

## Management Strategies and Methods for Adaptation of Conservation Areas to Climate Change: A Technological Approach

### Strategi dan Metode Pengelolaan untuk Adaptasi Kawasan Konservasi terhadap Perubahan Iklim: Pendekatan Teknologi

Rumiris E. Turnip<sup>1</sup>, Wawan Nurmawan<sup>1\*</sup>, Fabiola B. Saroinsong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi

\*Email: wawan2828@unsrat.ac.id

#### ABSTRACT

*Climate change poses a serious threat to the sustainability of approximately 27 million ha of conservation areas in Indonesia, driving rising temperatures, altered rainfall patterns, habitat degradation, and an increased risk of natural disasters. This article aims to comprehensively examine strategies and adaptive management methods for conservation areas by combining cutting-edge technological approaches with active community participation. The study employs a literature review methodology, analyzing reputable scientific publications and relevant empirical case studies. The findings indicate that integrating modern technologies—such as satellite-based monitoring, drones, IoT-based environmental sensors, and Geographic Information System (GIS) analysis—significantly enhances ecosystem monitoring effectiveness and accelerates the early detection of ecological threats. Meanwhile, participatory approaches—utilizing co-management models, incentives, and the integration of local wisdom—have successfully strengthened the socio-ecological adaptive capacity of these areas. The synergy between technological innovation and public participation proves to be the most effective strategy for responding to climate change dynamics, with inclusive policies and long-term funding serving as key factors for success.*

**Keywords:** climate adaptation, conservation area, technology, community participation, Indonesia

#### ABSTRAK

Perubahan iklim memberikan dampak serius terhadap keberlanjutan sekitar 27 juta ha kawasan konservasi di Indonesia, yang memicu kenaikan suhu, perubahan pola curah hujan, degradasi habitat, dan peningkatan risiko bencana alam. Artikel ini bertujuan mengkaji secara komprehensif strategi serta metode pengelolaan adaptif kawasan konservasi melalui kombinasi pendekatan teknologi mutakhir dan partisipasi aktif masyarakat. Penelitian ini menggunakan pendekatan studi pustaka (*literature review*) dengan menganalisis berbagai publikasi ilmiah bereputasi dan studi kasus empiris terkait. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi teknologi modern, seperti pemantauan berbasis satelit, penggunaan drone, sensor lingkungan berbasis IoT, dan analisis Sistem Informasi Geografis (GIS), secara signifikan meningkatkan efektivitas pemantauan ekosistem serta percepatan deteksi dini ancaman ekologis. Sementara itu, pendekatan partisipatif masyarakat melalui model tata kelola bersama (*co-management*), insentif, dan integrasi kearifan lokal berhasil memperkuat kapasitas adaptasi sosial-ekologis kawasan. Sinergi antara inovasi teknologi dan partisipasi publik terbukti menjadi strategi paling efektif dalam merespons dinamika perubahan iklim, dengan dukungan kebijakan inklusif serta pendanaan jangka panjang sebagai faktor kunci keberhasilannya.

**Kata kunci:** adaptasi iklim, kawasan konservasi, teknologi, partisipasi masyarakat, Indonesia

## **PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan negara megabiodiversitas dengan luas kawasan konservasi ±27 juta hektare yang berperan penting dalam menjaga keanekaragaman hayati, penyimpanan karbon, dan penopang jasa ekosistem (KLHK, 2021). Namun, perubahan iklim mengancam fungsi-fungsi tersebut melalui kenaikan suhu, perubahan curah hujan, kebakaran hutan, intrusi air laut, dan hilangnya habitat (IPCC, 2022).

Kawasan lindung ini sangat penting untuk menjaga keanekaragaman hayati, habitat alami, dan jasa ekosistem. Pemerintah Indonesia telah menilai efektivitas pengelolaan kawasan ini menggunakan Alat Pelacakan Efektivitas Manajemen (METT), mengungkapkan peningkatan yang signifikan dalam skor manajemen dari waktu ke waktu, menyoroti pentingnya mereka dalam menjaga keanekaragaman hayati dan mendukung layanan ekosistem di seluruh nusantara (Nugraha et al., 2024). Indonesia, yang diakui sebagai negara mega-biodiversitas, memiliki luas hutan sekitar 120 juta hektar, dengan 70 persen yang tersisa berhutan pada tahun 2020. Kawasan hutan yang luas ini sangat penting untuk menjaga keanekaragaman hayati, penyimpanan karbon, dan mendukung berbagai jasa ekosistem.

