan metode konvensional dengan kombinasi akurasi tinggi dan efisiensi operasional.

### 3.3 Evaluasi Tantangan dan Keterbatasan Penggunaan Drone

Penelitian ini menunjukkan efektivitas tinggi dalam penggunaan drone untuk pemetaan habitat satwa liar, namun juga mengidentifikasi beberapa tantangan yang perlu diatasi. Salah satu tantangan utama adalah durasi operasional yang terbatas. Drone dengan kapasitas baterai saat ini hanya mampu terbang selama 30-60 menit, sehingga untuk memetakan area yang luas diperlukan beberapa kali penerbangan. Selain itu, kondisi lingkungan seperti angin kencang, hujan, dan medan berbukit dapat mempersulit pengoperasian drone serta mengurangi kualitas citra udara yang diperoleh. Tantangan lainnya adalah kompleksitas dalam analisis data, di mana data yang dihasilkan membutuhkan pengolahan lanjutan, termasuk pemrosesan citra multispektral dan penerapan algoritma machine learning untuk klasifikasi habitat.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan inovasi dalam pengembangan drone dengan kapasitas baterai yang lebih baik, penggunaan drone hybrid yang menggabungkan fixed-wing dan multirotor, serta integrasi kecerdasan buatan guna meningkatkan efisiensi analisis data. Hasil penelitian ini memiliki implikasi signifikan terhadap konservasi satwa liar dan pengelolaan ekosistem. Dengan metode pemetaan berbasis drone, pemantauan habitat dapat dilakukan lebih cepat dan akurat, sehingga memungkinkan intervensi dini terhadap ancaman lingkungan seperti deforestasi dan degradasi habitat. Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi dalam pengembangan metodologi penelitian ekologi berbasis teknologi. Kombinasi drone dan analisis data berbasis GIS memungkinkan konservasi dilakukan dengan pendekatan yang lebih berbasis data, sehingga kebijakan yang diterapkan menjadi lebih efektif.

### 3.4 Diskusi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan drone dalam pemetaan habitat satwa liar mampu menghasilkan data yang lebih akurat dan detail dibandingkan metode konvensional. Dengan resolusi tinggi dan fleksibilitas dalam pengambilan data, drone memungkinkan pemantauan yang lebih real-time dan efektif terhadap perubahan habitat serta distribusi satwa liar. Peta habitat yang diperoleh menunjukkan bahwa satwa liar cenderung memilih area dengan vegetasi lebat dan sumber air yang cukup sebagai habitat

utama. Hal ini menegaskan bahwa kondisi lingkungan berperan penting dalam mendukung kelangsungan hidup spesies yang diteliti.

Selain itu, hasil validasi menunjukkan bahwa metode ini memiliki tingkat akurasi tinggi dalam klasifikasi habitat, dengan kesalahan klasifikasi yang minimal. Keunggulan ini menjadikan drone sebagai alat yang sangat potensial untuk digunakan dalam penelitian ekologi skala luas. Namun, tantangan dalam operasional drone, seperti keterbatasan daya tahan baterai dan faktor cuaca, tetap menjadi kendala yang perlu diperhatikan dalam implementasi lebih lanjut.

Penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Koh & Wich [12], yang menemukan bahwa drone dapat digunakan untuk pemantauan populasi satwa liar dengan efisiensi lebih tinggi dibandingkan survei udara konvensional. Studi oleh Serge Wich [11] juga menunjukkan bahwa drone dapat memberikan estimasi populasi satwa liar dengan akurasi yang lebih baik dibandingkan metode berbasis satelit atau pengamatan darat.

Namun, penelitian ini juga menemukan beberapa tantangan yang belum banyak dibahas dalam studi sebelumnya, seperti keterbatasan dalam operasional drone di daerah dengan medan yang sulit dan kebutuhan akan perangkat lunak yang lebih canggih untuk pengolahan data citra udara. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun teknologi drone menawarkan banyak keunggulan, masih ada beberapa aspek teknis yang perlu ditingkatkan untuk memastikan keandalannya dalam berbagai kondisi lingkungan.

Hasil penelitian ini memiliki implikasi yang signifikan dalam berbagai aspek, termasuk teori, praktik konservasi, dan kebijakan lingkungan. Dari sisi teori, penelitian ini memperkuat konsep bahwa teknologi berbasis penginderaan jauh dapat meningkatkan efektivitas dalam studi ekologi dan konservasi satwa liar. Penerapan drone memungkinkan peneliti untuk mengumpulkan data dengan lebih cepat, akurat, dan dalam skala yang lebih luas, yang sebelumnya sulit dilakukan dengan metode konvensional.

