

Model Kebijakan Lingkungan Adaptif Berbasis Data Real Time untuk Pengelolaan Berkelanjutan

Afria Mahaira^{*a,1}, Syarifah Harniati^{a,2}, Farah Assifa^{a,3}

^aProgram Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

*Corresponding author : afriamahaira@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article history Received: 20 October 2025 Revised: 02 November 2025 Accepted: 19 December 2025 Published: 24 December 2025</p>	<p><i>Sustainable environmental management faces increasingly complex challenges due to the dynamics of environmental change, uncertainty within social-ecological systems, and the accelerated pace of technological development. These conditions require policy approaches that are no longer static but adaptive and responsive to changing real-world conditions. This study aims to formulate a real-time database-based adaptive environmental policy model that can support decision-making in a more effective, transparent, and sustainable manner. The study employs a qualitative-descriptive approach through a systematic literature review and environmental policy analysis, drawing on relevant scientific sources and policy documents published over the past ten years. The results indicate that the integration of adaptive governance and the utilization of real-time data can establish a dynamic policy cycle in which environmental monitoring, data analysis, decision-making, and policy evaluation are interconnected within a mechanism of continuous learning. The resulting policy model consists of four main components, namely technology-based environmental monitoring systems, adaptive analysis and decision-making mechanisms, collaborative institutional frameworks, and policy feedback and learning mechanisms. This model has the potential to enhance policy responsiveness to environmental change, strengthen accountability and transparency, and encourage stakeholder participation. This study is expected to serve as a conceptual reference for policymakers and researchers in developing adaptive, data-driven environmental policies oriented toward long-term sustainability.</i></p>
<p> License by CC-BY-SA Copyright © 2025, The Author(s).</p>	
	<p>How to cite: Mahaira, A., Harniati, S., & Assifa, F. (2025). Model Kebijakan Lingkungan Adaptif Berbasis Data Real Time untuk Pengelolaan Berkelanjutan, Vol 1(2), 57-65. doi: https://doi.org/10.70716/tres.v1i2.368</p>

PENDAHULUAN

Pengelolaan lingkungan hidup pada abad ke-21 dihadapkan pada dinamika perubahan yang semakin kompleks dan tidak pasti. Perubahan iklim global, degradasi ekosistem, urbanisasi cepat, serta intensifikasi aktivitas ekonomi telah memperbesar tekanan terhadap sistem sosial-ekologis di berbagai wilayah dunia. Kondisi ini menuntut pendekatan pengelolaan lingkungan yang tidak hanya berorientasi pada kepatuhan regulatif, tetapi juga mampu beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan dan sosial secara berkelanjutan (Folke et al., 2016; Alston et al., 2017). Dalam konteks tersebut, kebijakan lingkungan konvensional yang bersifat statis, sektoral, dan reaktif semakin menunjukkan keterbatasannya dalam menjawab tantangan lingkungan yang dinamis dan lintas skala.

Berbagai studi menunjukkan bahwa pendekatan kebijakan lingkungan tradisional sering kali gagal mengantisipasi ketidakpastian ekologis dan sosial, sehingga menghasilkan kebijakan yang kurang responsif terhadap perubahan cepat di lapangan (Herizal et al., 2024; Wyborn & Evans, 2021). Kebijakan yang dirancang berdasarkan data historis dan evaluasi periodik yang lambat cenderung tertinggal dibandingkan dengan laju perubahan kondisi lingkungan. Akibatnya, intervensi kebijakan sering bersifat korektif setelah dampak lingkungan terjadi, bukan preventif atau adaptif. Hal ini memperkuat urgensi pergeseran paradigma menuju kebijakan lingkungan yang adaptif dan berbasis pembelajaran berkelanjutan.

Konsep adaptive governance dan adaptive management berkembang sebagai respons terhadap kompleksitas dan ketidakpastian sistem sosial-ekologis. Pendekatan ini menekankan fleksibilitas kebijakan, partisipasi multi-aktor, serta kemampuan sistem kebijakan untuk belajar dan menyesuaikan diri secara berkelanjutan (Folke et al., 2016; Roux & Foxcroft, 2025). Tinjauan sistematis menunjukkan peningkatan

signifikan penelitian mengenai adaptive governance dalam satu dekade terakhir, terutama dalam konteks krisis lingkungan global (Herizal et al., 2024; Yulianto et al., 2025; Nazari & Asadzadeh, 2024). Adaptive governance dipandang sebagai pendekatan yang lebih sesuai untuk mengelola interaksi kompleks antara manusia dan lingkungan, karena mampu mengakomodasi ketidakpastian dan perubahan lintas waktu serta skala.

