

Rekonstruksi *Green Government* 4.0: Transformasi Tata Kelola APBD Berbasis Kecerdasan Buatan Melalui *Climate Budget* Tagging dan Akuntabilitas Karbon Berkelanjutan

Ritki Wijaya¹, Jenny Shania², Antony³

^{1,2,3}Fakultas Hukum, Universitas Internasional Batam, Indonesia

*Correspondence author: 24.ritki.wijaya@uib.edu

Abstract

The transformation of government governance toward Green Government 4.0 requires the management of Regional Revenue and Expenditure Budgets (APBD) to move beyond a mere focus on budget absorption toward assessing the contribution of regional expenditures to environmental targets and carbon emission reductions. The central problem addressed in this study lies in the lack of integration among climate budget tagging, artificial intelligence, and carbon accountability throughout the stages of planning, budgeting, implementation, and oversight of the APBD. This study aims to analyze the weaknesses of environmentally oriented APBD governance and to formulate a reconstruction model of AI-based Green Government 4.0. The research employs a normative legal method using statutory, conceptual, and comparative approaches. It relies on secondary data consisting of primary, secondary, and tertiary legal materials. The data are analyzed qualitatively and descriptively through systematic interpretation and policy gap analysis. The findings indicate that the implementation of climate budget tagging remains largely administrative and has not been consistently linked to outcome indicators, carbon footprints, or the performance evaluation of regional government agencies. The proposed reconstruction introduces an AI-based automated budget-tagging system, integration of budgetary and emissions data, performance evaluation, and the provision of open carbon-accountability data. This model can improve the accuracy of budget management while strengthening transparency and public oversight. Theoretically, the model reconstructs the paradigm of APBD accountability from input compliance toward environmental outcome accountability by positioning environmental performance as an integral measure of regional financial accountability. Practically, artificial intelligence functions as an instrument for enhancing expenditure traceability, bureaucratic transparency, the detection of inconsistencies between budget allocations and environmental outcomes, and public oversight. Accordingly, the integration of artificial intelligence, climate budget tagging, and carbon accountability not only digitalizes APBD management but also establishes a regional budget governance framework that directly connects public expenditure with measurable and accountable environmental outcomes.

Keywords: *Carbon Accountability; Regional Revenue and Expenditure Budget; Artificial Intelligence; Carbon Governance.*

Please cite this article in APA Style as: Wijaya, R., Shania, J., & Antony. Rekonstruksi Green Government 4.0: Transformasi Tata Kelola APBD Berbasis Kecerdasan Buatan Melalui Climate Budget Tagging dan Akuntabilitas Karbon Berkelanjutan. (2026). JEKP (Jurnal Ekonomi dan Keuangan Publik), 13(1). p. 24-41. https://doi.org/10.33701/jekp.v13i1.6611	ADDRESS Jalan Ir. Soekarno Km. 20 Jatinangor, Sumedang Regency, West Java Province, Indonesia 45363 E-mail: jekp.ipdn.ac.id	ARTICLE INFO <i>Received: August 26th, 2026</i> <i>Received in revised form:</i> <i>September 8th, 2026</i> <i>Accepted: September 15th, 2026</i>
	JOURNAL PUBLISHER INFORMATION JEKP (<i>Jurnal Ekonomi dan Keuangan Publik</i>) or in English: Journal of Economy and Public Finance <i>Published by</i> Departement of Public Finance, Faculty of Government Management, Institut Pemerintahan Dalam Negeri.	
	 This is an open access article under the CC-BY-SA license ©Wijaya, Shania, and Antony (2026)	

Abstrak

Transformasi tata kelola pemerintahan menuju Green Government 4.0 mendorong pengelolaan Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah yang tidak hanya berorientasi pada penyerapan anggaran, melainkan juga menilai kontribusi dari belanja daerah terhadap pencapaian target lingkungan dan penurunan emisi karbon. Permasalahan penelitian ini terletak pada belum terintegrasinya climate budget tagging (penandaan anggaran iklim), pemanfaatan kecerdasan buatan, dan akuntabilitas karbon dalam tahap perencanaan, penganggaran, pelaksanaan, hingga pengawasan anggaran pendapatan dan belanja daerah (APBD). Penelitian ini bertujuan menganalisis kelemahan tata kelola APBD berwawasan lingkungan dan merumuskan model rekonstruksi Green Government 4.0 berbasis kecerdasan buatan. Penelitian menggunakan metode hukum normatif dengan pendekatan perundang-undangan, pendekatan konseptual, dan pendekatan komparatif. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang terdiri dari bahan hukum primer, bahan hukum sekunder, dan bahan hukum tersier. Data dianalisis secara kualitatif-deskriptif melalui penafsiran sistematis dan analisis kesenjangan kebijakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan penandaan anggaran iklim masih bersifat administratif dan belum dihubungkan secara konsisten dengan indikator hasil, jejak karbon, serta evaluasi kinerja perangkat daerah. Rekonstruksi yang ditawarkan dalam penelitian yakni sistem penandaan anggaran otomatis berbasis kecerdasan buatan, integrasi data anggaran dan emisi, evaluasi, dan penyediaan data akuntabilitas karbon yang terbuka. Penerapan model ini dapat memperkuat pengelolaan anggaran secara tepat, meningkatkan transparansi, dan pengawasan publik. Secara teoretis, model ini merekonstruksi paradigma pertanggungjawaban APBD dari input-compliance menuju environmental outcome-accountability, dengan menempatkan capaian lingkungan sebagai bagian dari ukuran akuntabilitas pengelolaan keuangan daerah. Secara praktis, kecerdasan buatan dimanfaatkan sebagai instrumen untuk memperkuat keterlacakan belanja, transparansi birokrasi, deteksi ketidaksesuaian antara alokasi dan hasil lingkungan, serta pengawasan publik. Maka, integrasi kecerdasan buatan, climate budget tagging, dan akuntabilitas karbon tidak hanya mendigitalisasi pengelolaan APBD, melainkan juga membentuk kerangka tata kelola anggaran daerah yang menghubungkan belanja publik secara langsung dengan hasil lingkungan yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan.

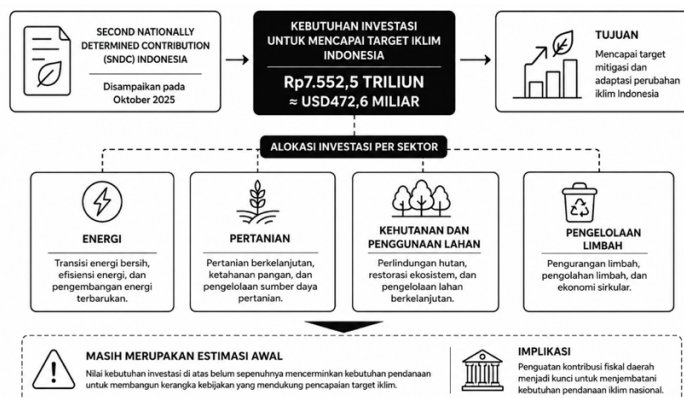
Kata kunci: Akuntabilitas Karbon; Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah; Kecerdasan Buatan; Tata Kelola Karbon.

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim tidak lagi hanya dipandang sebagai permasalahan lingkungan, melainkan telah berkembang menjadi isu strategis yang mempengaruhi tata kelola pemerintahan, pembiayaan pembangunan, dan akuntabilitas pengelolaan anggaran publik. Dalam hal ini, pemerintah daerah memegang peran strategis karena sebagian besar upaya adaptasi dan mitigasi dilaksanakan melalui program sektoral yang didanai dengan Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD), seperti pengelolaan sampah, transportasi, energi, pertanian, kehutanan, pengendalian banjir, dan pembangunan infrastruktur tahan iklim (Anirwan & Qamal, 2023). APBD tidak hanya berfungsi sebagai instrumen teknokratis, melainkan juga produk politik yang dibentuk melalui pembahasan dan persetujuan antara pemerintah daerah dan DPRD. Oleh sebab itu, *climate budget tagging* berbasis kecerdasan buatan perlu diposisikan sebagai instrumen pendukung deliberasi anggaran dengan menyediakan informasi mengenai klasifikasi belanja iklim, besaran alokasi, dampak lingkungan, dan kesesuaiannya dengan target pembangunan daerah. Dalam pembahasan Badan Anggaran DPRD, hal ini dapat memperkuat keterlacakan dan akuntabilitas setiap perubahan atau pengalihan anggaran yang berdampak pada program lingkungan. Maka, kecerdasan buatan dapat mendukung *evidence-based budget deliberation* serta menjaga konsistensi prioritas fiskal daerah dengan agenda iklim jangka panjang. Penguatan mekanisme tersebut menjadi semakin penting jika pemerintah daerah dituntut memberikan kontribusi fiskal yang lebih nyata terhadap pencapaian target iklim nasional.