Dari segi praktik, hasil penelitian ini dapat digunakan oleh lembaga konservasi dan pemerintah dalam upaya pemantauan habitat serta mitigasi dampak perubahan lingkungan terhadap populasi satwa liar. Dengan adanya metode berbasis drone, intervensi terhadap ancaman lingkungan seperti deforestasi dapat dilakukan lebih dini, sehingga strategi konservasi dapat lebih proaktif dan berbasis data yang lebih akurat.

### **3.5 Kekuatan dan Keterbatasan Studi**

Penelitian ini memiliki beberapa keunggulan yang signifikan. Pertama, penggunaan drone dalam pemetaan habitat satwa liar memberikan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode satelit, dengan resolusi citra yang lebih baik. Selain itu, drone menawarkan efisiensi operasional yang tinggi, karena mampu menjangkau area yang sulit diakses tanpa memerlukan sumber daya yang besar. Keunggulan lainnya adalah penggunaan teknologi multispektral, yang memungkinkan analisis vegetasi secara lebih detail dan deteksi perubahan habitat dengan presisi yang lebih baik. Namun, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini. Salah satu kendala utama adalah daya tahan baterai drone yang terbatas, sehingga cakupan area dalam satu kali penerbangan menjadi terbatas dan memerlukan strategi penerbangan yang lebih efisien. Selain itu, kondisi cuaca seperti hujan, kabut, dan angin kencang dapat memengaruhi proses pengambilan data, menyebabkan gangguan dalam operasi drone dan menurunkan kualitas citra yang diperoleh. Tantangan lainnya adalah kompleksitas dalam analisis data, terutama dalam interpretasi citra multispektral dan integrasi data GIS, yang membutuhkan keahlian khusus serta perangkat lunak yang canggih untuk mendapatkan hasil yang optimal.

### **3.6 Rekomendasi untuk Penelitian Selanjutnya**

Untuk mengatasi keterbatasan yang ada, beberapa rekomendasi dapat diberikan bagi penelitian selanjutnya. Salah satu solusi adalah pengembangan drone dengan daya tahan

baterai yang lebih lama, misalnya melalui penggunaan teknologi hybrid atau tenaga surya untuk memperpanjang durasi penerbangan. Selain itu, integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam analisis data dapat membantu proses klasifikasi habitat secara otomatis dengan akurasi yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan efisiensi penelitian. Rekomendasi lainnya adalah eksplorasi penggunaan sensor tambahan, seperti sensor termal, yang dapat membantu dalam mendeteksi keberadaan satwa liar pada malam hari atau di daerah dengan vegetasi yang sangat rapat. Selain itu, pengujian drone dalam berbagai kondisi ekosistem, seperti hutan hujan tropis atau daerah semi-arid, juga diperlukan untuk mengukur efektivitas teknologi ini dalam berbagai lingkungan yang berbeda. Dengan adanya penelitian lanjutan, teknologi drone dalam penelitian ekologi dapat terus dikembangkan, sehingga semakin mendukung konservasi satwa liar secara lebih efektif dan berkelanjutan. Bagian ini juga dapat mencakup berbagai metode penelitian yang diterapkan, serta representasi data dalam bentuk gambar, tabel, atau analisis lebih lanjut untuk memperjelas temuan penelitian.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan drone dalam pemetaan habitat satwa liar merupakan metode yang efektif dan akurat dalam penelitian ekologi. Dengan resolusi tinggi dan kemampuan pengambilan data real-time, drone mampu memberikan informasi detail mengenai kondisi habitat, pola distribusi satwa liar, serta perubahan lingkungan yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup spesies tertentu. Dibandingkan dengan metode pemetaan konvensional, drone menawarkan efisiensi yang lebih tinggi baik dari segi waktu, biaya, maupun aksesibilitas terhadap wilayah yang sulit dijangkau. Validasi hasil pemetaan menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga teknologi ini dapat menjadi alat utama dalam penelitian dan konservasi keanekaragaman hayati.