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, kebijakan lingkungan adaptif tidak hanya berfokus pada perlindungan lingkungan, tetapi juga mengintegrasikan dimensi sosial dan ekonomi. Studi-studi menunjukkan bahwa kebijakan adaptif dapat meningkatkan kinerja lingkungan sekaligus mendukung keberlanjutan ekonomi dan sosial apabila dirancang secara holistik (Bucheli et al., 2024; Qutbi & Sarjan, 2024). Pengalaman empiris di berbagai sektor, seperti pengelolaan sampah, kehutanan, dan sumber daya perairan, menunjukkan bahwa kebijakan adaptif mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan ketika dikombinasikan dengan partisipasi masyarakat dan inovasi kelembagaan (Permatasari, 2024; Budiman & Oue, 2025; Jabbar et al., 2023).

Di Indonesia, penerapan kebijakan lingkungan adaptif semakin relevan mengingat tingginya kerentanan terhadap dampak perubahan iklim dan degradasi lingkungan. Studi Rusadi dan Adni (2025) menunjukkan bahwa kebijakan adaptif menjadi kebutuhan strategis dalam konteks keberlanjutan ekologis nasional. Berbagai inisiatif lokal, seperti pengelolaan sampah berbasis komunitas dan program kampung iklim, menunjukkan potensi kebijakan adaptif dalam meningkatkan ketahanan lingkungan dan sosial (Permatasari, 2024; Cahya Alam et al., 2025). Namun demikian, implementasi kebijakan adaptif di Indonesia masih menghadapi tantangan, terutama terkait keterbatasan data, koordinasi antar-aktor, dan mekanisme evaluasi kebijakan yang berkelanjutan.

Perkembangan pesat teknologi informasi dan komunikasi membuka peluang baru dalam mendukung kebijakan lingkungan adaptif. Kemajuan dalam bidang big data, Internet of Things (IoT), dan Artificial Intelligence (AI) memungkinkan pengumpulan dan analisis data lingkungan secara real-time dalam skala besar (McAfee & Brynjolfsson, 2017; Zhang et al., 2025). Data real-time memberikan informasi yang lebih akurat dan mutakhir mengenai kondisi lingkungan, sehingga dapat meningkatkan kualitas pengambilan keputusan kebijakan. Studi menunjukkan bahwa pemanfaatan data real-time dalam pemantauan kualitas lingkungan dapat mempercepat respons kebijakan dan meningkatkan efektivitas intervensi lingkungan (Zhang et al., 2025; Li et al., 2025).

Integrasi teknologi digital dalam tata kelola lingkungan juga menjadi bagian dari agenda smart governance dan smart city, di mana sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT digunakan untuk mendukung pengelolaan lingkungan perkotaan yang lebih responsif dan berkelanjutan (Li et al., 2025). Selain itu, AI berperan dalam analisis prediktif dan simulasi kebijakan, yang memungkinkan perumusan kebijakan berbasis skenario dan pembelajaran adaptif (Costa et al., 2025). Dengan demikian, teknologi digital tidak hanya berfungsi sebagai alat teknis, tetapi juga sebagai elemen strategis dalam transformasi kebijakan lingkungan.

Namun, pemanfaatan data real-time dan teknologi digital dalam kebijakan lingkungan juga menimbulkan tantangan baru. Isu tata kelola data, etika, privasi, dan akuntabilitas menjadi perhatian penting dalam implementasi kebijakan berbasis data (Kitchin, 2016; Janssen & Kuk, 2016). Selain itu, ketimpangan kapasitas teknologi antarwilayah dan aktor berpotensi memperlebar kesenjangan dalam pengelolaan lingkungan. Oleh karena itu, integrasi data real-time dalam kebijakan lingkungan perlu dirancang dalam kerangka tata kelola yang transparan, inklusif, dan berorientasi pada kepentingan publik (UNEP, 2019; World Bank, 2021).

Berbagai studi sebelumnya telah membahas secara terpisah mengenai kebijakan lingkungan adaptif, pemanfaatan data real-time, dan pengelolaan berkelanjutan. Namun, masih terdapat keterbatasan penelitian yang mengintegrasikan ketiga aspek tersebut ke dalam satu model kebijakan yang komprehensif dan operasional, khususnya dalam konteks negara berkembang. Penelitian tentang adaptive governance cenderung bersifat konseptual, sementara studi tentang teknologi lingkungan sering berfokus pada aspek teknis tanpa keterkaitan langsung dengan desain kebijakan (Herizal et al., 2024; Bauer & Krampe, 2024).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menjawab tiga pertanyaan utama: (1) bagaimana karakteristik kebijakan lingkungan adaptif yang mendukung pengelolaan berkelanjutan; (2) bagaimana peran data real-time dalam meningkatkan adaptivitas kebijakan lingkungan; dan (3) bagaimana merancang model kebijakan lingkungan adaptif berbasis data real-time yang kontekstual dan aplikatif. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model kebijakan yang mengintegrasikan prinsip adaptive governance, pemanfaatan data real-time, dan tujuan pengelolaan berkelanjutan. Kebaruan penelitian ini terletak pada upaya menyatukan dimensi kebijakan, teknologi, dan keberlanjutan dalam satu kerangka model kebijakan yang berbasis pembelajaran dan data, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pengembangan kebijakan lingkungan, khususnya di Indonesia dan negara berkembang lainnya.