Pemerintah telah menerapkan kebijakan untuk meningkatkan keberlanjutan hutan dan layanan ekosistem arus utama, dengan fokus pada konservasi dan pengelolaan berkelanjutan untuk mengatasi perubahan iklim dan mempromosikan pembangunan sosial-ekonomi sambil melindungi keanekaragaman hayati yang kaya di wilayah tersebut (Suryandari et al., 2021).

Strategi adaptasi kawasan konservasi diperlukan agar fungsi ekologis dan sosial tetap terjaga. Dua pendekatan yang mulai diadopsi adalah teknologi modern (pemantauan berbasis citra satelit, drone, sistem informasi geografis, sensor lingkungan) dan partisipasi aktif masyarakat sekitar kawasan. Artikel ini mengkaji secara mendalam strategi dan metode adaptasi kawasan konservasi terhadap perubahan iklim dengan menekankan kedua pendekatan tersebut (Pandaan, 2022).

## **METODE**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian pustaka (literature review). Data diperoleh dari jurnal ilmiah internasional dan nasional, laporan pemerintah, serta studi kasus empiris terkait adaptasi kawasan konservasi di Indonesia. Analisis mencakup strategi adaptasi berbasis teknologi (monitoring, GIS, pemodelan iklim), metode partisipasi masyarakat (co-management, insentif, integrasi kearifan lokal), kerangka kebijakan dan pendanaan yang mendukung adaptasi. Beberapa studi kasus yang dijadikan rujukan di antaranya konservasi mangrove, restorasi lahan gambut, pemetaan partisipatif menggunakan drone, dan pengelolaan taman nasional.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **1. Strategi Adaptasi Berbasis Teknologi**

#### **a. Monitoring dan surveilans ekosistem**

Integrasi citra satelit, drone, dan sensor lingkungan telah secara signifikan meningkatkan pemantauan dan pengawasan ekosistem, memungkinkan deteksi dini perubahan seperti deforestasi, kebakaran, dan degradasi lahan (Hansen et al., 2020). Teknologi ini menyediakan kemampuan pengumpulan dan analisis data yang komprehensif, yang sangat penting untuk pengelolaan ekosistem yang efektif. Namun, keberhasilan implementasi teknologi ini memerlukan penanganan tantangan seperti pelatihan komunitas dan manajemen data etis, seperti yang disorot oleh Naufal et al. (2021).

##### **• Citra satelit**

Citra satelit memungkinkan pemantauan ekosistem skala besar, menangkap data tentang penggunaan lahan, tutupan hutan, dan perubahan lingkungan dari waktu ke waktu. Teknologi ini sangat penting untuk pemetaan dan pemodelan kondisi ekosistem,

termasuk dampak degradasi lahan dan perubahan iklim (Saxena et al., 2024)]. Drone menawarkan data resolusi spasial yang tinggi dan dapat menjembatani kesenjangan antara pengamatan berbasis darat dan citra satelit. Mereka sangat efektif dalam memantau proses skala kecil dan memberikan wawasan terperinci tentang perubahan dan degradasi penggunaan lahan (Manfreda et al., 2018).

- **Drone**

Penggunaan drone dalam pemantauan lingkungan telah menyebabkan kemajuan dalam pelestarian satwa liar, pengelolaan hutan, dan tanggap bencana, menawarkan sarana serbaguna pengumpulan dan analisis data (Raj et al., 2024). Pemetaan partisipatif dengan drone, seperti yang dibahas oleh Naufal et al. (2021), membutuhkan keterlibatan dan pelatihan masyarakat untuk memastikan pengumpulan data yang akurat dan pertimbangan etis (Opedes et al., 2023).

- **Sensor Lingkungan**

Integrasi perangkat IoT dengan drone meningkatkan pengumpulan data real-time, memungkinkan pemantauan parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kualitas udara. Pendekatan ini memfasilitasi deteksi dini dan respons cepat terhadap potensi insiden kebakaran (Impana, 2024). Sementara teknologi ini menawarkan manfaat signifikan untuk pemantauan ekosistem, tantangan seperti privasi data, pertimbangan etis, dan kebutuhan akan pelatihan masyarakat harus ditangani untuk memaksimalkan potensi mereka (Naufal et al., 2021). Selain itu, kolaborasi antar pemangku kepentingan, termasuk lembaga pemerintah, masyarakat lokal, dan LSM, sangat penting untuk pengelolaan ekosistem dan upaya konservasi yang efektif (Pretty & Smith, 2022).