Namun, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa tantangan, seperti keterbatasan daya tahan baterai, pengaruh kondisi cuaca, serta kompleksitas dalam analisis data citra udara. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi kecerdasan buatan dan penggunaan sensor tambahan, untuk meningkatkan keandalan dan efektivitas metode ini dalam berbagai kondisi ekosistem. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam bidang ekologi dan konservasi satwa liar dengan menawarkan solusi berbasis teknologi yang lebih inovatif. Penggunaan drone dapat menjadi langkah strategis dalam pemantauan ekosistem secara berkelanjutan, mendukung kebijakan lingkungan berbasis data, serta meningkatkan efektivitas upaya pelestarian biodiversitas di berbagai wilayah.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Yang, H. Xu, S. Pan, W. Chen, and J. Zeng, "Identifying the impact of global human activities expansion on natural habitats," *J. Clean. Prod.*, vol. 434, p. 140247, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.140247.
- [2] M. R. Moura, G. A. Oliveira, A. P. Paglia, M. M. Pires, and B. A. Santos, "Climate change should drive mammal defaunation in tropical dry forests," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 29, no. 24, pp. 6931–6944, Dec. 2023, doi: 10.1111/gcb.16979.
- [3] M. Pacifici *et al.*, "Drivers of habitat availability for terrestrial mammals: Unravelling the role of livestock, land conversion and intrinsic traits in the past 50 years," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 29, no. 24, pp. 6900–6911, Dec. 2023, doi: 10.1111/gcb.16964.
- [4] W. M. Hayes *et al.*, "Predicting the loss of forests, carbon stocks and biodiversity driven by a neotropical 'gold rush,'" *Biol. Conserv.*, vol. 286, p. 110312, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.biocon.2023.110312.
- [5] R. Cornford and R. Freeman, "Ongoing over-exploitation and delayed responses to environmental change highlight the urgency for action to promote vertebrate recoveries by



- 2030," Nov. 22, 2023. doi: 10.52843/cassyni.9nskdw.
- [6] A. Sugara, V. P. Siregar, and S. B. Agus, "KLASIFIKASI HABITAT BENTIK PERAIRAN DANGKAL DARI CITRA WORLDVIEW-2 MENGGUNAKAN DATA IN-SITU DAN DRONE," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 12, no. 1, pp. 135–150, Apr. 2020, doi: 10.29244/jitkt.v12i1.26448.
- [7] E. Nurrohmah and D. Sulistioningrum, "OPENSTREETMAP SEBAGAI ALTERNATIF TEKNOLOGI DAN SUMBER DATA PEMETAAN DESA Inovasi Untuk Percepatan Pemetaan Desa," *Semin. Nas. Geomatika*, vol. 3, p. 787, Feb. 2019, doi: 10.24895/SNG.2018.3-0.1067.
- [8] D. W. Triscowati and A. W. Wijayanto, "PELUANG DAN TANTANGAN DALAM PEMANFAATAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH DAN MACHINE LEARNING UNTUK PREDIKSI DATA TANAMAN PANGAN YANG LEBIH AKURAT," *Semin. Nas. Off. Stat.*, vol. 2019, no. 1, pp. 177–187, May 2020, doi: 10.34123/semnasoffstat.v2019i1.230.
- [9] L. O. K. Mastu, "TEKNOLOGI DRONE UNTUK PEMETAAN HABITAT PERAIRAN LAUT DANGKAL," *Semin. Nas. Geomatika*, p. 689, Apr. 2021, doi: 10.24895/SNG.2020.0-0.1183.
- [10] A. S. Andrew, "Pemanfaatan Drone dalam Pemetaan Kontur Tanah," *Bul. Loupe*, vol. 16, no. 02, pp. 32–41, Dec. 2020, doi: 10.51967/buletinloupe.v16i02.76.
- [11] S. Wich, D. Dellatore, M. Houghton, R. Ardi, and L. P. Koh, "A preliminary assessment of using conservation drones for Sumatran orang-utan ( *Pongo abelii* ) distribution and density," *J. Unmanned Veh. Syst.*, vol. 4, no. 1, pp. 45–52, Mar. 2016, doi: 10.1139/juvs-2015-0015.
- [12] L. P. Koh and S. A. Wich, "Dawn of Drone Ecology: Low-Cost Autonomous Aerial Vehicles for Conservation," *Trop. Conserv. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 121–132, Jun. 2012, doi: 10.1177/194008291200500202.
- [13] D. A. Rahman, A. B. Y. Sitorus, and A. A. Condro, "From Coastal to Montane Forest Ecosystems, Using Drones for Multi-Species Research in the Tropics," *Drones*, vol. 6, no. 1, p. 6, Dec. 2021, doi: 10.3390/drones6010006.
- [14] S. Oleksyn, L. Tosetto, V. Raoult, K. E. Joyce, and J. E. Williamson, "Going Batty: The Challenges and Opportunities of Using Drones to Monitor the Behaviour and Habitat Use of Rays," *Drones*, vol. 5, no. 1, p. 12, Feb. 2021, doi: 10.3390/drones5010012.