METODE

Pendekatan dan Kerangka Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif dengan penekanan pada analisis konseptual dan kebijakan untuk merumuskan model kebijakan lingkungan adaptif berbasis data real-time. Pendekatan kualitatif dipilih karena mampu menangkap kompleksitas interaksi antara sistem sosial, sistem ekologis, dan sistem kebijakan yang bersifat dinamis dan kontekstual. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memahami secara mendalam prinsip, mekanisme, serta proses adaptasi kebijakan lingkungan dalam menghadapi ketidakpastian lingkungan dan perubahan cepat kondisi sosial-ekologis (Folke et al., 2016; Wyborn & Evans, 2021).

Kerangka penelitian disusun dengan mengintegrasikan perspektif adaptive governance, adaptive management, dan kebijakan berbasis data (data-driven policy). Kerangka ini memandang kebijakan lingkungan sebagai sistem terbuka yang terus belajar melalui umpan balik dari data real-time, evaluasi kebijakan, dan partisipasi pemangku kepentingan (Herizal et al., 2024; Roux & Foxcroft, 2025). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk mendeskripsikan fenomena kebijakan, tetapi juga untuk membangun model konseptual yang dapat dioperasionalkan.

Desain Penelitian

Desain penelitian mengombinasikan dua strategi utama, yaitu systematic literature review (SLR) dan analisis kebijakan lingkungan. SLR digunakan untuk mengidentifikasi pola, tren, dan konsep kunci terkait kebijakan lingkungan adaptif, pemanfaatan data real-time, serta pengelolaan lingkungan berkelanjutan dalam literatur ilmiah terkini (Yulianto et al., 2025; Nazari & Asadzadeh, 2024). Sementara itu, analisis kebijakan bertujuan untuk memahami bagaimana konsep-konsep tersebut diterapkan dalam praktik kebijakan di berbagai sektor dan konteks, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia (Geanisha & Depari, 2025; Qutbi & Sarjan, 2024).

Kombinasi kedua desain ini memungkinkan terjadinya sintesis antara temuan teoretis dan praktik kebijakan, sehingga model yang dirumuskan tidak bersifat normatif semata, melainkan juga kontekstual dan aplikatif.

Sumber dan Jenis Data Penelitian

Penelitian ini sepenuhnya menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber ilmiah dan kebijakan. Data tersebut meliputi artikel jurnal nasional dan internasional yang relevan dengan topik adaptive governance, kebijakan lingkungan, pemanfaatan data real-time, serta pengelolaan berkelanjutan. Artikel-artikel yang digunakan dipilih dari publikasi sepuluh tahun terakhir guna memastikan relevansi dan kemutakhiran kajian (Zhang et al., 2025; Costa et al., 2025).

Selain artikel jurnal, penelitian ini juga memanfaatkan laporan dan dokumen resmi dari lembaga internasional, seperti United Nations Environment Programme (UNEP) dan World Bank, yang menyediakan kerangka normatif, prinsip tata kelola, serta praktik terbaik dalam kebijakan lingkungan berbasis data dan keberlanjutan (UNEP, 2019; World Bank, 2021). Penggunaan sumber-sumber ini bertujuan untuk memperkaya perspektif global dan memastikan bahwa model yang dikembangkan sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan internasional.

Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur secara sistematis pada basis data jurnal open access dan repositori ilmiah. Prosedur ini diawali dengan penentuan kata kunci utama, antara lain adaptive governance, environmental policy, real-time data, environmental monitoring, dan sustainable

management. Kata kunci tersebut digunakan secara kombinatif untuk menarik publikasi yang relevan dengan fokus penelitian.

Tahap selanjutnya adalah penyaringan artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi mencakup kesesuaian topik dengan tujuan penelitian, kualitas publikasi, serta keterkaitan langsung dengan kebijakan lingkungan adaptif atau pemanfaatan data dalam pengelolaan lingkungan. Artikel yang hanya membahas aspek teknis tanpa implikasi kebijakan, atau yang tidak relevan dengan konteks keberlanjutan, dikeluarkan dari analisis. Prosedur ini memastikan bahwa data yang dianalisis memiliki relevansi substantif terhadap perumusan model kebijakan (Herizal et al., 2024; Nazari & Asadzadeh, 2024).