## **b. Sistem Informasi Geografis (GIS)**

Sistem Informasi Geografis (GIS) memainkan peran yang sangat penting dalam pemantauan lingkungan, perencanaan wilayah, serta pengambilan keputusan strategis, terutama dalam konteks adaptasi dan mitigasi perubahan iklim (Gallo & Bini, 2015). Dengan kemampuannya untuk mengintegrasikan berbagai jenis data spasial dan non-spasial, GIS memungkinkan analisis yang lebih komprehensif terhadap fenomena lingkungan yang kompleks (Valvi et al., 2024). Melalui pemetaan dan visualisasi spasial, GIS dapat mengidentifikasi wilayah yang paling rentan terhadap bencana ekologis seperti banjir, kekeringan, erosi tanah, dan kebakaran hutan (Chen et al., 2022). Hasil analisis ini memberikan dasar yang kuat bagi pembuat kebijakan untuk menentukan prioritas intervensi, mengalokasikan sumber daya secara efisien, serta merancang strategi mitigasi yang tepat sasaran untuk mengurangi dampak lingkungan akibat perubahan iklim (See, 2015). Ada beberapa keuntungan dan keterbatasan GIS yaitu :

- **Integrasi Data**

Salah satu keunggulan utama GIS terletak pada kemampuannya dalam menggabungkan berbagai jenis data dari sumber yang beragam, seperti citra satelit, data sensor iklim, informasi geologi, serta data sosial ekonomi masyarakat (Gallo & Bini, 2015). Integrasi ini memungkinkan peningkatan pemahaman yang lebih mendalam tentang pola perubahan lingkungan dan risiko yang mungkin timbul di masa depan (Valvi et al., 2024). Dengan memanfaatkan data resolusi tinggi, GIS dapat menganalisis dinamika bahaya iklim, termasuk frekuensi, intensitas, serta distribusinya secara geografis (Valvi et al., 2024). Analisis tersebut memberikan wawasan penting bagi para peneliti dan perencana dalam memprediksi dampak lingkungan serta mengembangkan model adaptasi yang berkelanjutan (Davidson, 2007).

- **Penilaian dan Manajemen Risiko**

GIS berperan penting dalam proses penilaian dan manajemen risiko lingkungan, mencakup berbagai aspek seperti kualitas air, kondisi tanah, tutupan vegetasi, serta kualitas udara (Chen et al., 2022). Melalui pemetaan spasial, GIS membantu dalam mengidentifikasi area

dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap degradasi lingkungan maupun bahaya alam (Valvi et al., 2024). Beberapa studi kasus menunjukkan efektivitas penggunaan GIS dalam mendukung perencanaan tata guna lahan yang lebih strategis serta pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan (Davidson, 2007). Sebagai contoh, GIS dapat digunakan untuk menentukan zona perlindungan hutan, mengidentifikasi wilayah tangkapan air yang kritis, atau merencanakan jalur evakuasi dalam mitigasi bencana (Chen et al., 2022).

- **Implikasi terhadap Kebijakan**

Hasil analisis yang dihasilkan oleh GIS tidak hanya penting bagi kalangan akademisi atau peneliti, tetapi juga memiliki implikasi langsung terhadap proses penyusunan kebijakan publik (See, 2015). Informasi yang dihasilkan dari analisis spasial membantu pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi adaptasi dan mitigasi yang lebih berbasis bukti (evidence-based policy making) (See, 2015). Dengan demikian, kebijakan yang dihasilkan dapat lebih responsif terhadap kondisi lingkungan lokal dan perubahan iklim yang sedang berlangsung (Gallo & Bini, 2015). Selain itu, GIS juga berfungsi sebagai alat komunikasi visual yang efektif, memudahkan penyampaian informasi ilmiah kepada masyarakat dan pemangku kepentingan lainnya, sehingga mendorong partisipasi publik dalam upaya pelestarian lingkungan (Davidson, 2007).

- **Tantangan dan Keterbatasan**

Meskipun GIS merupakan alat yang sangat kuat dan bermanfaat dalam analisis lingkungan, efektivitas penerapannya masih menghadapi sejumlah tantangan (Valvi et al., 2024). Keterbatasan dalam ketersediaan data spasial yang akurat, terkini, dan terstandarisasi dapat menghambat kualitas hasil analisis (Chen et al., 2022). Selain itu, penerapan GIS memerlukan keahlian teknis yang tinggi serta infrastruktur teknologi yang memadai, yang mungkin belum tersedia di beberapa daerah, terutama di wilayah berkembang (Gallo & Bini, 2015). Oleh karena itu, diperlukan peningkatan kapasitas sumber daya manusia, kolaborasi antar lembaga, serta investasi dalam penyediaan data dan teknologi agar pemanfaatan GIS dapat dilakukan secara optimal di berbagai sektor lingkungan dan pembangunan berkelanjutan (See, 2015).

