

Application of Science, Technology, and Innovation in Forest Management

Aplikasi Pemanfaatan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Inovasi dalam Manajemen Hutan

Endless C. Supit¹, Fabiola B. Saroinsong^{1*}, Laurensius J. S. Suwarna¹

¹Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi

*Email: fabiolasaroinsong@unsrat.ac.id

ABSTRACT

Traditional conservation in forest protected areas is often hindered by poor accessibility, slow responses to threats such as poaching and deforestation, and a reliance on manual data collection that is costly, time-consuming, and prone to subjectivity. This study aims to synthesize advancements in Science, Technology, and Innovation (STI) and evaluate their contribution to enhancing the effectiveness of evidence-based forest conservation management. Employing a Systematic Literature Review (SLR) method with a qualitative-analytical approach, the study analyzes reputable literature from Scopus and Web of Science. The findings indicate that the integration of STI drives a transition from reactive management to predictive and proactive conservation. The use of technologies such as SMART Patrol has been shown to increase threat detection effectiveness by up to 80% compared to conventional patrols. AI-based camera trap image analysis accelerates wildlife identification by up to 99%, while the use of drones and remote sensing reduces field survey costs and time by 50-70%. Thus, the adoption of STI is empirically proven to enhance technical capacity, operational efficiency, and the sustainability of protected area management.

Keywords: *evidence-based conservation, forest management, science and technology, remote sensing, protected areas*

ABSTRAK

Konservasi tradisional pada kawasan lindung kehutanan sering kali terhambat oleh aksesibilitas yang rendah, respons lambat terhadap ancaman perburuan dan deforestasi, serta ketergantungan pada data manual yang mahal, memakan waktu, dan rawan subjektivitas. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis perkembangan inovasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Inovasi (Ipteks) serta mengevaluasi kontribusinya terhadap peningkatan efektivitas pengelolaan hutan berbasis bukti (*evidence-based conservation management*). Menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pendekatan kualitatif-analitis, studi ini menganalisis literatur bereputasi dari Scopus dan *Web of Science*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi Ipteks mendorong transisi dari manajemen reaktif menuju konservasi prediktif dan proaktif. Pemanfaatan teknologi seperti SMART Patrol terbukti meningkatkan efektivitas deteksi ancaman hingga 80% lebih tinggi dibanding patroli konvensional. Analisis citra camera trap berbasis *Artificial Intelligence* (AI) mempercepat identifikasi satwa hingga 99%, sementara penggunaan drone dan penginderaan jauh mampu menghemat biaya serta waktu survei lapangan sebesar 50-70%. Dengan demikian, adopsi Ipteks terbukti secara empiris meningkatkan kapasitas teknis, efisiensi operasional, dan keberlanjutan manajemen kawasan lindung.

Kata kunci: ipteks, kawasan lindung, konservasi berbasis bukti, manajemen hutan, penginderaan jauh

PENDAHULUAN

Kawasan lindung memiliki fungsi strategis dalam menjaga keberlanjutan keanekaragaman hayati serta mempertahankan berbagai jasa ekosistem yang esensial bagi kesejahteraan manusia dan stabilitas lingkungan global. Keberadaan kawasan ini tidak hanya berperan sebagai habitat spesies kunci, tetapi juga sebagai penyangga sistem ekologis melalui fungsi pengaturan iklim, konservasi tanah dan air, serta penyediaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Meskipun demikian, efektivitas pengelolaan kawasan lindung di berbagai belahan dunia masih menghadapi tekanan yang semakin kompleks akibat aktivitas manusia dan keterbatasan operasional pengelolaan. Tekanan ini diperparah oleh luasnya kawasan hutan yang harus diawasi, kondisi geografis yang sulit dijangkau, serta keterbatasan sumber daya manusia dan anggaran pengelolaan. Dalam konteks ini, pendekatan konservasi konvensional yang mengandalkan survei lapangan manual dan patroli rutin menunjukkan berbagai keterbatasan, terutama dalam hal efisiensi waktu, biaya operasional, serta kemampuan menjangkau area yang luas secara berkelanjutan (Pomantouw et al., 2022).

