

Application of Science, Technology, and Innovation in Forest Management

Aplikasi Pemanfaatan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Inovasi dalam Manajemen Hutan

Endless C. Supit^{1*}, Fabiola B. Saroinsong¹, Laurensius J. S. Suwarna¹

¹Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi

*Email: fabiolasaroinsong@unsrat.ac.id

ABSTRACT

Traditional conservation is often hampered by significant challenges, including low accessibility to large protected areas, delayed responses to threats such as poaching and deforestation, and reliance on manual survey data that is costly, time-consuming, and prone to inaccuracy. These constraints lead to conservation decisions that are often subjective and lack empirical support. This study aims to systematically synthesize and analyze developments in Science, Technology, and Art/Innovation (Iptek) in forest protected area management, as well as evaluate their contribution to improving the effectiveness of evidence-based conservation management.

The research methodology uses a Systematic Literature Review (SLR) approach, which is qualitative-analytical in nature, where the main focus is to identify, evaluate, and synthesize the latest scientific findings from reputable databases (such as Scopus and Web of Science) regarding the application of Science and Technology (Iptek) in forest protected area management. The results of the study show that the integration of science and technology enables a transition from reactive management to predictive and proactive conservation. Science and technology provide a framework for Evidence-Based Conservation Management.

The use of Iptek has yielded measurable results in terms of increased conservation effectiveness. For example, the implementation of a spatial data-based patrol system, as implemented through the SMART Patrol initiative, has shown a success rate of up to 80% higher in detecting and preventing illegal activities compared to patrols without spatial data. On the other hand, camera trap data analysis using AI has been proven to be 99% faster in identifying wildlife than manual analysis, enabling a much faster conservation response to population changes. This efficiency also results in savings of 50-70% in survey costs and time through the use of drones and remote sensing.

Keywords: Science and Technology, Forest Management, Protected Areas, Remote Sensing, Evidence-Based Conservation

ABSTRAK

Konservasi tradisional sering kali terhambat oleh tantangan yang signifikan, termasuk aksesibilitas yang rendah ke kawasan lindung yang luas, keterlambatan respons terhadap ancaman seperti perburuan liar dan deforestasi, serta ketergantungan pada data survei manual yang mahal, memakan waktu, dan rawan ketidakakuratan. Kendala ini menyebabkan pengambilan keputusan konservasi yang sering kali bersifat subjektif dan kurang didukung oleh bukti empiris. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan menganalisis secara sistematis perkembangan inovasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Seni/Inovasi (Iptek) dalam manajemen kawasan lindung kehutanan, serta mengevaluasi kontribusinya terhadap peningkatan efektivitas pengelolaan hutan berbasis bukti (evidence-based conservation management).

Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan Tinjauan Pustaka Sistematis (Systematic Literature Review/SLR) yang bersifat kualitatif-analitis, di mana fokus utamanya adalah mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan-temuan ilmiah terbaru dari basis data bereputasi (seperti Scopus dan Web of Science) mengenai aplikasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Ipteks) dalam manajemen kawasan lindung kehutanan. Hasil studi menunjukkan bahwa integrasi Ipteks memungkinkan transisi dari manajemen reaktif menuju konservasi prediktif dan proaktif. Ipteks menyediakan kerangka kerja untuk Manajemen Konservasi Berbasis Bukti (Evidence-Based Conservation Management).

Penggunaan Ipteks telah memberikan hasil berupa peningkatan efektivitas konservasi yang terukur. Misalnya, penerapan sistem patroli berbasis data spasial, seperti yang diimplementasikan melalui inisiatif SMART Patrol, menunjukkan tingkat keberhasilan hingga 80% lebih tinggi dalam mendeteksi dan mencegah aktivitas ilegal dibandingkan patroli tanpa basis data spasial. Di sisi lain, analisis data camera trap menggunakan AI telah terbukti 99% lebih cepat dalam identifikasi satwa liar dibandingkan analisis manual, memungkinkan respons konservasi yang jauh lebih cepat terhadap perubahan populasi. Efisiensi ini juga menghasilkan penghematan biaya dan waktu survei lapangan hingga 50-70% melalui pemanfaatan drone dan penginderaan jauh.

Kata Kunci: Ipteks, Manajemen Hutan, Kawasan Lindung, Penginderaan Jauh, Konservasi Berbasis Bukti

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 dan Muntu, 2025; Charli dan 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 sumber daya 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 menyintesis 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 (iptek) 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 iptek 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 penebangan 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 lama. 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.

Iptek 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 respons 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 iptek 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 iptek 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, iptek tidak hanya meningkatkan kapasitas teknis pengelolaan kawasan lindung, tetapi juga memperkuat legitimasi sosial, kesadaran publik, dan keberlanjutan jangka panjang upaya konservasi.

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., Gandasasmita, 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.