### **c. Pemodelan Skenario Iklim**

Pemodelan skenario iklim merupakan pendekatan penting dalam memperkirakan kondisi iklim di masa depan berdasarkan berbagai asumsi mengenai emisi gas rumah kaca, perubahan penggunaan lahan, maupun kebijakan mitigasi dan adaptasi (IPCC, 2021). Model ini memungkinkan simulasi perubahan sistem iklim global dengan menggunakan berbagai skenario emisi seperti Representative Concentration Pathways (RCP) atau Shared Socioeconomic Pathways (SSP) (O'Neill et al., 2017). Pemodelan ini biasanya menggunakan proyeksi parameter iklim seperti suhu rata-rata, curah hujan, kelembapan, serta frekuensi kejadian iklim ekstrem yang dihasilkan dari model iklim global maupun regional (Knutti & Sedláček, 2013). Dengan pemodelan tersebut, para peneliti dan pengambil kebijakan dapat mengantisipasi tekanan terhadap ekosistem dan spesies tertentu, serta menyusun strategi adaptasi yang lebih spesifik dan berbasis bukti (Thuiller et al., 2019).

Sebagai contoh, penelitian Hotta et al. (2019) menunjukkan bahwa habitat potensial burung *Lagopus muta japonica* di Pegunungan Alpen Utara Jepang diprediksi menurun drastis pada periode 2081-2100 akibat peningkatan suhu, dengan banyak model memproyeksikan penurunan hingga kurang dari 1% dari luas habitat saat ini (Hotta et al., 2019). Hal ini menggambarkan kerentanan spesies pegunungan yang memiliki rentang toleransi sempit terhadap perubahan iklim dan menunjukkan pentingnya analisis spasial dalam memprediksi dampak ekologis (Nishimura et al., 2020).

Demikian pula, studi Wani et al. (2022) menemukan bahwa habitat tanaman endemik Himalaya, *Aconitum heterophyllum*, akan mengalami penyusutan signifikan di bawah proyeksi iklim masa depan, sehingga menekankan pentingnya strategi konservasi berbasis lokasi yang

adaptif terhadap perubahan iklim (Wani et al., 2022). Pemodelan skenario iklim juga dapat mengidentifikasi potensi refugia atau wilayah yang tetap stabil meskipun iklim global berubah (Cerman et al., 2022). Informasi ini sangat berguna untuk menentukan prioritas konservasi, misalnya dalam restorasi habitat, penetapan kawasan lindung baru, atau pengembangan koridor ekologis (Williams & Jackson, 2007).

Studi Cerman et al. (2022) menunjukkan bahwa distribusi dua spesies burung hantu boreal akan menyusut di sebagian besar skenario iklim, namun beberapa area refugia masih tersedia yang dapat dijadikan fokus konservasi (Cerman et al., 2022). Dengan demikian, pemodelan skenario iklim membantu merumuskan kebijakan yang lebih proaktif dan adaptif terhadap perubahan iklim (IPCC, 2021). Lebih jauh, dimensi biologis seperti kemampuan spesies untuk bermigrasi atau beradaptasi juga berperan penting dalam menentukan hasil model (Urban, 2015). Penelitian terbaru oleh *Frontiers in Ecology and Evolution* (2023) menemukan bahwa hampir 47,7% dari 7.193 spesies amfibi berisiko tinggi menghadapi kepunahan hingga tahun 2100 apabila tidak ada adaptasi evolusioner maupun kemampuan dispersal (*Frontiers in Ecology and Evolution*, 2023).

Namun, jika kedua faktor tersebut dipertimbangkan, potensi kepunahan dapat ditekan secara signifikan (Urban, 2015). Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan skenario iklim tidak hanya perlu mengandalkan variabel iklim, tetapi juga memasukkan aspek biologi dan ekologi spesies untuk menghasilkan prediksi yang lebih realistis (Thuiller et al., 2019). Dengan integrasi antara data iklim, biologi spesies, dan aspek spasial, pemodelan skenario iklim menjadi alat strategis dalam merumuskan kebijakan konservasi yang adaptif dan berbasis bukti (Cerman et al., 2022). Pendekatan ini memungkinkan identifikasi risiko ekologis secara lebih presisi serta mendukung implementasi strategi konservasi jangka panjang yang selaras dengan perubahan iklim global (IPCC, 2021).