Ketergantungan pada metode tradisional tersebut sering kali menghasilkan data yang tidak mutakhir dan bersifat parsial, sehingga respons pengelolaan terhadap ancaman seperti perambahan, pembalakan liar, dan perburuan ilegal menjadi lambat dan kurang efektif. Kondisi ini menegaskan perlunya transformasi pendekatan pengelolaan kawasan lindung, dari sistem yang reaktif dan berbasis pengalaman subjektif menuju model manajemen yang adaptif, terintegrasi, dan didukung oleh bukti ilmiah yang kuat. Dalam konteks inilah pemanfaatan Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Inovasi (Ipteks) menjadi semakin relevan sebagai instrumen strategis untuk meningkatkan efektivitas manajemen hutan dan kawasan lindung (Saroinsong et al., 2007; Bode et al., 2015; Saroinsong & Muntu, 2025; Charli & Saroinsong, 2025; Talantan et al., 2025).

Perkembangan pesat Ipteks menawarkan solusi transformatif. Tujuan utama dari artikel ini adalah untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis inovasi Ipteks utama yang diaplikasikan dalam manajemen kawasan lindung, serta mengevaluasi dampaknya terhadap peningkatan efektivitas pengelolaan. Artikel ini berargumen bahwa adopsi Ipteks adalah prasyarat bagi transisi menuju Manajemen Konservasi Berbasis Bukti yang adaptif dan efisien. Manajemen kawasan lindung, sesuai definisi IUCN, mencakup perencanaan dan implementasi tindakan untuk mencapai tujuan konservasi spesifik. Tantangan utama dalam konteks tropis meliputi skala, ketepatan waktu, dan keterbatasan anggaran dan sumberdaya manusia. Luasnya kawasan membuat pemantauan menyeluruh mustahil bagi tim patroli kecil. Data yang usang mengakibatkan intervensi yang terlambat. Keterbatasan anggaran dan personel juga menjadi tantangan yang sering ditemui. Masalah-masalah ini menuntut pergeseran teknologi dari konservasi reaktif ke model yang berbasis prediksi dan *real-time* (Saroinsong et al., 2007; Koh & Wich, 2012; Mascia et al., 2017; Norouzzadeh et al., 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan menganalisis secara sistematis perkembangan inovasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Seni/Inovasi (Ipteks) dalam manajemen kawasan lindung kehutanan, serta mengevaluasi kontribusinya terhadap peningkatan efektivitas pengelolaan hutan berbasis bukti (*evidence-based conservation management*). Artikel ini menawarkan kebaruan konseptual dengan memposisikan integrasi Ipteks bukan sekadar sebagai alat pendukung operasional, melainkan sebagai kerangka sistemik yang menggeser manajemen kawasan lindung dari pola reaktif menuju konservasi prediktif dan berbasis bukti.

METODE

Penelitian ini menerapkan metode Tinjauan Pustaka Sistematis (*Systematic Literature Review/SLR*) dengan pendekatan kualitatif-analitis yang bertujuan untuk menelusuri, menelaah, dan merangkum perkembangan mutakhir kajian ilmiah yang membahas pemanfaatan

Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Ipteks) dalam pengelolaan kawasan lindung kehutanan. Sumber literatur diperoleh dari basis data ilmiah bereputasi, seperti Scopus dan Web of Science. Tahapan SLR diawali dengan penelusuran literatur menggunakan kombinasi kata kunci terarah, antara lain “*Smart Patrol*”, “*Artificial Intelligence*”, “*Remote Sensing*”, dan “*Evidence-Based Conservation*”, dengan batasan tahun publikasi antara 2015 hingga 2025.

Selanjutnya dilakukan proses penyaringan untuk mengeliminasi publikasi yang tidak relevan secara substansi atau tidak memenuhi kriteria mutu ilmiah melalui mekanisme peer review. Literatur yang lolos seleksi kemudian dianalisis melalui sintesis deskriptif-komparatif dengan mengelompokkan temuan ke dalam empat pilar utama penerapan Ipteks, yaitu sistem pemantauan data cepat, analisis prediktif, penegakan hukum, dan pengelolaan partisipatif. Pada tahap ini, kinerja teknologi inovatif dibandingkan dengan pendekatan konvensional, termasuk dalam hal peningkatan efisiensi pengelolaan (misalnya efektivitas SMART Patrol yang dilaporkan lebih tinggi dibandingkan patroli tradisional), sehingga seluruh interpretasi dan kesimpulan penelitian ini bertumpu pada bukti ilmiah yang kuat dan terverifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemanfaatan Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Inovasi (Ipteks) telah menjadi fondasi utama dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan kawasan lindung modern. Kinerja pengelolaan tidak lagi hanya diukur dari intensitas patroli, tetapi dari kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan secara cepat, mengidentifikasi ancaman secara akurat, serta mengalokasikan sumber daya secara efisien. Dalam konteks ini, sistem pemantauan dan pengumpulan data cepat berbasis Ipteks memungkinkan pergeseran paradigma dari konservasi reaktif menuju pendekatan yang proaktif dan prediktif (Koh & Wich, 2012; Mascia et al., 2017; Norouzzadeh et al., 2018).