Urgensi penguatan kontribusi fiskal daerah juga semakin nyata setelah Indonesia menyampaikan *Second Nationally Determined Contribution* pada Oktober 2025 (Naswar, Ilmar, Mukhlis, Achmad, & Khalid, 2024). Dokumen ini memperkirakan kebutuhan investasi untuk mencapai target iklim Indonesia sebesar Rp7.552,5 triliun atau sekitar USD472,6 miliar, yang

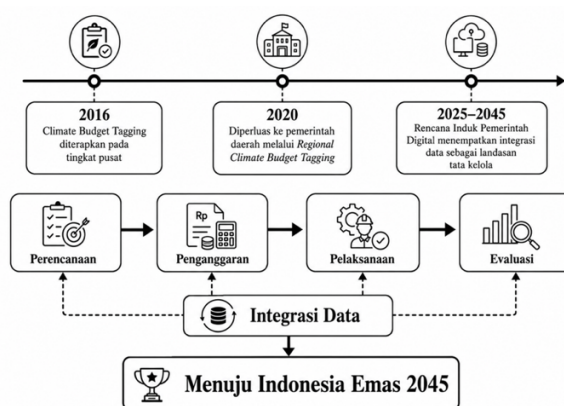
dialokasikan pada sektor energi, pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan, hingga pengelolaan limbah (Gambar 1)(Mukhlis & Yulianto, 2025; United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 2025).



Gambar 1. Urgensi Kontribusi Fiskal Daerah terhadap Pendanaan Target Iklim Indonesia
Sumber: Analisis Peneliti, 2026

Namun, nilai ini masih merupakan estimasi awal sehingga belum sepenuhnya mencerminkan kebutuhan pendanaan untuk membangun kerangka kebijakan yang mendukung pencapaian target iklim. Besarnya kebutuhan pendanaan ini menunjukkan bahwa pembiayaan iklim tidak dapat hanya mengandalkan APBN, pendanaan internasional, dan investasi swasta, melainkan juga harus diperkuat melalui pengintegrasian agenda iklim ke dalam APBD (Mello & Ter-Minassian, 2024). Oleh sebab itu, kualitas tata kelola APBD perlu dinilai berdasarkan kepatuhan administratif, tingkat penyerapan anggaran, kontribusinya terhadap penurunan emisi, peningkatan ketahanan iklim dan keberlanjutan pembangunan daerah.

Di tengah meningkatnya kebutuhan terhadap tata kelola pemerintahan yang berkelanjutan, perkembangan teknologi digital membuka peluang untuk memperkuat pengelolaan anggaran iklim melalui *Green Government 4.0*. Peluang ini semakin nyata setelah Kementerian Keuangan meluncurkan sistem penandaan otomatis dan dasbor *Climate Budget Tagging* berbasis *machine learning* pada Juni 2025 untuk meningkatkan ketepatan pelacakan dan penandaan anggaran perubahan iklim (Mergel, Dickinson, Stenvall, & Gasco, 2023). Padahal sebelumnya, kebijakan penandaan anggaran iklim telah diterapkan pada tingkat pusat sejak 2016 dan mulai diperluas ke pemerintah daerah sejak 2020 melalui skema *Regional Climate Budget Tagging* (Maulidiyah & Akhmadi, 2024). Kebijakan ini sejalan dengan Rencana Induk Pemerintah Digital 2025–2045 yang menempatkan integrasi data sebagai landasan perencanaan, penganggaran, pelaksanaan, dan evaluasi program pemerintah menuju Indonesia Emas 2045 (Gambar 2)(Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, 2026a).



Gambar 2. Transformasi Penandaan Anggaran Iklim di Indonesia
Sumber: Analisis Penulis, 2026

Transformasi ini menunjukkan bahwa kecerdasan buatan dimanfaatkan untuk menganalisis nomenklatur anggaran dalam jumlah besar, mengidentifikasi hubungan antara kegiatan dan tujuan iklim, serta mengurangi ketidakonsistenan dalam penandaan manual. Namun, pemanfaatan kecerdasan buatan dalam pengelolaan APBD tidak hanya dipandang sebagai sarana otomatisasi pekerjaan administratif, melainkan juga sebagai instrumen strategis untuk meningkatkan kualitas tata kelola anggaran (Aldemir & Uysal, 2025). Oleh sebab itu, penerapannya harus tetap berlandaskan pada ketepatan data, kejelasan dasar pengambilan keputusan, pengawasan manusia, transparansi, keamanan sistem, dan pertanggungjawaban pejabat publik. Maka, digitalisasi pengelolaan anggaran membuka peluang untuk meningkatkan efektivitas tata kelola dan mendorong pembentukan kerangka hukum serta kelembagaan yang menjamin penggunaan kecerdasan buatan secara transparan (Cheong, 2024).

Secara praktik, penerapan penandaan anggaran iklim di Indonesia masih menghadapi permasalahan terkait ketepatan klasifikasi, keterbatasan sumber daya manusia (SDM), kualitas data, dan kesenjangan kapasitas antar daerah. Menurut Penelitian oleh Maulidiyah dan Akhmadi menunjukkan bahwa terdapat kegiatan yang mendukung adaptasi atau mitigasi perubahan iklim, namun belum memperoleh penandaan akibat keterbatasan dalam pemutakhiran aksi dan penelaahan keluaran anggaran (Maulidiyah & Akhmadi, 2024). Implementasi penandaan anggaran juga dipengaruhi oleh sistem perencanaan, penganggaran, pemantauan, dan registrasi yang belum sepenuhnya terintegrasi. Kondisi ini diperkuat dengan belum terintegrasinya sistem perencanaan, penganggaran, pemantauan, dan registrasi. Selain itu, perbedaan kapasitas fiskal, infrastruktur digital, dan SDM, khususnya di daerah 3T, mendorong penerapan *climate budget tagging* berbasis kecerdasan buatan berdasarkan prinsip keadilan asimetris melalui penerapan bertahap, penguatan kapasitas, dan dukungan fiskal serta infrastruktur yang proporsional.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penandaan anggaran masih berfokus pada jumlah belanja yang dikategorikan sebagai belanja iklim dan tidak berkaitan dengan efektivitas belanja dalam menghasilkan penurunan emisi atau peningkatan ketahanan daerah. Selain itu, penelitian mengenai pembiayaan perubahan iklim di Provinsi Jambi juga mencerminkan kebutuhan penguatan regulasi daerah, transparansi, akuntabilitas, koordinasi lintas sektor, serta partisipasi masyarakat (Desmiwati et al., 2025). Kondisi ini membuka ruang terjadinya *bureaucratic greenwashing*, yakni ketika nomenklatur kegiatan dikonstruksikan seolah-olah mendukung agenda iklim tanpa hubungan substantif dengan hasil lingkungan yang terukur. Oleh sebab itu, sistem berbasis kecerdasan buatan perlu dikembangkan untuk mendeteksi anomali antara nomenklatur, jenis belanja, keluaran, indikator kinerja, dan dampak karbon. Maka, *climate budget tagging* tidak berhenti sebagai pelabelan administratif, tetapi menjadi instrumen verifikasi untuk memperkuat akuntabilitas substantif dan mencegah *greenwashing* dalam pengelolaan APBD.

Secara normatif, pengelolaan APBD harus dilaksanakan sebagai satu siklus yang mencakup perencanaan, penganggaran, pelaksanaan, penatausahaan, pelaporan, pertanggungjawaban, pembinaan, dan pengawasan sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 12 Tahun 2019 Tentang Pengelolaan Keuangan daerah dan dijabarkan lebih lanjut melalui Peraturan Menteri Dalam Negeri (Permendagri) Nomor 77 Tahun 2020 Tentang Pedoman Teknis Pengelolaan Keuangan Daerah. Dalam bidang pengendalian emisi, Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 110 Tahun 2025 Tentang Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Nasional mengatur penyelenggaraan instrumen nilai ekonomi karbon, kerangka transparansi, pemantauan, evaluasi, pembinaan, dan pendanaan, serta mencabut Perpres Nomor 98 Tahun 2021. Namun, penelaahan terhadap regulasi ini menunjukkan belum adanya pengaturan terpadu yang secara khusus mewajibkan keterkaitan antara penandaan APBD, jumlah emisi yang dikurangi atau dihindari, dan pertanggungjawaban kinerja karbon pemerintah daerah. Selain itu, regulasi pengelolaan keuangan daerah juga belum menetapkan tata cara penilaian khusus mengenai penggunaan kecerdasan buatan untuk mengklasifikasikan belanja iklim, memperbaiki kesalahan sistem, mencatat dasar pengambilan keputusan algoritma, hingga menentukan pihak yang bertanggung jawab atas kekeliruan penandaan (Almeida & Júnior, 2025).