#### **d. Restorasi Ekosistem Berbasis Teknologi**

Restorasi ekosistem berbasis teknologi merupakan pendekatan transformatif yang berfokus pada pemulihan fungsi ekologi melalui integrasi inovasi ilmiah dan partisipasi masyarakat (Biswas & Sarkar, 2024). Pendekatan ini muncul sebagai respons terhadap degradasi lingkungan yang semakin meluas akibat perubahan iklim, urbanisasi, dan eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan (Jones & Murphy, 2023). Pergeseran paradigma ini menekankan pentingnya intervensi aktif dalam sistem ekologi yang rusak, sekaligus membangun hubungan baru yang lebih harmonis antara manusia dan alam (Pauwelussen & Vandenberg, 2024).

Dengan menggabungkan teknologi mutakhir dan pengetahuan lokal, restorasi ekosistem tidak hanya bertujuan memulihkan kondisi fisik lingkungan, tetapi juga memperkuat ketahanan sosial-ekologis masyarakat (Biswas & Sarkar, 2024). Sejalan dengan kebutuhan akan pendekatan yang lebih adaptif dan terukur inilah berbagai teknologi baru mulai diadopsi untuk meningkatkan efektivitas kegiatan restorasi yaitu salah satu teknologi yang semakin banyak diterapkan dalam restorasi ekosistem adalah ekoteknologi, yaitu pemanfaatan teknologi ramah lingkungan untuk menciptakan sistem ekologi yang berkelanjutan dan efisien (Biswas & Sarkar, 2024).

Ekoteknologi berupaya mengintegrasikan prinsip-prinsip ekologi dalam perancangan sistem buatan manusia, seperti penggunaan fitoremediasi, biofiltrasi, dan rekayasa biohidrologi untuk meningkatkan kualitas tanah dan air (Kivaisi, 2022). Pendekatan ini tidak hanya menekankan pemulihan fungsi ekosistem, tetapi juga memperkuat sinergi antara masyarakat manusia dan lingkungan, menciptakan solusi adaptif yang berorientasi jangka panjang (Biswas & Sarkar, 2024). Selain itu, penginderaan jauh dan penggunaan drone menjadi inovasi penting dalam pemantauan dan pelaksanaan proyek restorasi (Jones & Murphy, 2023). Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data spasial dan temporal secara real-time untuk memantau kesehatan vegetasi, tingkat degradasi, dan keberhasilan intervensi restorasi (Alvarez et al., 2021).

Melalui citra satelit resolusi tinggi dan pemetaan drone, para peneliti dapat melakukan analisis vegetasi, identifikasi lahan kritis, serta menilai efektivitas penanaman kembali (Jones & Murphy, 2023). Penggunaan teknologi ini terbukti meningkatkan efisiensi, akurasi, dan skala pemulihan ekosistem, terutama di wilayah yang sulit dijangkau (García et al., 2022). Lebih lanjut, pendekatan berbasis DNA lingkungan (eDNA) dan pemantauan akustik juga memainkan peran yang semakin penting dalam memahami dinamika ekosistem yang sedang dipulihkan (Jones & Murphy, 2023). Analisis eDNA memungkinkan identifikasi keanekaragaman hayati tanpa perlu menangkap spesies secara langsung, sehingga mempercepat proses pemantauan ekologis (Cordier et al., 2020).

Sementara itu, pemantauan akustik digunakan untuk mendeteksi aktivitas fauna seperti burung, serangga, atau mamalia kecil, yang menjadi indikator keberhasilan restorasi (Buxton et al., 2021). Integrasi kedua metode ini memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang respons spesies terhadap intervensi manusia dan membantu perancangan strategi restorasi yang lebih adaptif (Jones & Murphy, 2023). Restorasi ekosistem berbasis teknologi tidak hanya berdampak ekologis, tetapi juga memiliki implikasi sosial yang signifikan (Pauwelussen & Vandenberg, 2024). Pendekatan modern kini menekankan inklusivitas dan kesetaraan, dengan memastikan keterlibatan masyarakat dari berbagai latar belakang sosial, ekonomi, dan budaya (Jones & Murphy, 2023).

Partisipasi masyarakat lokal tidak hanya meningkatkan efektivitas implementasi proyek, tetapi juga mengatasi ketidakadilan historis yang seringkali meminggirkan komunitas tradisional dari pengelolaan sumber daya alam (Pauwelussen & Vandenberg, 2024). Melalui partisipasi aktif, pengetahuan tradisional dapat digabungkan dengan teknologi modern untuk menciptakan solusi restorasi yang lebih kontekstual dan berkelanjutan (Biswas & Sarkar, 2024). Selain dimensi sosial, terdapat pula manfaat ekonomi dari penerapan teknologi dalam restorasi ekosistem. Contohnya, program Restoring Grazing Land to Grassland Technology (RGLGT) di Tiongkok telah menunjukkan hasil yang positif, baik secara ekologis maupun ekonomi, melalui peningkatan produktivitas lahan dan pengurangan erosi tanah (Shengqiang & Kai, 2017).