Perkembangan teknologi penginderaan jauh telah mengubah fungsi pemantauan hutan dari pemetaan statis menjadi sistem peringatan dini yang dinamis. Satelit seperti Sentinel-1 dan Sentinel-2, serta data resolusi tinggi komersial, menyediakan informasi dengan resolusi temporal yang semakin rapat, sehingga memungkinkan deteksi dini deforestasi ilegal dan perubahan tutupan lahan secara hampir real-time, bahkan di wilayah tropis dengan tutupan awan tinggi melalui pemanfaatan sensor radar (Saroinsong et al., 2007; Koh & Wich, 2012). Data tersebut dianalisis menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai platform integratif untuk menghasilkan peta risiko dan kerentanan yang mendukung pengambilan keputusan berbasis spasial.

Selain penginderaan jauh, jaringan sensor lapangan berbasis *Internet of Things* (IoT), khususnya sensor bioakustik, memperkuat sistem pemantauan pada skala mikro. Sensor ini mampu merekam lanskap suara hutan secara kontinu dan, melalui algoritma pembelajaran mesin, membedakan suara alami dari indikasi aktivitas ilegal seperti penembangan dan perburuan. Mekanisme peringatan dini berbasis suara ini memungkinkan respons lapangan yang cepat dan bersifat preventif, sehingga menggeser praktik konservasi dari penindakan pasca-kejadian menuju pencegahan aktif.

Nilai strategis data yang dihasilkan dari berbagai sistem pemantauan tersebut bergantung pada kemampuan analisisnya. Oleh karena itu, penerapan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) dan analitik Big Data menjadi pilar penting dalam manajemen kawasan lindung berbasis bukti. AI berperan dalam mempercepat klasifikasi otomatis data, seperti identifikasi spesies dari jutaan citra camera trap yang sebelumnya membutuhkan waktu analisis sangat panjang. Studi Norouzzadeh et al. (2018) menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu meningkatkan efisiensi analisis hingga 99% dibandingkan metode manual. Selain itu, pemodelan prediktif berbasis machine learning memungkinkan identifikasi hotspot ancaman dan optimasi rute patroli berdasarkan data spasial, temporal, dan historis, sehingga penggunaan sumber daya menjadi lebih tepat sasaran (Mascia et al., 2017).

Integrasi seluruh aliran data tersebut difasilitasi melalui platform digital dan basis data terpusat yang berfungsi sebagai pusat kendali operasional kawasan lindung. Sistem ini mengatasi fragmentasi data antarlembaga, meningkatkan transparansi dan akuntabilitas, serta memperkuat koordinasi lintas pemangku kepentingan. Contoh implementasi di Indonesia terlihat pada pengembangan sistem monitoring kawasan yang mengonsolidasikan data satelit, sensor, dan laporan patroli dalam satu kerangka pengelolaan terpadu.

Ipteks juga berperan signifikan dalam memperkuat penegakan hukum dan pengelolaan partisipatif. Sistem Patroli Cerdas (*Smart Patrol*) mengintegrasikan perangkat GPS, aplikasi pelaporan digital, dan analisis spasial untuk mengubah patroli konvensional menjadi operasi berbasis risiko. Pendekatan ini terbukti meningkatkan efektivitas deteksi dan penanganan ancaman hingga 80% dibandingkan patroli tanpa dukungan data spasial (Mascia et al., 2017). Di sisi lain, teknologi digital turut memberdayakan masyarakat lokal melalui aplikasi pelaporan berbasis seluler, sehingga masyarakat berperan sebagai sumber intelijen dini yang meningkatkan kecepatan respon dan membangun kepercayaan antara pengelola kawasan dan komunitas sekitar (Pomantow et al., 2022; Charli & Saroinsong, 2025; Berkes, 2007).