Sebaliknya, pedoman internasional menekankan bahwa penandaan anggaran hijau harus terintegrasi dengan penilaian dampak, indikator kinerja, evaluasi belanja, transparansi, dan pengawasan sehingga ketidakterpaduan pengaturan APBD, kebijakan penandaan anggaran iklim, dan tata kelola karbon tidak menciptakan kekosongan normatif yang menghambat efektivitas belanja daerah dalam mencapai tujuan lingkungan. Penelitian terdahulu pada umumnya mengkaji penganggaran berkelanjutan, penandaan anggaran iklim, pemanfaatan kecerdasan buatan, dan akuntabilitas karbon secara terpisah. Kajian penganggaran berkelanjutan berfokus terhadap penggunaan indikator lingkungan, penandaan anggaran hijau, dan pendekatan partisipatif, sedangkan penelitian mengenai *Climate Budget Tagging* berfokus pada perkembangan penerapan, keterbatasan pendanaan, kapasitas aparatur, dan klasifikasi kegiatan (Novikasari, 2023). Penelitian terkait tata kelola pembiayaan iklim daerah juga lebih banyak membahas transparansi, penguatan regulasi lokal, koordinasi kelembagaan, dan partisipasi pemangku kepentingan (Rasyidi & Setiya, 2026). Di sisi lain, kajian Kementerian Keuangan dan UNICEF mengenai penandaan anggaran hak anak menunjukkan bahwa kecerdasan buatan dan analisis semantik dapat meningkatkan konsistensi klasifikasi, namun tetap membutuhkan validasi manusia serta pengujian hubungan antara belanja dan hasil kebijakan (Branchini & Acha, 2025). Oleh sebab itu, belum banyak penelitian yang merekonstruksi tata kelola APBD dengan menghubungkan kecerdasan buatan, penandaan anggaran iklim, pengukuran hasil karbon, pengawasan manusia, dan keterbukaan informasi publik. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kelemahan pengaturan dan pelaksanaan penandaan anggaran iklim serta akuntabilitas karbon dalam tata kelola APBD, serta merumuskan model *Green Government 4.0* berbasis kecerdasan buatan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada perumusan model *Green Government 4.0* berbasis rantai akuntabilitas anggaran karbon yang tidak hanya mengotomatisasi penandaan APBD, melainkan juga memanfaatkan kecerdasan buatan untuk mengidentifikasi kegiatan adaptasi, mitigasi, dan mengintegrasikan dengan indikator keluaran, hasil, serta estimasi dampak karbon. Hasil klasifikasi sistem tidak langsung menjadi keputusan final, melainkan diverifikasi melalui mekanisme *human-in-the-loop* oleh Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda), badan pengelola keuangan daerah, dinas lingkungan hidup, dan perangkat daerah lainnya. Setiap penerimaan, penolakan, atau koreksi atas rekomendasi sistem wajib dilengkapi rekam jejak digital, sehingga proses pengambilan keputusan dapat diperiksa kembali. Model ini juga mengintegrasikan SIPD, data pembangunan rendah karbon, realisasi anggaran, dan sistem registrasi karbon nasional serta menyajikannya melalui dasbor akuntabilitas karbon sesuai kewenangan dan prinsip keterbukaan informasi. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang berfokus pada besaran belanja atau ketepatan penandaan, penelitian ini memanfaatkan kecerdasan buatan sebagai bagian dari kerangka hukum, kelembagaan, pengawasan, dan pertanggungjawaban publik sehingga orientasi penandaan bergeser dari *input-based tagging* menuju *outcome-based carbon accountability*.

Secara teoretis, penelitian ini memperluas kajian hukum tata kelola pemerintahan melalui integrasi konsep pemerintahan hijau, pemerintahan digital, keuangan daerah, dan akuntabilitas. Sedangkan secara praktis dapat menjadi landasan dalam penyusunan pedoman penandaan anggaran iklim daerah, pengembangan mekanisme SIPD, pembentukan indikator kinerja karbon, serta penguatan pengawasan. Dari sisi kebijakan, model ini diharapkan mendukung penyelarasan APBD dengan target pembangunan rendah karbon dan kerangka transparansi sebagaimana diarahkan dalam Perpres Nomor 110 Tahun 2025. Penelitian ini dibatasi pada tata kelola belanja APBD untuk program adaptasi dan mitigasi perubahan iklim dengan metode hukum normatif serta analisis difokuskan pada kerangka norma, pembagian kewenangan, integrasi sistem, mekanisme pengawasan, dan pertanggungjawaban. Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: bagaimana pengaturan penandaan anggaran iklim dan akuntabilitas karbon dalam tata kelola APBD yang berlaku di Indonesia dan bagaimana rekonstruksi tata kelola APBD berbasis kecerdasan buatan untuk mewujudkan *Green Government 4.0* di Indonesia. Selain itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaturan penandaan anggaran iklim dan akuntabilitas karbon dalam tata kelola APBD dan untuk merumuskan rekonstruksi tata kelola APBD berbasis kecerdasan buatan untuk mewujudkan *Green Government 4.0* di Indonesia.

2. METODE

Metode Penelitian ini menggunakan jenis penelitian yuridis normatif dengan fokus analisis terhadap norma, prinsip, kebijakan, dan kerangka tata kelola APBD yang berkaitan dengan penandaan anggaran iklim, kecerdasan buatan, serta akuntabilitas karbon. Pemilihan metode yuridis normatif didasarkan pada tujuan penelitian untuk menilai kesesuaian antara pengaturan yang berlaku dan kebutuhan pembentukan model *Green Government 4.0* pada masa mendatang. Pendekatan yang digunakan yakni pendekatan perundang-undangan, pendekatan konseptual, dan pendekatan komparatif (Antony, Sudirman, & Situmeang, 2026). Pendekatan perundang-undangan digunakan untuk menelaah regulasi mengenai pengelolaan keuangan daerah, pemerintahan digital, pengendalian perubahan iklim, keterbukaan informasi, perlindungan data, dan pengawasan penyelenggaraan pemerintahan. Pendekatan konseptual digunakan untuk mengkaji konsep pemerintahan hijau, penandaan anggaran iklim, akuntabilitas karbon, dan akuntabilitas pemanfaatan kecerdasan buatan. Selain itu, pendekatan komparatif digunakan secara terbatas untuk mengidentifikasi praktik penganggaran hijau dan tata kelola penggunaan teknologi dalam pengelolaan anggaran di beberapa negara lain (Tan, 2021).

Data penelitian ini menggunakan data sekunder yang terdiri atas bahan hukum primer, bahan hukum sekunder, dan bahan hukum tersier. Bahan hukum primer mencakup peraturan perundang-undangan mengenai pengelolaan keuangan daerah, pemerintahan daerah, perencanaan pembangunan, pengendalian emisi, nilai ekonomi karbon, digitalisasi tata kelola pemerintahan, keterbukaan informasi, dan perlindungan data pribadi. Bahan hukum sekunder mencakup artikel jurnal, buku, laporan pemerintah, dokumen kebijakan mengenai penganggaran iklim dan kecerdasan buatan. Bahan hukum tersier mencakup kamus hukum dan sumber lainnya. Pengumpulan data dilakukan melalui studi kepustakaan dengan menginventarisasi, mengklasifikasikan, menyeleksi, dan menelaah bahan hukum berdasarkan keterkaitannya dengan rumusan masalah. Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara kualitatif-deskriptif dengan menggunakan penafsiran gramatikal, sistematis, teleologis, dan konseptual (Disemadi, 2022). Selanjutnya, hasil analisis disusun secara deduktif untuk menghasilkan argumentasi hukum, model kelembagaan, mekanisme pengawasan, dan rekomendasi kebijakan bagi penerapan *Green Government 4.0* di Indonesia. Meskipun penelitian ini bersifat yuridis normatif, model kecerdasan buatan yang ditawarkan dibatasi pada aspek konseptual dan tata kelola hukum. Selain itu, kelayakan teknis, akurasi algoritma, serta efektivitas penerapan *machine learning* dan *large language model* memerlukan pengujian lebih lanjut melalui penelitian interdisipliner dan pendekatan empiris di bidang ilmu *computer*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Dukungan dan Keterbatasan Pengaturan Penandaan Anggaran Iklim dan Akuntabilitas Karbon Dalam Tata Kelola APBD di Indonesia

Penandaan anggaran iklim dan akuntabilitas karbon dalam pengelolaan APBD diatur melalui berbagai ketentuan hukum yang saling berkaitan dan bersifat sektoral. Pada tingkat keuangan daerah, Undang-Undang (UU) Nomor 1 Tahun 2022 Hubungan Keuangan antara Pemerintah Pusat dan Pemerintahan Daerah (UU HKPD) menempatkan pengelolaan belanja daerah dan kerjasama kebijakan fiskal nasional sebagai bagian dari hubungan keuangan antara pemerintah pusat dan pemerintahan daerah. UU HKPD memberikan landasan normatif bagi pemerintah pusat untuk menyelaraskan kebijakan fiskal daerah dengan prioritas pembangunan nasional, terkhususnya pembangunan rendah karbon dan ketahanan iklim (Lewis, 2023). Selain itu, kerangka pengelolaan APBD diatur dalam PP Nomor 12 Tahun 2019 Tentang Pengelolaan Keuangan Daerah yang mencakup penyusunan, penetapan, pelaksanaan, penatausahaan, pelaporan, pertanggungjawaban, pembinaan, dan pengawasan. Selanjutnya, ketentuan ini dijabarkan dalam Permendagri Nomor 77 Tahun 2020 Tentang Pedoman Teknis Pengelolaan Keuangan Daerah. Dalam hal ini, APBD tidak hanya berfungsi sebagai dokumen pendapatan dan belanja, melainkan juga sebagai instrumen

hukum untuk mewujudkan prioritas pembangunan daerah. Oleh sebab itu, setiap program yang berkaitan dengan perubahan iklim harus direncanakan, diklasifikasikan, dilaksanakan, dan dipertanggungjawabkan melalui mekanisme APBD (Eguino et al., 2024). Hal ini sejalan dengan temuan awal penelitian yang menunjukkan bahwa landasan umum pengelolaan keuangan daerah telah tersedia, namun belum dirancang secara khusus untuk mengukur hubungan antara belanja daerah dan hasil pengurangan emisi karbon.