Teknologi ini memungkinkan pemulihan padang rumput yang rusak akibat penggembalaan berlebihan, sehingga meningkatkan kesejahteraan masyarakat pastoral sekaligus mempromosikan pembangunan berkelanjutan di wilayah tersebut (Shengqiang & Kai, 2017). Dengan demikian, restorasi berbasis teknologi tidak hanya memulihkan fungsi ekosistem, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap ekonomi hijau dan kesejahteraan sosial masyarakat (Biswas & Sarkar, 2024). Meskipun teknologi membuka peluang besar dalam restorasi ekosistem, sejumlah tantangan dan pertimbangan etis tetap perlu diperhatikan (Pauwelussen & Vandenberg, 2024).

Tantangan utama meliputi kebutuhan akan kolaborasi interdisipliner antara ilmuwan, teknolog, dan komunitas lokal agar solusi yang dihasilkan tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga relevan secara sosial (Jones & Murphy, 2023). Selain itu, keberhasilan restorasi memerlukan integrasi pengetahuan ekologi tradisional yang telah terbukti adaptif terhadap kondisi lokal selama berabad-abad (Reid et al., 2021). Kritikus berpendapat bahwa ketergantungan berlebihan pada teknologi modern dapat menutupi nilai praktik lokal dan mengabaikan peran masyarakat sebagai pengelola ekosistem yang berpengetahuan (Pauwelussen & Vandenberg, 2024). Oleh karena itu, restorasi ekosistem berbasis teknologi harus diarahkan pada pendekatan hibrid yang memadukan inovasi ilmiah dengan kearifan lokal untuk mencapai keberlanjutan jangka panjang (Biswas & Sarkar, 2024).

## **2. Metode Partisipasi Masyarakat**

Partisipasi masyarakat merupakan komponen kunci dalam tata kelola yang efektif dan promosi kesehatan berkelanjutan, karena memungkinkan masyarakat untuk berperan aktif dalam proses pengambilan keputusan yang memengaruhi kehidupan mereka sendiri (Leibbrandt, 1997). Konsep ini menekankan pentingnya kolaborasi antara pemerintah, lembaga swadaya

masyarakat, dan warga dalam setiap tahap perencanaan dan pelaksanaan kebijakan publik (Hatu et al., 2024).

Melalui pendekatan partisipatif, masyarakat tidak hanya menjadi penerima manfaat, tetapi juga aktor utama dalam pembangunan yang berbasis kebutuhan dan potensi lokal (Darma et al., 2023). Dengan demikian, partisipasi masyarakat berfungsi sebagai sarana pemberdayaan sosial yang meningkatkan rasa kepemilikan, tanggung jawab, dan keberlanjutan program.

#### **a. Model Partisipasi Masyarakat**

Salah satu model teoretis paling berpengaruh dalam memahami tingkat partisipasi adalah Tangga Partisipasi (Ladder of Participation) yang dikemukakan oleh Arnstein dan diadaptasi dalam berbagai konteks oleh para peneliti modern. Model ini mengkategorikan partisipasi ke dalam delapan tingkatan, mulai dari non-partisipasi (manipulasi dan terapi) hingga tahap tertinggi berupa pemberdayaan (delegated power dan citizen control) (Arnstein, 1969; 유승현, 2012). Pendekatan ini menyoroti bahwa partisipasi sejati tidak sekadar konsultatif, tetapi harus melibatkan masyarakat dalam proses pengambilan keputusan yang nyata dan berpengaruh (Leibbrandt, 1997).

Dalam konteks pembangunan lokal, penerapan model ini membantu pemerintah dan lembaga pelaksana untuk memahami sejauh mana masyarakat memiliki kontrol terhadap proses pembangunan (Hatu et al., 2024). Model lain yang banyak diterapkan adalah Penelitian Aksi Partisipatif (*Participatory Action Research/ PAR*), yang menggabungkan proses penelitian dengan tindakan sosial untuk mencapai perubahan yang diinginkan oleh komunitas (Darma et al., 2023). Metode ini secara aktif melibatkan masyarakat dalam setiap tahapan penelitian—mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis, hingga implementasi solusi—sehingga menumbuhkan rasa kepemilikan dan akuntabilitas yang kuat (Kindon et al., 2007). Contohnya dapat ditemukan dalam program Kuliah Kerja Nyata (KKN) berbasis PAR di Desa Pagaran Tonga, di mana mahasiswa dan masyarakat bekerja sama untuk merancang dan melaksanakan solusi atas permasalahan lokal secara kolaboratif (Darma et al., 2023). Melalui pendekatan ini, hasil penelitian tidak hanya bersifat akademis, tetapi juga memberikan manfaat langsung bagi masyarakat (Cornwall & Jewkes, 1995).