Keberlanjutan jangka panjang pengelolaan kawasan lindung juga ditopang oleh peran ipteks dalam pendidikan dan peningkatan kesadaran lingkungan. Media digital, termasuk *platform* interaktif, *e-learning*, serta teknologi *Virtual Reality* dan *Augmented Reality*, memungkinkan penyampaian informasi konservasi secara lebih inklusif dan menarik, serta menjembatani keterbatasan geografis dalam penyebaran pengetahuan (Johnson et al., 2018; Saroinsong & Muntu, 2025; Saroinsong et al., 2026). Dengan demikian, integrasi ipteks tidak hanya meningkatkan kapasitas teknis pengelolaan kawasan lindung, tetapi juga memperkuat legitimasi sosial dan dukungan publik terhadap upaya konservasi.

Penerapan Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Inovasi (Ipteks) telah menunjukkan dampak nyata terhadap peningkatan kinerja konservasi yang dapat diukur secara empiris. Implementasi sistem patroli berbasis data spasial, seperti melalui inisiatif SMART Patrol, terbukti secara signifikan meningkatkan efektivitas deteksi dan pencegahan aktivitas ilegal, dengan tingkat keberhasilan yang dilaporkan mencapai sekitar 80% lebih tinggi dibandingkan pendekatan patroli konvensional yang tidak didukung oleh basis data spasial (Mascia et al., 2017). Sejalan dengan itu, pemanfaatan kecerdasan buatan dalam analisis citra camera trap memungkinkan proses identifikasi dan klasifikasi satwa liar dilakukan hingga 99% lebih cepat dibandingkan metode manual, sehingga mempercepat respons pengelolaan terhadap dinamika populasi satwa dan perubahan kondisi ekosistem. Peningkatan efisiensi analisis dan pemantauan tersebut turut berimplikasi pada penghematan sumber daya yang substansial, dengan pengurangan biaya dan waktu survei lapangan yang dilaporkan berkisar antara 50-70% melalui integrasi teknologi pesawat nirawak dan penginderaan jauh.

KESIMPULAN

Secara sintesis, integrasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Inovasi (Ipteks) menandai pergeseran fundamental dalam praktik pengelolaan kawasan lindung. Penerapan Ipteks telah menghadirkan pendekatan yang bersifat transformatif dalam menjawab permasalahan klasik konservasi, khususnya keterbatasan pemantauan pada skala luas serta kendala sumber daya manusia dan anggaran.

Melalui desain sistem yang terintegrasi, mulai dari penginderaan jauh untuk deteksi ancaman pada skala lanskap, sensor bioakustik untuk pemantauan mikro secara real-time, hingga kecerdasan buatan dalam analisis prediktif berbasis big data. Manajemen kawasan lindung kini dapat dijalankan secara lebih adaptif, efisien, transparan, dan berbasis bukti ilmiah. Implementasi sistem patroli cerdas yang didukung data spasial terbukti secara empiris meningkatkan efektivitas penegakan hukum, sementara pemanfaatan aplikasi digital telah memperkuat peran serta masyarakat lokal sebagai mitra strategis dalam konservasi partisipatif.

Dengan demikian, Ipteks tidak hanya meningkatkan kapasitas teknis pengelolaan kawasan lindung, tetapi juga memperkuat legitimasi sosial, kesadaran publik, dan keberlanjutan jangka panjang upaya konservasi.