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui dua tahap utama, yaitu analisis tematik dan analisis sintesis. Analisis tematik digunakan untuk mengidentifikasi tema-tema kunci dalam literatur, seperti prinsip-prinsip adaptive governance, peran data real-time dalam pengambilan keputusan, serta mekanisme pembelajaran kebijakan dan umpan balik adaptif (Folke et al., 2016; Wyborn & Evans, 2021). Proses ini dilakukan dengan mengelompokkan temuan-temuan literatur ke dalam kategori tematik yang relevan dengan tujuan penelitian.

Selanjutnya, analisis sintesis dilakukan untuk mengintegrasikan tema-tema tersebut ke dalam kerangka konseptual yang koheren. Analisis ini bertujuan untuk menghubungkan dimensi kebijakan, teknologi, dan pengelolaan berkelanjutan, sehingga menghasilkan pemahaman yang holistik mengenai bagaimana kebijakan lingkungan adaptif berbasis data real-time dapat dirancang dan diimplementasikan (Bauer & Krampe, 2024; Roux & Foxcroft, 2025). Melalui sintesis ini, berbagai temuan yang sebelumnya terfragmentasi dapat disatukan dalam satu model kebijakan yang terpadu.

Tahapan Perumusan Model Kebijakan

Perumusan model kebijakan dilakukan melalui beberapa tahapan analitis. Tahap pertama adalah pemetaan aktor dan institusi yang terlibat dalam kebijakan lingkungan, termasuk pemerintah, masyarakat, sektor swasta, dan lembaga pendukung. Tahap ini penting untuk memahami peran, kewenangan, dan interaksi antar-aktor dalam sistem kebijakan lingkungan adaptif (UNEP, 2019).

Tahap kedua adalah pemetaan alur data real-time, mulai dari pengumpulan data lingkungan melalui sensor, IoT, dan sistem pemantauan, hingga proses analisis dan penyajian informasi bagi pengambil kebijakan (Li et al., 2025; Zhang et al., 2025). Tahap ini menekankan bagaimana data real-time dapat berfungsi sebagai dasar pengambilan keputusan dan penyesuaian kebijakan secara cepat.

Tahap ketiga adalah perancangan mekanisme umpan balik kebijakan (policy feedback loop), di mana hasil implementasi kebijakan dievaluasi secara berkelanjutan dan digunakan sebagai dasar pembelajaran adaptif. Mekanisme ini mencerminkan prinsip adaptive management yang menempatkan kebijakan sebagai proses belajar yang terus-menerus (Roux & Foxcroft, 2025).

Validasi Konseptual Model

Validasi model dilakukan secara konseptual dengan membandingkan model yang dirumuskan dengan praktik kebijakan lingkungan adaptif yang telah dilaporkan dalam literatur. Studi kasus pengelolaan sampah berbasis komunitas, pengelolaan hutan berkelanjutan, serta pengelolaan sumber daya perairan digunakan sebagai referensi pembanding untuk menilai relevansi dan konsistensi model (Permatasari, 2024; Budiman & Oue, 2025; Jabbar et al., 2023).

Selain itu, validasi juga dilakukan dengan menguji kesesuaian model terhadap prinsip keberlanjutan sosial-ekologis dan konservasi adaptif, seperti ketahanan ekosistem, partisipasi masyarakat, dan keadilan antargenerasi (Beier et al., 2017; Folke et al., 2016). Melalui proses validasi ini, diharapkan model kebijakan yang dihasilkan memiliki dasar teoretis yang kuat sekaligus relevan untuk diterapkan dalam konteks pengelolaan lingkungan berkelanjutan berbasis data real-time.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sintesis Temuan Literatur tentang Kebijakan Lingkungan Adaptif

Hasil analisis literatur menunjukkan bahwa kebijakan lingkungan adaptif berkembang sebagai respons terhadap meningkatnya kompleksitas dan ketidakpastian dalam sistem sosial-ekologis global. Literatur mutakhir menegaskan bahwa pendekatan kebijakan konvensional yang bersifat linier, statis, dan berbasis perencanaan jangka panjang tanpa mekanisme pembelajaran berkelanjutan semakin tidak memadai

dalam menghadapi krisis lingkungan yang bersifat multidimensi (Herizal et al., 2024; Rusadi & Adni, 2025). Kebijakan adaptif dipahami sebagai kerangka yang menekankan fleksibilitas, pembelajaran kebijakan, serta kemampuan untuk menyesuaikan instrumen dan strategi berdasarkan perubahan kondisi lingkungan dan sosial.