Dalam bidang lingkungan hidup, kewajiban pengendalian perubahan iklim bersumber dari UU Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UU PPLH) serta UU Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change*. Selain itu, perkembangan kebijakan karbon juga tercermin dari terbitnya Perpres Nomor 110 Tahun 2025 tentang Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Nasional. Peraturan ini menggantikan Perpres Nomor 98 Tahun 2021 yang dinilai tidak lagi sesuai dengan perkembangan kebutuhan hukum dan masyarakat (Soeharso, Sufiarina, Chaniago, & Nursyamsudin, 2025). Perpres Nomor 110 Tahun 2025 mengatur alokasi karbon, penyusunan kontribusi nasional, mitigasi, adaptasi, nilai ekonomi karbon, kerangka transparansi, pemantauan, evaluasi, pembinaan, dan pendanaan. Berdasarkan regulasi ini, pemerintah daerah provinsi dan kabupaten atau kota diposisikan sebagai pelaksana aksi mitigasi dan adaptasi sesuai dengan pembagian kewenangan (Romppanen, 2024). Pendanaan penyelenggaraan mitigasi, adaptasi, dan instrumen nilai ekonomi karbon juga secara tegas bersumber dari APBN dan APBD. Ketentuan ini menunjukkan bahwa penggunaan APBD bagi program iklim tidak hanya sebagai pilihan kebijakan daerah, melainkan juga bagian dari pelaksanaan kewajiban pemerintahan dalam mencapai target nasional.

Secara teknis, pengelolaan APBD telah didukung oleh pembangunan SIPD yang mendorong terintegrasinya pelaksanaan proses perencanaan dan penganggaran. Hal ini diatur berdasarkan Permendagri Nomor 70 Tahun 2019 yang membentuk SIPD sebagai sarana pengelolaan informasi pembangunan dan keuangan daerah. Sistem ini dilengkapi dengan klasifikasi, kodefikasi, dan nomenklatur program, kegiatan, sub-kegiatan, hingga rekening belanja yang menjadi landasan penyusunan dokumen anggaran daerah (Hidayat, B, & Sion, 2025). Selain itu, Permendagri Nomor 5 Tahun 2024 tentang Satu Data Pemerintahan Dalam Negeri juga mendorong keterpaduan data antara Kementerian Dalam Negeri dan pemerintah daerah secara terintegrasi serta berkelanjutan. Kerangka digital ini menyediakan infrastruktur yang mendukung pelaksanaan penandaan terhadap belanja tertentu berdasarkan tema pembangunan (Hasnita & Salomo, 2025). Penggunaan nomenklatur yang seragam bertujuan untuk mempermudah identifikasi kegiatan yang berkaitan dengan mitigasi, adaptasi, pengelolaan sampah, energi, transportasi, kehutanan, dan ketahanan bencana. Sistem yang terintegrasi juga dapat mengurangi perbedaan format data antar daerah dan meningkatkan kemampuan pemerintah pusat untuk melakukan pemantauan (Wahyuni et al., 2024). Namun, regulasi mengenai sistem informasi dan satu data masih bersifat umum serta belum menetapkan standar metadata, faktor emisi, dan indikator hasil karbon bagi setiap sub-kegiatan APBD.

Ketentuan penandaan anggaran daerah yang berlaku bagi APBD Tahun Anggaran 2026 juga tertuang dalam Permendagri Nomor 14 Tahun 2025. Peraturan ini berlaku pada 30 September 2025 dan menjadi pedoman bagi seluruh pemerintah daerah dalam menyusun APBD Tahun Anggaran 2026. Ketentuan mengenai penandaan diatur dalam Pasal 3 yang mengharuskan pemerintah daerah memperhatikan penandaan yang diformulasikan melalui SIPD (Nihayah & Diastuti, 2023). Penandaan ini mencakup belanja pendidikan, infrastruktur pelayanan publik, belanja pegawai, anggaran pengawasan, standar pelayanan minimal, *stunting*, kemiskinan ekstrem, pengendalian inflasi, dan berbagai penggunaan dana yang telah ditentukan. Daftar itu juga mencakup keselarasan anggaran dengan Asta Cita dan kategori isu strategis lainnya sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Namun, penandaan anggaran perubahan iklim belum disebut secara tegas sebagai kategori mandiri dalam daftar penandaan utama (Kurrohman & Oktaviani, 2025). Oleh sebab itu, penandaan anggaran iklim belum memiliki tingkat ketegasan yang sama dengan penandaan pendidikan, infrastruktur, standar pelayanan minimal, *stunting*, dan kemiskinan ekstrem.

Meskipun penganggaran lingkungan hidup dan perubahan iklim belum ditetapkan secara tegas sebagai kategori utama penandaan, Lampiran Permendagri Nomor 14 Tahun 2025 telah memberikan landasan bagi pengalokasian anggaran pada bidang tersebut. Regulasi ini mendorong pemerintah daerah mengembangkan anggaran berwawasan lingkungan dan insentif kinerja berbasis ekologi melalui skema transfer anggaran provinsi dan kabupaten/kota berbasis ekologi (Ikhwan & Khairani, 2024). Namun, pedoman tersebut masih merujuk pada Perpres Nomor 98 Tahun 2021, sedangkan Perpres Nomor 110 Tahun 2025 yang berlaku sejak 10 Oktober 2025 telah mencabut dan menggantikannya. Ketidaksinkronan ini terjadi karena Permendagri Nomor 14 Tahun 2025 ditetapkan lebih dahulu, yakni pada 17 September 2025. Oleh karena itu, ketentuan mengenai nilai ekonomi karbon harus ditafsirkan dan dilaksanakan berdasarkan Perpres Nomor 110 Tahun 2025 sebagai regulasi yang lebih baru (Al-Fatih, Safaat, Widiarto, Al Uyun, & Nur, 2023). Untuk mencegah ketidakpastian penerapan di daerah, Kementerian Dalam Negeri bersama Kementerian Keuangan perlu menerbitkan Surat Edaran Bersama sebagai pedoman administratif transisional yang menyelaraskan penyusunan dan pelaksanaan APBD dengan rezim nilai ekonomi karbon terbaru, sembari menunggu pembaruan formal pedoman penyusunan APBD. SEB tersebut berfungsi sebagai jembatan koordinatif bagi pemerintah daerah, tanpa menggantikan kedudukan atau mengubah substansi peraturan perundang-undangan yang berlaku (Surya & Wahab, 2023).

Indonesia telah mengembangkan kebijakan penandaan anggaran perubahan iklim pada tingkat pemerintah pusat sejak 2016 dan diperluas oleh Kementerian Keuangan kepada pemerintah daerah pada 2020 melalui skema Penandaan Anggaran Iklim Daerah (*Regional Climate Budget Tagging*) (Maulidiyah & Akhmadi, 2024). Pada tahap awal, uji coba dilaksanakan di 11 pemerintah daerah, yakni Aceh, Gorontalo, Kabupaten Gorontalo, Riau, Kabupaten Siak, Pekanbaru, Kalimantan Utara, Jawa Barat, Kabupaten Sumedang, Papua, dan Papua Barat. Uji coba diperluas pada 2021 dengan melibatkan enam pemerintah daerah tambahan sehingga mencapai 17 daerah (Busscher et al., 2025). Penandaan dilaksanakan dengan mengidentifikasi luaran kegiatan dan alokasi anggaran dalam RKPD dan RKPA Perangkat Daerah dalam kegiatan mitigasi serta adaptasi perubahan iklim. Praktik ini menunjukkan bahwa pemerintah telah memiliki landasan metodologis dalam penerapan penandaan anggaran iklim daerah (Indraprahasta, Amir, Nastiti, & Ufaira, 2025). Namun, pelaksanaannya masih terbatas dalam tahap uji coba, pendampingan, dan belum menjadi kewajiban hukum yang seragam bagi seluruh pemerintah daerah.

Perkembangan penting berikutnya terjadi pada Juni 2025 ketika Kementerian Keuangan membentuk sistem penandaan otomatis dan dasbor penandaan anggaran iklim berbasis pembelajaran mesin dalam memperkuat pelacakan program dan keterhubungan antara perencanaan, penganggaran, dan pembiayaan iklim (Direktorat Jenderal Strategi Ekonomi dan Fiskal, 2025). Teknologi kecerdasan buatan melaksanakan analisis terhadap ribuan program dan sub-kegiatan secara lebih cepat, terkhususnya untuk mengenali kesamaan makna, ketidakkonsistenan nomenklatur, dan substansi iklim yang tidak dinyatakan secara jelas (Guariso, Guerrero, & Castañeda, 2023). Namun, hasil klasifikasi otomatis tidak dapat langsung diperlakukan sebagai keputusan hukum final karena akurasi dipengaruhi oleh kualitas data, definisi kategori, dan model yang digunakan. Oleh sebab itu, pemanfaatan kecerdasan buatan dalam penandaan anggaran iklim harus disertai pengawasan manusia, mekanisme koreksi, standar pengujian model, dokumentasi keputusan, tingkat akurasi minimum, prosedur keberatan, hingga kejelasan tanggung jawab atas kesalahan klasifikasi (Jiang, Pang, Wong, & Kan, 2023).