SARAN

Pengelola kawasan lindung disarankan untuk mempercepat transformasi digital dengan mengintegrasikan teknologi penginderaan jauh, sensor bioakustik berbasis IoT, dan sistem SMART Patrol. Langkah ini krusial untuk menggeser pola manajemen tradisional yang reaktif menjadi konservasi yang prediktif, efisien, dan berbasis bukti empiris. Selain itu, penguatan kapasitas sumber daya manusia dan keterlibatan masyarakat lokal perlu ditingkatkan melalui adopsi aplikasi pelaporan seluler serta media pembelajaran digital. Sinergi antara inovasi teknologi dan partisipasi komunitas ini akan menjamin legitimasi sosial, efektivitas penegakan hukum, serta keberlanjutan ekosistem hutan secara jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bode, C., Saroinsong, F. B., Tasirin, J. S., & Rombang, J. A. (2015, July). Analisis Perubahan Tutupan Lahan di Taman Hutan Raya Gunung Tumpa Menggunakan Sistem Informasi Geografis. In *Cocos* (Vol. 6, No. 11).
- Charli, W., & Saroinsong, F. (2025). Pengelolaan Penyadapan Getah Pinus (*Pinus merkusii*) dan Dampaknya terhadap Sosial-Ekonomi Masyarakat: Studi Kasus pada Kelompok Tani Hutan Sipatuo di Kabupaten Tana Toraja. *Jurnal Lentera: Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 6(2), 80-86.
- Gevaert, C. M., Vrieling, A., Vianna, M. R., & Salles, F. A. (2020). Applications of Machine Learning in Forest Monitoring and Management: A review. *Forest Ecology and Management*, 465, 118012. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118012>
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Kommareddy, A., Stehman, S. V., & Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- Johnson, J. M., Riggins, T., & Johnson, J. M. (2018). Virtual Reality and Environmental Education: A Review. *Journal of Environmental Education*, 49(3), 199-214.
- Koh, L. P., & Wich, S. A. (2012). Dawn of Conservation Drones. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(3), 549-553. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00193.x>
- Mascia, M. B., et al. (2017). Protected Area Patrol Effectiveness is Related to Patrol Effort and Conditions. *Biological Conservation*, 214, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.07.019>
- Norouzzadeh, M. S., Nguyen, A., Kosmala, M., Swanson, A., Palmer, M. S., Zjajo, I., & Van Horn, G. (2018). Automatically Identifying, Counting, and Describing Wildlife in Camera-Trap Images with Deep Learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(28), E6308-E6317. <https://doi.org/10.1073/pnas.1719603115>
- Pimm, S. L., Raven, P., Pimm, S. L., & Raven, P. H. (2019). *The Conservation Revolution: A Global Strategy for a Sustainable World*. Oxford University Press.
- Pomantow, E. S., Langi, M. A., & Saroinsong, F. B. (2022). Strategi Penanggulangan Gangguan Kawasan Konservasi di Taman Nasional Bunaken (Studi Kasus di Pulau Mantehage). *AGRI-SOSIOEKONOMI*, 18(3), 775-784.
- Saroinsong, F. B., Sumakud, M. Y., Kalangi, J. I., & Nurmawan, W. (2026). Penyuluhan Pengelolaan Lanskap Pemukiman Berbasis Keanekaragaman Hayati di Kelurahan Winangun Dua Kecamatan Malalayang Kota Manado. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, 11(2), 214-225.

- Saroinsong, F., & Muntu, J. (2025). Rehabilitating Critical Land in the Watersheds of North Sulawesi Province, Indonesian: Strategies and Community-Based Implementation. *Asia Pacific Journal of Interdisciplinary Studies*, 1(2), 23-27.
- Saroinsong, F., Harashina, K., Arifin, H., Gandasmita, K., & Sakamoto, K. (2007). Practical Application of A Land Resources Information System for Agricultural Landscape Planning. *Landscape and Urban Planning*, 79(1), 38-52.
- Talantan, P., Saroinsong, F., Situmorang, E. N., Pangemanan, E. F., & Ratag, S. P. (2025). The Integration of Local Species and Local Knowledge in Agroforestry Systems in Indonesia: A Systematic Mapping Study. *Asia Pacific Journal of Interdisciplinary Studies*, 1(2), 36-45.
- Tulod, S. E., & Pangaribuan, K. (2020). Pemanfaatan Teknologi Informasi dan Komunikasi dalam Pengelolaan Hutan di Indonesia. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 17(2), 115-125.
- Wich, S. A., et al. (2018). Conservation Drones: Applications in Conservation and Management of Protected Areas. *Biological Conservation*, 218, 1-9.
- Wuisan, I. O., Saroinsong, F. B., & Langi, M. A. (2022). Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan di Kebun Raya Megawati Soekarnoputri Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Agri-Sosioekonomi*, 18(1), 219-224.
- WWF. (2021). *The Global Conservation Technology Report: Innovations for Nature*. WWF International.