Analisis tematik terhadap berbagai sumber menunjukkan bahwa adaptive governance tidak hanya berkaitan dengan penyesuaian kebijakan, tetapi juga menyangkut perubahan cara pandang dalam pengelolaan lingkungan. Folke et al. (2016) menekankan pentingnya ketahanan sosial-ekologis sebagai landasan keberlanjutan, di mana kebijakan harus mampu merespons umpan balik ekosistem dan dinamika sosial secara simultan. Pandangan ini diperkuat oleh Wyborn dan Evans (2021) yang menempatkan tata kelola adaptif sebagai proses kolaboratif yang melibatkan berbagai aktor lintas skala.

Dalam konteks Indonesia, literatur menunjukkan bahwa kebijakan lingkungan adaptif mulai mendapat perhatian, meskipun implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan kelembagaan dan teknis. Studi-studi nasional menyoroti pentingnya reformasi kebijakan publik agar lebih responsif terhadap perubahan lingkungan, khususnya dalam pengelolaan sampah, sumber daya alam, dan kawasan perkotaan (Permatasari, 2024; Qutbi & Sarjan, 2024). Temuan ini menunjukkan bahwa adaptive governance bukan hanya konsep global, tetapi juga relevan dan mendesak untuk diterapkan pada level nasional dan lokal.

2. Peran Data Real-Time dalam Transformasi Kebijakan Lingkungan

Hasil kajian menunjukkan bahwa data real-time menjadi elemen kunci dalam mentransformasi kebijakan lingkungan menuju pendekatan yang lebih adaptif dan berbasis bukti. Literatur internasional menegaskan bahwa kemajuan teknologi digital, seperti big data, Internet of Things (IoT), dan kecerdasan buatan, telah membuka peluang baru dalam pemantauan kondisi lingkungan secara kontinu dan akurat (McAfee & Brynjolfsson, 2017; Zhang et al., 2025). Data real-time memungkinkan pengambil kebijakan untuk mengidentifikasi perubahan lingkungan secara cepat dan meresponsnya secara lebih tepat.

Dalam konteks tata kelola lingkungan, data real-time berfungsi tidak hanya sebagai alat teknis, tetapi juga sebagai instrumen kebijakan. Bauer dan Krampe (2024) menunjukkan bahwa integrasi data, kebijakan, dan teknologi dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan jasa ekosistem. Hal ini diperkuat oleh Li et al. (2025) yang menekankan bahwa pemantauan lingkungan berbasis IoT di kawasan perkotaan memungkinkan penyesuaian kebijakan secara dinamis sesuai dengan kondisi aktual lapangan.

Namun demikian, hasil analisis juga menunjukkan adanya tantangan etis dan tata kelola data yang perlu diperhatikan. Kitchin (2016) dan Janssen dan Kuk (2016) menyoroti isu privasi, transparansi, dan akuntabilitas dalam pengelolaan data lingkungan berbasis teknologi digital. Tanpa kerangka tata kelola data yang jelas, pemanfaatan data real-time berpotensi menimbulkan ketimpangan akses informasi dan penyalahgunaan data. Oleh karena itu, kebijakan lingkungan adaptif berbasis data real-time harus disertai dengan prinsip tata kelola data yang kuat dan inklusif.

3. Integrasi Adaptive Governance dan Teknologi Digital

Hasil sintesis menunjukkan bahwa integrasi antara adaptive governance dan teknologi digital merupakan prasyarat utama dalam pengembangan model kebijakan lingkungan adaptif berbasis data real-time. Adaptive governance menyediakan kerangka normatif dan kelembagaan yang menekankan fleksibilitas, partisipasi, dan pembelajaran, sementara teknologi digital menyediakan infrastruktur informasi yang memungkinkan respons cepat terhadap perubahan lingkungan (Nazari & Asadzadeh, 2024; Roux & Foxcroft, 2025).

Literatur menunjukkan bahwa integrasi ini memungkinkan terciptanya siklus umpan balik kebijakan yang berkelanjutan. Data real-time yang dikumpulkan dari sistem pemantauan lingkungan dianalisis dan digunakan sebagai dasar evaluasi kebijakan, yang selanjutnya menjadi input untuk penyesuaian kebijakan berikutnya. Siklus ini mencerminkan prinsip strategic adaptive management, di mana kebijakan diperlakukan sebagai hipotesis yang terus diuji dan disempurnakan melalui pembelajaran berkelanjutan (Roux & Foxcroft, 2025).

Dalam konteks praktik, integrasi adaptive governance dan teknologi digital telah diterapkan dalam berbagai sektor, seperti pengelolaan sampah berbasis komunitas, pengelolaan hutan, dan konservasi keanekaragaman hayati. Studi Permatasari (2024) menunjukkan bahwa kebijakan pengelolaan sampah yang adaptif dan berbasis data dapat meningkatkan efektivitas layanan publik sekaligus mendorong partisipasi masyarakat. Sementara itu, Budiman dan Oue (2025) menekankan pentingnya integrasi pengetahuan lokal dengan sistem pemantauan modern dalam pengelolaan hutan berkelanjutan.