Dalam perspektif akuntabilitas karbon, Perpres Nomor 110 Tahun 2025 memberikan landasan hukum yang kuat bagi penerapan transparansi dalam pengelolaan dan pelaporan karbon. Peraturan ini mewajibkan pencapaian target kontribusi nasional dilaksanakan secara akurat, konsisten, transparan, berkelanjutan, dan dapat dipertanggungjawabkan (Drajati, Odilla, & Berlianty, 2025). Kerangka transparansi dilaksanakan melalui pengukuran, pelaporan, dan verifikasi, Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim, Sistem Registri Unit Karbon, serta sertifikasi pengurangan emisi. Pengukuran aksi mitigasi dilaksanakan untuk memperoleh besaran emisi dan jumlah pengurangan emisi yang dihasilkan. Gubernur, bupati, wali kota, menteri terkait, dan pelaku usaha menjadi pihak yang dapat melaksanakan pengukuran sesuai dengan tanggung jawab serta

kewenangan. Pelaksanaan aksi mitigasi dan adaptasi wajib dicatatkan dalam Sistem Registri Nasional sehingga menghasilkan data nasional, sektoral, sub-sektoral, dan daerah yang akurat (Thornbush & Govind, 2025). Pencatatan ini juga berfungsi untuk menghindari penghitungan ganda dan menjadi landasan pengakuan pemerintah terhadap kontribusi penanggung jawab aksi iklim. Oleh sebab itu, secara normatif telah terdapat instrumen dalam mengukur hasil karbon, namun belum secara tegas diintegrasikan dalam penandaan setiap program dan sub-kegiatan dalam APBD (Liu, Bagchi, Sy, & Gao, 2026).

Selain itu, Perpres Nomor 110 Tahun 2025 juga mendorong pemerintah daerah dalam struktur pelaporan, pemantauan, dan evaluasi secara bertahap. Sebagai contoh, Bupati atau wali kota bertanggung jawab untuk melaksanakan pemantauan dan evaluasi pada tingkat kabupaten atau kota, sedangkan gubernur melaksanakan fungsi pengawasan pada tingkat provinsi (Drajati et al., 2025). Hasil pemantauan pemerintah kabupaten atau kota disampaikan kepada gubernur, sedangkan hasil pemantauan provinsi disampaikan kepada menteri yang berwenang. Objek pemantauan mencakup inventarisasi emisi, aksi mitigasi, aksi adaptasi, instrumen nilai ekonomi karbon, kerangka transparansi, dan pelaksanaan pembinaan. Peraturan ini juga menekankan bahwa pendanaan mitigasi, adaptasi, dan nilai ekonomi karbon dapat bersumber dari APBN, APBD, pelaku usaha, pembagian manfaat, serta sumber lain yang sah (Al-Fatih et al., 2023). Ketentuan menjadi landasan bagi pembentukan hubungan antara sumber pendanaan, pelaksanaan kegiatan, dan hasil karbon yang dicapai. Namun, belum terdapat ketentuan operasional yang mewajibkan nomor atau kode sub-kegiatan APBD dicantumkan dalam setiap laporan aksi iklim pada sistem registri nasional. Kondisi ini menyebabkan pengelolaan data keuangan daerah dan data pengurangan emisi belum terintegrasi (Surya & Wahab, 2023).

Di sisi lain, aspek pengawasan tata kelola APBD telah diperkuat melalui Permendagri Nomor 3 Tahun 2026 tentang Reviu Dokumen Perencanaan Pembangunan Daerah dan Dokumen Keuangan Daerah. Peraturan ini mendorong aparat pengawasan internal pemerintah daerah melakukan pemeriksaan untuk menjamin keselarasan dan kualitas dokumen berdasarkan norma, standar, prosedur, dan rencana (Alder, Ebert, Herbrich, & Hacker, 2024). Penilaian diperlukan untuk mencegah ketidaksesuaian antara rencana pembangunan, kebijakan umum anggaran, prioritas plafon anggaran sementara, dan rancangan APBD. Namun, kerangka penilaian ini masih difokuskan sebagai pengawasan umum terhadap kualitas dokumen perencanaan dan keuangan daerah. Oleh sebab itu, belum terdapat parameter khusus yang mewajibkan aparat pengawasan menguji ketepatan penandaan anggaran iklim, validitas faktor emisi, hubungan antara belanja dan hasil karbon, atau risiko kesalahan sistem kecerdasan buatan. Ketiadaan standar ini berpotensi menyebabkan program memperoleh label iklim selama memenuhi klasifikasi administratif, meskipun kontribusinya terhadap pengurangan emisi belum dapat dibuktikan (Purnama, Aini, Sugiarto, & Putri, 2025). Keadaan ini membuka risiko pembesaran nilai belanja hijau, penghitungan ganda, ketidaktepatan, hingga praktik *greenwashing* dalam pelaporan pemerintah. Maka, pengawasan APBD perlu berkembang dari pengujian kepatuhan dan konsistensi dokumen menuju pengujian kewajaran hubungan antara anggaran, keluaran program, serta hasil lingkungan.

Jika ditinjau dari perspektif teori akuntabilitas publik, *climate budget tagging* tidak hanya berfungsi untuk mengidentifikasi dan menyajikan besaran belanja iklim, melainkan juga harus mendukung kewajiban pemerintah untuk menjelaskan penggunaan anggaran, mempertanggungjawabkan kinerja, serta menunjukkan hasil yang dicapai. (Megawati, Alfarizi, & Syamsul, 2024). Menurut Bovens (2007), akuntabilitas mencakup hubungan antara *actor* dan *forum* yang melibatkan kewajiban memberikan penjelasan, penilaian atas kinerja, dan tingkat risiko. Hal ini juga menunjukkan bahwa penandaan anggaran merupakan tahap awal akuntabilitas yang perlu dikembangkan menuju mekanisme yang menghubungkan alokasi anggaran, pelaksanaan kegiatan, hasil kebijakan, dan capaian pengurangan emisi. Selaras dengan itu, OECD juga menekankan bahwa *green budget tagging* pada dasarnya mengidentifikasi belanja yang berkaitan dengan tujuan lingkungan dan iklim, namun belum secara langsung menunjukkan dampak belanja terhadap pencapaian target lingkungan. Oleh sebab itu, *carbon accountability* mendorong keterhubungan yang dapat diverifikasi antara penggunaan APBD, pelaksanaan program, hasil lingkungan, dan perubahan

emisi. Dalam hal ini, pemanfaatan kecerdasan buatan dalam *climate budget tagging* dapat memperkuat identifikasi dan integrasi informasi anggaran, namun tetap memerlukan mekanisme pengukuran dan evaluasi hasil. Kerangka ini menjadi landasan dalam menilai keterbatasan pengaturan dan pelaksanaan *climate budget tagging* serta merumuskan rekonstruksi *Green Government 4.0* yang berorientasi pada akuntabilitas karbon (Kurniawan & Astawa, 2025).

Secara keseluruhan, Indonesia telah memiliki landasan normatif terkait pengembangan penandaan anggaran iklim dan akuntabilitas karbon dalam tata kelola APBD. Pengaturan ini terletak dalam sistem pengelolaan keuangan daerah, penggunaan SIPD, pengalaman penerapan penandaan anggaran iklim daerah, serta pembentukan kerangka pengukuran, pelaporan, verifikasi, dan registrasi karbon. Selain itu, Perpres Nomor 110 Tahun 2025 telah menegaskan peran pemerintah daerah dan memperbolehkan APBD sebagai salah satu sumber pendanaan aksi iklim. Namun, pengaturannya masih tersebar dalam rezim keuangan daerah, sistem informasi, lingkungan hidup, nilai ekonomi karbon, dan pedoman tahunan penyusunan APBD. Belum terdapat norma yang secara wajib menghubungkan kode sub-kegiatan APBD, hasil penandaan iklim, realisasi belanja, indikator keluaran, hasil program, dan jumlah pengurangan emisi dalam satu rantai pertanggungjawaban. Akibatnya, suatu belanja dapat dikategorikan sebagai anggaran iklim tanpa mekanisme yang menjamin adanya dampak karbon yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan. Penelitian ini menunjukkan bahwa penandaan anggaran iklim dan akuntabilitas karbon telah memiliki dasar normatif, namun belum terintegrasi dan masih berorientasi pada aspek masukan. Oleh sebab itu, rekonstruksi tata kelola APBD perlu mengintegrasikan penandaan anggaran, verifikasi manusia, pengukuran hasil karbon, pengawasan, dan keterbukaan informasi publik dalam satu sistem berbasis kecerdasan buatan. Integrasi tersebut juga harus didukung perubahan insentif birokrasi dengan menjadikan ketepatan penginputan data karbon dan penandaan anggaran iklim sebagai bagian dari Indikator Kinerja Utama perangkat daerah atau pejabat terkait yang dapat diperhitungkan dalam pemberian Tambahan Penghasilan Pegawai (TPP). Maka, akuntabilitas iklim tidak hanya dibangun melalui kewajiban administratif, melainkan juga melalui insentif kinerja yang mendorong ketepatan data, konsistensi pelaporan, dan pencapaian hasil lingkungan.