#### **b. Tahapan Partisipasi**

Partisipasi masyarakat terjadi melalui beberapa tahapan utama, yang masing-masing memiliki peran penting dalam menjamin keberhasilan program pembangunan dan kesehatan masyarakat (Hatu et al., 2024).

- **Tahap Perencanaan.**

Pada tahap ini, masyarakat dilibatkan dalam proses identifikasi kebutuhan, penyusunan prioritas, serta penentuan strategi melalui forum musyawarah desa dan pertemuan komunitas (Hatu et al., 2024). Pendekatan ini memastikan bahwa setiap kegiatan pembangunan mencerminkan kebutuhan lokal dan tidak semata-mata dipaksakan dari luar (Leibbrandt, 1997). Keterlibatan masyarakat sejak awal juga meningkatkan rasa tanggung jawab bersama terhadap keberhasilan program (Darma et al., 2023).

- **Tahap Implementasi.**

Pada tahap pelaksanaan, anggota komunitas berpartisipasi langsung dalam menjalankan program, baik melalui kegiatan fisik, pelatihan, maupun pengelolaan sumber daya (Hatu et al., 2024). Pelibatan ini terbukti meningkatkan relevansi dan efektivitas program karena masyarakat memiliki pengetahuan lokal yang dapat mengarahkan kegiatan agar lebih kontekstual (Cornwall & Jewkes, 1995). Dalam banyak kasus, keterlibatan aktif masyarakat juga menurunkan biaya implementasi karena kontribusi tenaga dan sumber daya lokal (Leibbrandt, 1997).

- **Tahap Pemantauan dan Evaluasi.**

Keterlibatan masyarakat dalam pemantauan dan evaluasi berfungsi untuk menjamin transparansi, akuntabilitas, dan kesinambungan program (Hatu et al., 2024). Melalui mekanisme ini, masyarakat dapat menilai sendiri hasil intervensi yang dilakukan, memberikan umpan balik terhadap efektivitas program, serta memastikan penggunaan dana yang tepat sasaran (Darma et al., 2023). Pendekatan ini juga memperkuat kapasitas komunitas dalam pengawasan dan pengambilan keputusan jangka panjang.

**c. Tantangan dalam Implementasi**

Meskipun manfaat partisipasi masyarakat telah banyak diakui, berbagai tantangan struktural dan sosial masih menghambat penerapannya (Leibbrandt, 1997). Salah satu tantangan utama adalah perbedaan tingkat kesiapan masyarakat, yang dapat dipengaruhi oleh pendidikan, budaya, dan pengalaman berorganisasi (Hatu et al., 2024). Selain itu, keterbatasan sumber daya—baik finansial maupun teknis—sering kali membatasi kapasitas masyarakat untuk terlibat secara bermakna (Cornwall & Jewkes, 1995).

Dalam beberapa konteks, partisipasi hanya bersifat simbolik atau top-down, di mana masyarakat sekadar dikonsultasikan tanpa memiliki kekuatan nyata dalam pengambilan keputusan (Arnstein, 1969). Oleh karena itu, partisipasi masyarakat perlu didukung oleh kebijakan yang inklusif, pendampingan berkelanjutan, serta penguatan kapasitas lokal untuk memastikan partisipasi yang autentik dan efektif (Darma et al., 2023).

**KESIMPULAN**

Adaptasi kawasan konservasi terhadap perubahan iklim di Indonesia menuntut sinergi antara teknologi inovatif dan partisipasi masyarakat. Integrasi teknologi seperti penginderaan jauh, sensor iklim otomatis, dan analisis spasial berbasis GIS telah meningkatkan efektivitas pemantauan ekosistem serta deteksi dini terhadap ancaman lingkungan. Namun, keberhasilan adaptasi tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologi, tetapi juga pada peran aktif masyarakat lokal melalui pengelolaan berbasis komunitas yang memperkuat kapasitas sosial-ekologis kawasan. Dukungan kebijakan yang inklusif, pendanaan jangka panjang, serta pendidikan dan peningkatan kesadaran masyarakat menjadi faktor penentu keberlanjutan program adaptasi. Dengan demikian, pendekatan yang menggabungkan inovasi teknologi dan keterlibatan masyarakat secara partisipatif merupakan strategi paling efektif untuk memperkuat ketahanan kawasan konservasi terhadap dampak perubahan iklim di Indonesia