4. Model Kebijakan Lingkungan Adaptif Berbasis Data Real-Time

Berdasarkan hasil analisis dan sintesis literatur, penelitian ini menghasilkan sebuah model konseptual kebijakan lingkungan adaptif berbasis data real-time. Model ini terdiri atas empat komponen utama, yaitu sistem pemantauan lingkungan, mekanisme analisis dan pengambilan keputusan, kerangka kelembagaan adaptif, serta mekanisme umpan balik dan pembelajaran kebijakan.

Komponen pertama, sistem pemantauan lingkungan, mencakup pengumpulan data real-time melalui berbagai teknologi, seperti sensor lingkungan, IoT, dan sistem informasi geografis. Data yang dikumpulkan meliputi indikator kualitas lingkungan, seperti kualitas udara, air, dan tutupan lahan, yang menjadi dasar bagi pengambilan keputusan kebijakan (Zhang et al., 2025; Li et al., 2025).

Komponen kedua adalah mekanisme analisis dan pengambilan keputusan, di mana data real-time diolah dan dianalisis untuk menghasilkan informasi yang relevan bagi pembuat kebijakan. Pemanfaatan kecerdasan buatan dan analitik data memungkinkan identifikasi pola dan tren lingkungan yang tidak mudah terdeteksi melalui pendekatan konvensional (Costa et al., 2025). Informasi ini selanjutnya digunakan untuk merumuskan atau menyesuaikan kebijakan secara adaptif.

Komponen ketiga adalah kerangka kelembagaan adaptif, yang menekankan koordinasi lintas sektor, partisipasi pemangku kepentingan, dan fleksibilitas regulasi. Kerangka ini sejalan dengan prinsip adaptive governance yang menempatkan kolaborasi dan pembelajaran sebagai inti tata kelola lingkungan (Wyborn & Evans, 2021; Herizal et al., 2024).

Komponen keempat adalah mekanisme umpan balik dan pembelajaran kebijakan, di mana hasil implementasi kebijakan dievaluasi secara berkala dan digunakan sebagai dasar perbaikan kebijakan selanjutnya. Mekanisme ini memastikan bahwa kebijakan tidak bersifat statis, tetapi terus berkembang seiring dengan perubahan kondisi lingkungan dan sosial (Roux & Foxcroft, 2025).

5. Implikasi Model terhadap Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan

Model kebijakan yang dirumuskan memiliki implikasi signifikan terhadap pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Pertama, model ini memungkinkan peningkatan responsivitas kebijakan terhadap perubahan lingkungan yang cepat dan tidak terduga. Dengan memanfaatkan data real-time, pengambil kebijakan dapat melakukan intervensi lebih dini dan mencegah dampak lingkungan yang lebih besar (Alston et al., 2017).

Kedua, model ini mendorong peningkatan transparansi dan akuntabilitas kebijakan. Data lingkungan yang terbuka dan dapat diakses publik memungkinkan masyarakat untuk memantau kinerja kebijakan dan berpartisipasi dalam proses pengambilan keputusan (UNEP, 2019; World Bank, 2021). Hal ini sejalan dengan prinsip environmental rule of law yang menekankan keterbukaan informasi dan keadilan lingkungan.

Ketiga, model ini mendukung integrasi berbagai skala pengelolaan, mulai dari lokal hingga nasional. Studi-studi empiris menunjukkan bahwa kebijakan adaptif yang berhasil sering kali menggabungkan inisiatif lokal dengan kerangka kebijakan nasional dan global (Beier et al., 2017; Yulianto et al., 2025). Dengan demikian, model ini berpotensi menjadi kerangka yang fleksibel dan dapat disesuaikan dengan berbagai konteks.

6. Tantangan dan Batasan Implementasi Model

Meskipun memiliki potensi besar, implementasi model kebijakan lingkungan adaptif berbasis data real-time juga menghadapi sejumlah tantangan. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan kapasitas kelembagaan dan sumber daya manusia dalam mengelola dan menganalisis data lingkungan yang kompleks. Tanpa investasi yang memadai dalam kapasitas teknis dan kelembagaan, pemanfaatan data real-time berisiko tidak optimal (Janssen & Kuk, 2016).

Tantangan lain adalah isu kesenjangan digital dan akses teknologi, khususnya di wilayah berkembang dan terpencil. Literatur menunjukkan bahwa ketimpangan akses terhadap teknologi dapat memperlebar kesenjangan dalam pengelolaan lingkungan dan partisipasi masyarakat (Kitchin, 2016). Oleh karena itu, implementasi model ini memerlukan pendekatan inklusif yang mempertimbangkan konteks sosial dan ekonomi lokal.