b. Rekonstruksi Tata Kelola APBD Berbasis Kecerdasan Buatan untuk Mewujudkan *Green Government 4.0* di Indonesia

Rekonstruksi tata kelola APBD berbasis kecerdasan buatan harus berlandaskan dengan mengubah orientasi penandaan anggaran iklim dari yang hanya bersifat klasifikasi belanja menjadi instrumen pertanggungjawaban atas hasil lingkungan (OECD, 2024). Berdasarkan temuan penelitian menunjukkan bahwa hukum positif Indonesia telah menyediakan landasan normatif bagi pengelolaan keuangan daerah, sistem pemerintahan digital, penandaan anggaran, serta pengukuran dan pelaporan emisi. Namun, instrumen-instrumen ini belum terintegrasi dalam satu ekosistem akuntabilitas. Sebagai contoh, Perpres Nomor 110 Tahun 2025 Tentang Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Nasional telah membentuk landasan transparansi, pemantauan, evaluasi, registrasi, dan pendanaan pengendalian emisi gas rumah kaca. Selain itu, Kementerian Keuangan juga telah membentuk sistem penandaan otomatis dan platform *Climate Budget Tagging* berbasis pembelajaran mesin pada Juni 2025. Namun, *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) menekankan bahwa penandaan anggaran hijau hanya menunjukkan besaran belanja yang berkaitan dengan tujuan lingkungan dan belum secara langsung menunjukkan dampaknya terhadap emisi atau capaian iklim (Pindiriri & Kwaramba, 2024). Berdasarkan kondisi ini, rekonstruksi yang ditawarkan yakni Sistem Tata Kelola APBD Hijau Cerdas yang mengintegrasikan norma hukum, data anggaran, kecerdasan buatan, verifikasi manusia, pengukuran karbon, dan keterbukaan informasi (Alder et al., 2024). Model ini memposisikan teknologi sebagai alat bantu dalam meningkatkan ketepatan, konsistensi, dan kecepatan analisis tanpa menggantikan kewenangan pejabat pemerintahan. Maka, *Green Government 4.0* tidak hanya berorientasi pada digitalisasi proses penandaan anggaran, melainkan juga mencerminkan transformasi kelembagaan dan penguatan akuntabilitas publik (Adi, Pambayun, & Lukman, 2025).

Rekonstruksi pertama yakni melaksanakan harmonisasi regulasi yang memberikan kepastian hukum terhadap kedudukan, fungsi, dan konsekuensi hukum penandaan anggaran iklim dalam pengelolaan APBD (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2024). Pada tahap awal, Kementerian Dalam Negeri perlu mencantumkan penandaan anggaran iklim sebagai kategori wajib dalam pedoman penyusunan APBD. Selain itu, pengaturan teknis harus mencakup definisi belanja mitigasi, adaptasi, kegiatan pendukung, belanja campuran, dan belanja yang berpotensi merugikan lingkungan. Dalam jangka menengah, ketentuan mengenai penganggaran hijau berbasis hasil perlu dimasukkan melalui perubahan PP Nomor 12 Tahun 2019 Tentang Pengelolaan Keuangan Daerah atau peraturan presiden yang mengintegrasikan tata kelola digital dan lingkungan dalam keuangan daerah. Peraturan ini harus mengatur hubungan antara kode kegiatan APBD, penandaan iklim, indikator kinerja, realisasi belanja, hasil karbon, dan membedakan keputusan yang dapat diotomatisasi dengan keputusan yang tetap memerlukan penetapan pejabat berwenang (Yuwono, 2025). Sistem berbasis AI juga perlu dilengkapi *override protocol* untuk kondisi kahar atau kebutuhan *refocussing* anggaran, sehingga pemerintah daerah dapat melakukan penyesuaian anggaran secara cepat berdasarkan kewenangan yang sah tanpa terhambat oleh klasifikasi algoritmik. Setiap penggunaan mekanisme tersebut harus tercatat, beralasan, dan dapat diaudit untuk mencegah penyalahgunaan. Pedoman teknis selanjutnya dapat disusun secara terkoordinasi oleh Kementerian Dalam Negeri, Kementerian Keuangan, kementerian yang menyelenggarakan urusan lingkungan hidup, dan Kementerian PPN/Bappenas (Kumala & Adiyah, 2026). Struktur regulasi bertingkat diperlukan untuk menjamin rekonstruksi tidak hanya bergantung pada inovasi aplikasi, melainkan memiliki landasan normatif yang mengikat seluruh pemerintah daerah.

Selanjutnya pembentukan kerangka data terpadu melalui *carbon measurement* yang berfungsi menghubungkan antara perencanaan, penganggaran, pelaksanaan, hingga pelaporan karbon (Straub, Morgan, Bright, & Margetts, 2023). Setiap program, kegiatan, dan sub-kegiatan perlu memiliki identitas digital unik yang digunakan sejak RPJMD, RKPD, penetapan APBD, realisasi anggaran, evaluasi kinerja, hingga pencatatan hasil lingkungan. Identitas tersebut menjadi penghubung antara SIPD, data transaksi keuangan, data sektoral perangkat daerah, dan sistem registrasi pengendalian perubahan iklim (Harjowiryo, Satrio, Widodo, & Prasetyo, 2024). Integrasi ini sejalan dengan SPBE Nasional dan Rencana Induk Pemerintah Digital 2025–2045 yang menempatkan data sebagai basis bersama dalam perencanaan, penganggaran, pelaksanaan, dan evaluasi kebijakan (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, 2026b). Mengingat SIPD dikelola secara terpusat oleh Kementerian Dalam Negeri, pengembangan modul penganggaran hijau tidak dapat dilakukan secara sepihak oleh pemerintah daerah. Oleh sebab itu, Kementerian Dalam Negeri perlu menyediakan *Application Programming Interface* (API) dan standar interoperabilitas khusus yang memungkinkan SIPD bertukar data secara aman dengan sistem kecerdasan buatan yang dikembangkan oleh Kementerian Keuangan atau pemerintah daerah. Pendekatan ini mendorong integrasi data anggaran dan emisi tanpa membangun aplikasi yang terfragmentasi, serta membentuk bukti digital yang dapat ditelusuri, diverifikasi, dan diaudit secara utuh (Madjid, Kawuryan, Averus, & Triyanto, 2024).

Selanjutnya menerapkan *AI-based budget Tagging* yang berfungsi untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan belanja APBD berdasarkan keterkaitannya dengan tujuan mitigasi serta adaptasi perubahan iklim (Xing, 2024). Pemanfaatannya dimulai dengan membersihkan dan menyeragamkan nomenklatur, singkatan, uraian kegiatan, indikator, lokasi, serta informasi perangkat daerah agar dapat dibaca oleh sistem. Selanjutnya menggunakan pencocokan kata kunci untuk mengidentifikasi kegiatan yang secara langsung berkaitan dengan istilah mitigasi, adaptasi, energi, limbah, kehutanan, transportasi, atau ketahanan iklim (Guariso et al., 2023). Selain itu, digunakan analisis semantik untuk mengenali kegiatan yang memiliki kontribusi terhadap pencapaian tujuan iklim meskipun tidak mencantumkan istilah lingkungan secara eksplisit. Selanjutnya yakni menghasilkan rekomendasi klasifikasi yang terdiri dari tingkat keyakinan, alasan penandaan, kategori iklim, dan bagian anggaran yang relevan. Pendekatan ini didukung oleh hasil Studi UNICEF mengenai penandaan anggaran hak anak yang menunjukkan bahwa kombinasi *natural language processing* (NLP), *large language model* (LLM), dan validasi oleh ahli mampu mengidentifikasi 1.508 sub-

kegiatan dari nomenklatur anggaran pemerintah daerah (UNICEF Indonesia, 2025). Rekomendasi ini juga menunjukkan bahwa kecerdasan buatan dapat dimanfaatkan dalam mengolah data APBD dalam skala nasional.

Selanjutnya, rekonstruksi ini menerapkan prinsip *human accountability* untuk memastikan bahwa keputusan akhir tetap berada pada pejabat pemerintahan yang berwenang. Rekomendasi kecerdasan buatan tidak secara otomatis mengubah status suatu kegiatan menjadi belanja iklim tanpa verifikasi administratif dan teknis (Cowls, King, Taddeo, & Floridi, 2019). Bappeda menilai kesesuaian kegiatan dengan prioritas pembangunan daerah, BPKAD memeriksa struktur anggaran dan sumber pendanaan, sedangkan Dinas Lingkungan Hidup memvalidasi kategori mitigasi atau adaptasi, metodologi pengukuran, dan indikator lingkungan. Untuk mencegah *administrative burden*, proses verifikasi perlu dilakukan melalui *dashboard* terpadu yang sederhana, berbasis risiko, dan hanya mewajibkan pemeriksaan mendalam terhadap kegiatan bernilai besar, berdampak material, atau memiliki tingkat keyakinan sistem yang rendah. Jika terjadi perbedaan penilaian antara Bappeda, BPKAD, dan Dinas Lingkungan Hidup, Sekretaris Daerah selaku Ketua Tim Anggaran Pemerintah Daerah berfungsi sebagai otoritas koordinatif untuk menyelesaikan perbedaan berdasarkan data, bukti, dan tujuan kebijakan daerah. Inspektorat selanjutnya melakukan pengawasan atas proses, bukti, dan rekam jejak digital keputusan. Penggunaan kecerdasan buatan juga menuntut penguatan kapasitas APIP dan BPK melalui *algorithm audit*, termasuk kemampuan menilai logika model, kualitas data, rekam jejak keputusan, bias, dan konsistensi keluaran sistem. Maka, *human accountability* tidak hanya menjaga kendali manusia atas keputusan anggaran, melainkan juga membentuk mekanisme verifikasi yang efisien, koordinatif, dan dapat diaudit (Brand, 2022).