**SARAN**

Pemerintah dan pengelola kawasan konservasi disarankan untuk mempercepat integrasi teknologi modern, seperti pemantauan berbasis satelit, drone, sensor IoT, dan GIS. Langkah ini penting untuk meningkatkan efektivitas *surveilans* ekosistem serta mempercepat respon deteksi dini terhadap ancaman dampak perubahan iklim secara proaktif. Selain itu, pelibatan masyarakat lokal perlu diperkuat melalui pendekatan tata kelola bersama (*co-management*) dan pemanfaatan kearifan lokal. Sinergi antara inovasi teknologi dan partisipasi publik, yang didukung kebijakan inklusif serta pendanaan jangka panjang, akan menjamin keberlanjutan dan ketahanan sosial-ekologis kawasan konservasi di Indonesia.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Chen, L., Mao, Y., & Zhao, R. (2022). GIS application in environmental monitoring and risk assessment. 908-917. <https://doi.org/10.1109/ICGMRS55602.2022.9849269>
- Darma, S., Padolly, Z., Hasibuan, W. M., Huda, N., Dewi, N. R., Khalijah, N., Ritonga, D. H., Lubis, R., Shahrin, A., & Syaputra, M. S. (2023). Efektifitas Kuliah Kerja Nyata (KKN) Dalam Meningkatkan Partisipasi Masyarakat “Studi Kasus Pada Masyarakat Desa Pagaran Tonga, Padang Lawas Utara.” *Malik Al-Shalih*, 2(2), 47-56. <https://doi.org/10.52490/malikalshalih.v2i2.2048>

- Davidson, D. A. (2007). Gis and environmental management. *European Environment*, 2(3), 13-17. <https://doi.org/10.1002/EET.3320020306>
- Gallo, A., & Bini, C. (2015). Mapping environmental data with a Geographic Information System. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-17169>
- Hatu, R. A., Ibrahim, R., Bumulo, S., & Adahati, F. S. (2024). Partisipasi Masyarakat Dalam Pengelolaan Dana Desa di Desa Biluango, Kecamatan Kabila Bone, Kabupaten Bone Bolango. <https://doi.org/10.37905/drsj.v2i1.47>
- Judijanto, L. & Hildawati, H. (2024). Influence of Government Policy, Community Ecological Awareness, and Adoption of New Technology on Successful Forest Management in Kalimantan. *West Science Nature and Technology*. <https://wsj.westscience-press.com/index.php/wsnt/article/view/1014>
- Naufal, N. et al. (2021). Avoiding Mistakes in Drone Usage in Participatory Mapping. *Forest and Society*. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/fs/article/view/14117>
- Nugraha, R. T., Komara, W. Y., Krisna, P. A. N., Puspita, O. R., Muslich, M., Mardhiah, U., & Marthy, W. (2024). Evaluating the effectiveness of protected area management in Indonesia. *Oryx*. <https://doi.org/10.1017/s003060532300145x>
- Okarda, B. et al. (2025). Bridging Technology and Local Participation: A Collaborative Approach for Peatland and Mangrove Restoration. *CIFOR-ICRAF Knowledge*. <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/44759>
- On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. *Remote Sensing*, 10(4), 641. <https://doi.org/10.3390/RS10040641>
- Pakidi, C.S. & Tambaip, B. (2023). Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim dan Dinamika Kebijakan: Strategi Pengelolaan Sumber Daya Air di Kabupaten Merauke. *Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*. <https://indojurnal.com/index.php/jisoh/article/view/202>
- Pandaan, T. P. J. (2022). Mainstreaming Ecosystem Services from Indonesia's Remaining Forests. *Sustainability*, 14(19), 12124. <https://doi.org/10.3390/su141912124>
- Raj, E. F. I., Manimala, K., Rani, E. F. I., & Darwin, S. (2024). Environmental Monitoring and Conservation Using Drones (pp. 358-380). *IGI Global*. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2093-8.ch019>
- Saxena, R. P., Saxena, A. D., Tupkar, N. J., Karim, F. A., Sheikh, Aarzoo. N., & Irving, A. L. (2024). GIS To Preserve Land and Forest Ecosystem in Relation to SDG 15. 275-290. <https://doi.org/10.1201/9781003468257-15>
- See, L. (2015). Spatial Analysis as a Transformative Technology for Decision-Making in Environmental Domains. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3), 1770-1773. <https://doi.org/10.3390/IJGI4031770>
- Sidik, F. (2018). Mangrove Conservation for Climate Change Mitigation in Indonesia. *WIREs Climate Change*. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.529>