Selain itu, integrasi data real-time ke dalam kebijakan juga menuntut perubahan budaya birokrasi yang selama ini cenderung kaku dan hierarkis. Adaptive governance menuntut fleksibilitas dan pembelajaran berkelanjutan, yang tidak selalu sejalan dengan praktik birokrasi tradisional (Herizal et al., 2024; Rusadi & Adni, 2025). Tantangan ini perlu diatasi melalui reformasi kelembagaan dan penguatan komitmen politik.

7. Sintesis Pembahasan dan Kontribusi Penelitian

Secara keseluruhan, hasil dan pembahasan menunjukkan bahwa pengembangan model kebijakan lingkungan adaptif berbasis data real-time merupakan langkah strategis dalam menghadapi tantangan pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Model yang dirumuskan mengintegrasikan prinsip adaptive governance, pemanfaatan teknologi digital, dan mekanisme pembelajaran kebijakan, sehingga menawarkan kerangka konseptual yang komprehensif dan aplikatif.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyusunan model kebijakan yang menghubungkan secara eksplisit antara data real-time dan proses adaptasi kebijakan. Berbeda dengan kajian sebelumnya yang cenderung membahas aspek governance atau teknologi secara terpisah, penelitian ini menyajikan sintesis yang menempatkan data real-time sebagai inti dari kebijakan lingkungan adaptif. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis bagi pengembangan kebijakan lingkungan yang lebih responsif, transparan, dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa kebijakan lingkungan adaptif berbasis data real time merupakan pendekatan strategis yang relevan dan mendesak dalam menghadapi kompleksitas tantangan lingkungan kontemporer. Dinamika perubahan lingkungan yang cepat, ketidakpastian sistem sosial-ekologis, serta meningkatnya tekanan pembangunan menuntut kebijakan yang tidak lagi bersifat statis, melainkan fleksibel, responsif, dan berorientasi pada pembelajaran berkelanjutan. Melalui pendekatan konseptual dan analisis kebijakan, penelitian ini berhasil merumuskan sebuah model kebijakan lingkungan adaptif yang mengintegrasikan prinsip tata kelola adaptif dengan pemanfaatan data real time sebagai fondasi pengambilan keputusan.

Model kebijakan yang dihasilkan menempatkan sistem pemantauan lingkungan sebagai sumber utama informasi kebijakan, yang kemudian diolah melalui mekanisme analisis dan pengambilan keputusan yang adaptif. Kerangka kelembagaan yang fleksibel dan kolaboratif menjadi elemen penting dalam memastikan bahwa kebijakan dapat disesuaikan dengan perubahan kondisi lingkungan dan kebutuhan masyarakat. Selain itu, mekanisme umpan balik dan pembelajaran kebijakan berperan sebagai penghubung antara implementasi dan evaluasi kebijakan, sehingga memungkinkan perbaikan kebijakan secara berkelanjutan.

Implikasi dari model ini menunjukkan bahwa pemanfaatan data real time tidak hanya meningkatkan efektivitas dan responsivitas kebijakan, tetapi juga berkontribusi pada transparansi, akuntabilitas, dan partisipasi publik dalam pengelolaan lingkungan. Dengan menyediakan informasi lingkungan yang aktual dan dapat diakses, kebijakan lingkungan berpotensi menjadi lebih inklusif dan berbasis bukti. Namun demikian, keberhasilan implementasi model ini sangat bergantung pada kesiapan kelembagaan, kapasitas sumber daya manusia, serta dukungan infrastruktur teknologi yang memadai.

Penelitian ini memberikan kontribusi konseptual dalam pengembangan kebijakan lingkungan berkelanjutan dengan menawarkan kerangka model yang adaptif dan berbasis data. Model ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi perumusan kebijakan dan peneliti dalam merancang dan mengimplementasikan kebijakan lingkungan yang lebih tangguh, kontekstual, dan berorientasi pada keberlanjutan jangka panjang.