Selanjutnya pembentukan *public transparency* untuk mencegah keputusan yang tidak dapat dijelaskan, dikoreksi, atau diperiksa. Setiap hasil klasifikasi harus disertai informasi mengenai data yang digunakan, kategori yang dipilih, tingkat keyakinan, alasan rekomendasi, dan aturan yang diterapkan oleh sistem (Kroll et al., 2022). Pemerintah harus menyimpan versi model, riwayat perubahan pengukuran, hasil pengujian, serta catatan koreksi yang diberikan oleh pejabat atau ahli. Pengujian dilakukan secara berkala terhadap tingkat ketepatan, kesalahan positif, kesalahan negatif, konsistensi antar daerah, dan potensi bias terhadap sektor atau jenis kegiatan tertentu (Brand, 2022). Sistem harus menerapkan pembatasan akses, keamanan informasi, manajemen risiko, dan perlindungan data sesuai dengan kerangka SPBE dan UU Nomor 27 Tahun 2022 (Rinjani & Firmansyah, 2025). Mengingat data APBD, emisi, dan kinerja lingkungan dapat memiliki nilai strategis bagi penyelenggaraan pemerintahan, pemrosesan *machine learning* dan pengelolaan *big data* perlu diprioritaskan pada infrastruktur pemerintah yang berada dalam yurisdiksi dan kendali nasional, termasuk Pusat Data Nasional. Pendekatan ini penting untuk menjamin kedaulatan data, keamanan informasi, keterlacakan akses, dan mengurangi ketergantungan terhadap penyedia *cloud* asing. Maka, pemanfaatan kecerdasan buatan tetap transparan, aman, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Di sisi lain, rekonstruksi ini mengintegrasikan penandaan anggaran dengan pengukuran hasil karbon yang dapat diverifikasi. Setiap kegiatan yang memperoleh penandaan iklim harus dihubungkan dengan kondisi awal, target, indikator, satuan pengukuran, metode perhitungan, sumber data, hingga bukti pelaksanaan (Shishlov & Censkowsky, 2022). Informasi tersebut perlu membedakan antara proyeksi pada tahap perencanaan, perkembangan capaian selama tahun anggaran, dan hasil yang telah diverifikasi setelah kegiatan selesai. Untuk kegiatan mitigasi, indikator dapat berupa jumlah emisi yang dikurangi, dihindari, atau diserap berdasarkan metodologi yang berlaku. Di sisi lain, kegiatan adaptasi dapat menggunakan indikator seperti penurunan risiko, luas wilayah terlindungi, jumlah penduduk terdampak, atau peningkatan kapasitas layanan. Karena indikator adaptasi cenderung lebih kualitatif dan rentan terhadap subjektivitas, capaian yang memiliki dimensi spasial perlu divalidasi melalui data geospasial, termasuk citra satelit, yang dianalisis dan dicocokkan silang dengan data pelaksanaan menggunakan kecerdasan buatan. Mekanisme ini dapat memperkuat bukti objektif, mendeteksi ketidaksesuaian antara klaim program dan kondisi lapangan, serta mengurangi risiko manipulasi capaian. Data hasil selanjutnya dicatat

dalam sistem registrasi nasional untuk menjaga kualitas data dan mencegah penghitungan ganda (Sihotang, 2025). Tahapan ini memperoleh landasan normatif melalui Perpres Nomor 110 Tahun 2025 yang mengatur kerangka pengukuran, pelaporan, verifikasi, registrasi, pemantauan, dan evaluasi. Selain itu, rekonstruksi ini sejalan dengan kajian OECD yang mendorong pemerintah untuk bergerak melampaui penandaan anggaran menuju hubungan yang lebih jelas antara keputusan fiskal dan dampak emisi.

Selain itu, rekonstruksi kelembagaan juga perlu menghindari pembentukan struktur baru yang memperpanjang birokrasi dan memperbesar biaya koordinasi. Pada tingkat nasional, fungsi pengarahannya melekat dalam mekanisme koordinasi pengendalian emisi yang telah dibentuk berdasarkan Perpres Nomor 110 Tahun 2025. Kementerian Dalam Negeri bertanggung jawab terhadap integrasi dalam SIPD, nomenklatur APBD, pedoman penyusunan anggaran, dan pembinaan pemerintah daerah (Kelana & Fahlevvi, 2024). Kementerian Keuangan berperan menyusun metodologi penandaan fiskal, analisis belanja, dan keselarasan kebijakan fiskal nasional dengan fiskal daerah. Di sisi lain, Kementerian Lingkungan Hidup menetapkan taksonomi, metodologi pengukuran, faktor emisi, validasi teknis, dan hubungan dengan sistem registrasi nasional. Kementerian PPN/Bappenas menjamin kesesuaian dalam tahap perencanaan pembangunan rendah karbon, sedangkan kementerian yang menyelenggarakan urusan komunikasi dan digital mendukung kerangka, integrasi, dan keamanan sistem. Pada tingkat daerah, inspektorat menjalankan pengawasan internal berdasarkan pendekatan risiko, sedangkan Badan Pemeriksa Keuangan (BPK) tetap melaksanakan pemeriksaan atas pengelolaan dan tanggung jawab keuangan daerah sesuai kewenangan (Pradana, Akbar, Lukman, & Kusworo, 2024). Pembagian peran ini mewujudkan keseimbangan antara pengelolaan, validasi, pengawasan internal, pemeriksaan eksternal, dan pertanggungjawaban.

Berdasarkan keseluruhan analisis, rekonstruksi tata kelola APBD berbasis kecerdasan buatan tidak cukup dilakukan dengan menambahkan fitur penandaan otomatis pada sistem yang berlaku. Temuan utama penelitian menunjukkan perlunya membangun hubungan hukum dan teknis antara nomenklatur anggaran, rekomendasi algoritma, verifikasi manusia, realisasi belanja, indikator kinerja, dan hasil karbon. Berbeda dengan model penandaan konvensional yang berorientasi pada masukan, model yang ditawarkan membentuk rantai pertanggungjawaban sejak perencanaan hingga verifikasi dampak lingkungan. Kecerdasan buatan meningkatkan kemampuan pemerintah dalam membaca dan mengklasifikasikan sub-kegiatan secara cepat dan konsisten, sedangkan pengawasan manusia menjaga legalitas dan akuntabilitas keputusan. Integrasi dengan sistem registrasi karbon memungkinkan APBD dinilai berdasarkan kontribusi nyata terhadap mitigasi dan adaptasi, bukan hanya berdasarkan besaran anggaran yang memperoleh label iklim. Selanjutnya, *open dashboard* harus menyediakan data tidak hanya dalam bentuk visual, tetapi juga dalam format yang dapat diolah mesin, seperti CSV atau JSON, agar DPRD, auditor, akademisi, masyarakat sipil, dan NGO dapat melakukan analisis independen serta *shadow reporting* terhadap efektivitas belanja iklim daerah. Dengan demikian, transparansi tidak berhenti pada keterbukaan informasi, tetapi berkembang menjadi akuntabilitas partisipatif yang memungkinkan verifikasi dan pengawasan publik berbasis data. Model ini memperkaya teori penganggaran hijau dengan mengintegrasikan akuntabilitas algoritmik dan menggeser fungsi *budget tagging* dari klasifikasi belanja menuju pengukuran hasil kebijakan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menemukan bahwa pengaturan *climate budget tagging* dan *carbon accountability* dalam tata kelola APBD di Indonesia telah memiliki dasar normatif, namun belum membentuk kerangka yang terintegrasi. Kesenjangan utama terlihat pada belum terhubungnya penandaan anggaran dengan realisasi belanja, indikator kinerja, pengukuran, dan pembuktian capaian pengurangan emisi karbon. Pada tingkat implementasi, *climate budget tagging* juga belum diterapkan secara seragam dan belum sepenuhnya didukung oleh integrasi data anggaran dan data karbon, sehingga akuntabilitas masih lebih berorientasi pada kepatuhan administratif daripada

pertanggungjawaban atas hasil lingkungan. Sebagai jawaban atas kesenjangan ini, penelitian ini merekonstruksi model *Green Government 4.0* berbasis kecerdasan buatan yang mengintegrasikan empat dimensi utama, yaitu *AI-based Budget Tagging*, *Carbon Measurement*, *Human Accountability*, dan *Public Transparency*. Model ini mengubah fungsi *climate budget tagging* dari yang hanya sebagai instrumen klasifikasi belanja menjadi bagian dari rantai akuntabilitas yang menghubungkan alokasi APBD, pelaksanaan program, capaian lingkungan, dan hasil pengurangan emisi. Selain itu, kecerdasan buatan juga dimanfaatkan sebagai instrumen pendukung identifikasi, integrasi, dan analisis data, sedangkan tanggung jawab atas keputusan dan hasil tetap berada pada pejabat pemerintahan yang berwenang.