REFERENSI

- Alston, J. M., Babcock, B. A., & Pardey, P. G. (2017). Shifting patterns of agricultural production and environmental policy. *Global Environmental Change*, 43, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.004>
- Bauer, J. M., & Krampe, L. (2024). Integrating policy, data, and technology in ecosystem services management. *Journal of Environmental Management*, 345, 118812. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118812>
- Beier, P., Hansen, L. J., Helbrecht, L., & Behar, D. (2017). A how-to guide for climate-smart conservation. *Conservation Letters*, 10(3), 345–356. <https://doi.org/10.1111/conl.12302>
- Bucheli, J. M., Santa, R., Tegethoff, T., & Quintero, K. (2024). The mediating role of eco-innovation between adaptive environmental strategy, absorptive capacity, and environmental performance. *Sustainability*, 16(15), 6504. <https://doi.org/10.3390/su16156504>
- Budiman, M. A. K., & Oue, H. (2025). Integrating Indigenous Knowledge into Sustainable Forest Management for Climate Change Adaptation and Mitigation Strategies: Case from Southern Slopes of Mount Slamet, Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 31(1), 41-60. <https://doi.org/10.7226/jtfm.31.1.41>
- Cahya Alam, F., Mawaddah, N., Sahid, Ulya Bunga, V., Arwieny Hanami, Z., Prayogo, W., Kamal, M., Awfa, D., Meisya Ruth, G. M. R., Simanullang, L., & Gultom, T. (2025). A Model of Sustainable Waste Management Based on Climate Village Program in Pasaran Island, Lampung Province, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 15(2), 300. <https://doi.org/10.29244/jpsl.15.2.300>
- Costa, E., Fernandes, C., & Barata, E. (2025). The impact of artificial intelligence on environmental sustainability and governance. *Sustainability*, 17(11), 4795. <https://doi.org/10.3390/su17114795>
- Folke, C., Biggs, R., Norström, A. V., Reyers, B., & Rockström, J. (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, 21(3), Article 41. <https://doi.org/10.5751/ES-08748-210341>
- Geanisha, M., & Depari, R. A. (2025). Environmental Management Policy Analysis in the Context of Sustainable Development. *Inspirasi & Strategi (INSPIRAT): Jurnal Kebijakan Publik & Bisnis*, 15(2), 73–81.
- Herizal, H., Rassanjani, S., Afrijal, A., Muhkrijal, M., & Wance, M. (2024). Systematic literature review: The evolution of adaptive governance and practice in the context of the environmental crisis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(5), 1326–1337. <https://doi.org/10.14710/jil.22.5.1326-1337>
- Jabbar, F. A., Setiawati, A., Laela, M. N., Pramono, T. B., & Abida, I. W. (2023). Strategy adaptif pengelolaan sumber daya perairan berkelanjutan di tengah perubahan iklim. *MAIYAH*, 2(4), 293-297.
- Janssen, M., & Kuk, G. (2016). Big and open linked data governance challenges. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 26(1–2), 141–157. <https://doi.org/10.1080/10919392.2015.1124002>
- Kitchin, R. (2016). The ethics of smart cities and urban science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2083), 20160115. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0115>
- Li, T., Chen, Z., & Huang, X. (2025). Urban green governance: IoT-driven environmental monitoring in smart cities. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1298443. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1298443>
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2017). Big data: The management revolution. *Harvard Business Review*, 95(1), 60–68. <https://hbr.org/2017/01/big-data-the-management-revolution>
- Nazari, R., & Asadzadeh, A. (2024). Progress in adaptive governance research and hotspot analysis. *Environmental Systems Research*, 13(1), 22. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00435-8>
- Permatasari, C. (2024). TRANSFORMASI PENGELOLAAN SAMPAH MELALUI KEBIJAKAN PUBLIK YANG ADAPTIF DAN BERKELANJUTAN DI KOTA SURAKARTA. *Jurnal Transformasi Administrasi*, 14(02), 198–219.
- Qutbi, A. A., & Sarjan, M. (2024). Optimalisasi Kebijakan Perlindungan Lingkungan Untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam Berkelanjutan. *Lambda: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA Dan Aplikasinya*, 4(1), 49–57. <https://doi.org/10.58218/lambda.v4i1.860>

- Roux, D. J., & Foxcroft, L. C. (2025). Strategic adaptive management for transparency, accountability and learning in environmental governance. *Environmental Management*, 75(2), 215–230. <https://doi.org/10.1007/s00267-025-02272-5>
- Rusadi, S., & Adni, D. F. (2025). Evolusi Studi Global tentang Keberlanjutan Ekologis: Sebuah Kebijakan Adaptif untuk Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(2), 305-315. <https://doi.org/10.14710/jil.23.2.305-315>
- United Nations Environment Programme. (2019). Environmental rule of law: First global report. UNEP. <https://www.unep.org/resources/report/environmental-rule-law-first-global-report>
- World Bank. (2021). Data-driven environmental policy for sustainable development. World Bank Open Knowledge Repository. <https://openknowledge.worldbank.org/>
- Wyborn, C., & Evans, M. C. (2021). Conservation governance as adaptive governance. *Ecology and Society*, 26(2), Article 12. <https://doi.org/10.5751/ES-12316-260212>
- Yulianto, Y., Rosalia, F., & Hutagalung, S. S. (2025). Adaptive Governance in Environmental Issue: Systematic Literature Review. *Int. J. Environ. Impacts.*, 8(3), 615-625. <https://doi.org/10.18280/ije.080319>
- Zhang, Y., Li, X., & Wang, J. (2025). The use of big data in environmental quality monitoring and its impact on policy development. *SN Applied Sciences*, 7(1), 215. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07265-x>