Maka, kontribusi utama penelitian terletak pada perumusan model tata kelola APBD yang mengintegrasikan digitalisasi penganggaran, pengukuran karbon, akuntabilitas manusia, dan transparansi publik dalam satu kerangka *Green Government 4.0*. Model ini menawarkan pergeseran dari *budget tagging-oriented governance* menuju *carbon-accountability-oriented governance*, sehingga APBD tidak hanya dapat ditelusuri dari sisi penggunaan anggaran, melainkan juga dari kontribusinya terhadap pencapaian hasil lingkungan yang terukur.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode yuridis normatif yang berfokus pada analisis norma hukum, kerangka regulasi, dokumen kebijakan, dan literatur yang relevan. Oleh sebab itu, model *Green Government 4.0* berbasis kecerdasan buatan yang ditawarkan masih bersifat konseptual dan belum diuji secara empiris dalam sistem penganggaran pemerintah daerah. Kelayakan teknis, akurasi algoritma, interoperabilitas sistem, serta efektivitas kelembagaan dari penerapan *machine learning* dan *large language model* masih memerlukan penelitian interdisipliner lebih lanjut yang melibatkan ilmu hukum, administrasi publik, keuangan publik, dan ilmu komputer. Selain itu, perbedaan kapasitas fiskal, infrastruktur digital, dan sumber daya manusia antar pemerintah daerah dapat memengaruhi tingkat keberhasilan penerapan model yang diusulkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan akademik, masukan konstruktif, dan pandangan yang bermanfaat selama proses penyusunan dan penyempurnaan naskah ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Editor dan Reviewer Jurnal Ekonomi dan Keuangan Publik (JEKP) atas rekomendasi dan masukan yang telah memperkuat kedalaman analisis, kejelasan argumentasi, serta relevansi praktis penelitian ini.

Pernyataan Penggunaan AI

Teknologi kecerdasan buatan digunakan secara terbatas untuk membantu penyempurnaan bahasa dan perbaikan editorial manuskrip. Kecerdasan buatan tidak digunakan sebagai sumber otoritas hukum maupun sebagai pengganti analisis hukum, penafsiran, verifikasi sumber, dan pertimbangan akademik penulis. Seluruh argumentasi hukum, referensi, interpretasi, kesimpulan, dan rekomendasi telah ditelaah dan diverifikasi oleh para penulis. Para penulis bertanggung jawab sepenuhnya atas keakuratan, orisinalitas, integritas, dan isi akhir manuskrip.

Kontribusi Penulis

Author 1: Kajian literatur, analisis hukum dan kebijakan, pengumpulan serta penelaahan bahan pendukung, pengembangan perspektif komparatif, dan peninjauan manuskrip;

Author 2: Verifikasi data dan referensi, analisis literatur dan dokumen kebijakan pendukung, penyuntingan manuskrip, penyesuaian format, dan peninjauan akhir naskah. Seluruh penulis berpartisipasi dalam pembahasan hasil penelitian, melakukan telaah kritis terhadap manuskrip, menyetujui versi akhir naskah, dan bertanggung jawab atas integritas karya ilmiah ini;

Auhtor 3: Konseptualisasi, perancangan penelitian, metodologi hukum, analisis regulasi, pengembangan kerangka *Green Government 4.0*, penyusunan draf awal, dan supervisi manuskrip.

Daftar Pustaka

- Adi, P. I. G. B., Pambayun, K. G., & Lukman, S. (2025). Implementing Smart Governance in Realizing a Smart City: Case Study Catur Tourism Village, Bangli, Indonesia. *TRANSFORMASI: Jurnal Manajemen Pemerintahan*, 17(1), 1–16. <https://doi.org/10.33701/jtp.v17i1.5488>
- Al-Fatih, S., Safaat, M. A., Widiarto, A. E., Al Uyun, D., & Nur, M. (2023). The Hierarchical Model of Delegated Legislation in Indonesia. *Lex Scientia Law Review*, 7(2), 629–658. <https://doi.org/10.15294/lesrev.v7i2.74651>
- Aldemir, C., & Uysal, T. U. (2025). Artificial Intelligence for Financial Accountability and Governance in the Public Sector: Strategic Opportunities and Challenges. *Administrative Sciences*, 15(2), 58. <https://doi.org/10.3390/admsci15020058>
- Alder, N., Ebert, K., Herbrich, R., & Hacker, P. (2024). AI, Climate, and Transparency: Operationalizing and Improving the AI Act. *arXiv*. Jerman. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.07471>
- Almeida, P. G. R. de, & Júnior, C. D. dos S. (2025). Artificial intelligence governance: Understanding how public organizations implement it. *Government Information Quarterly*, 42(1), 102003. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2024.102003>
- Anirwan, A., & Qamal, Q. (2023). Collective Action and Climate Change Adaptation in Makassar. *Journal of Government and Politics (JGOP)*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.31764/jgop.v5i1.13376>
- Antony, A., Sudirman, L., & Situmeang, A. (2026). Legal Research Methodology as a Critical Epistemological Framework for Legal Argumentation and Legal Development. *Barelang Journal of Legal Studies*, 4(1), 21–49. <https://doi.org/10.37253/barjoules.v4i1.12379>
- Bovens, M. (2007). Analysing and Assessing Accountability: A Conceptual Framework. *European Law Journal*, 13(4), 447–468. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0386.2007.00378.x>
- Branchini, B., & Acha, B. V. (2025). Use and application of artificial intelligence in public policy evaluation. An exploratory review. *Journal of Policy Evaluation*, 1, 114–133. <https://doi.org/10.4995/jpeval.2025.23837>
- Brand, D. (2022). Responsible Artificial Intelligence in Government: Development of a Legal Framework for South Africa. *JeDEM - eJournal of eDemocracy and Open Government*, 14(1), 130–150. <https://doi.org/10.29379/jedem.v14i1.678>
- Busscher, T., Vikstedt, E., Sinervo, L.-M., Luhtala, M., Laihonon, H., & Welinder, O. (2025). Integrating new institutional logics: sustainability and climate action in local government practices in Finland and Indonesia. *npj Climate Action*, 4(1), 95. <https://doi.org/10.1038/s44168-025-00303-9>
- Chairunnisa, L., Habibi, F., & Berthanila. (2023). Implementasi Kebijakan Keterbukaan Informasi Publik: Studi pada Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi Kota Serang. *Jurnal Ilmu Administrasi Negara AsIAN*, 11(2), 31–45. <https://doi.org/10.47828/jianaasian.v11i2.158>
- Cheong, B. C. (2024). Transparency and accountability in AI systems: safeguarding wellbeing in the age of algorithmic decision-making. *Frontiers in Human Dynamics*, 6, 1421273. <https://doi.org/10.3389/fhumd.2024.1421273>
- Cowls, J., King, T. C., Taddeo, M., & Floridi, L. (2019). Designing AI for Social Good: Seven Essential Factors. *SSRN Electronic Journal*. Social Science Research Network (SSRN). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3388669>
- Desmiwati, D., Purnomo, A., Tojen, M. A. R., Suryani, T. B., Kusrini, E., Darwanto, D., ... Maryono, M. (2025). Management of Climate Change Funding in Jambi Province: A Study on Strengthening Regulations and Governance of the BioCarbon Fund Initiative for the Sustainable Forest Landscape (BioCF ISFL) Program. *Journal of Forest Economics*, 39(4), 357–385. <https://doi.org/10.1561/112.00000585>
- Direktorat Jenderal Strategi Ekonomi dan Fiskal. (2025). Pemerintah Tegaskan Komitmen

- Pembiayaan Iklim pada Climate Finance Day 2025. Diambil 2 September 2026, dari Kementerian Keuangan Republik Indonesia website: Laman resmi Kementerian Keuangan
- Disemadi, H. S. (2022). Lenses of Legal Research: A Descriptive Essay on Legal Research Methodologies. *Journal of Judicial Review*, 24(2), 289. <https://doi.org/10.37253/jjr.v24i2.7280>
- Drajati, N. S., Odilla, I. F., & Berlianty, A. N. (2025). The Potential for Greenwashing in Greenhouse Gas (GHG) Emission Offset Schemes in Indonesia's Forestry Sector. *Jurnal Bina Mulia Hukum*, 10(1), 33–49. <https://doi.org/10.24198/jbmh.v10i1.1947>
- Eguino, H., Delgado, R., Torres Pelaez, D., Loo-Kung, R., Rodríguez Ochoa, A., Galeano, J. J., & Samaniego, A. (2024). *Integrating Climate Action into Public Financial Management: Lessons from Paraguay and Costa Rica*. Washington, D. C. <https://doi.org/10.18235/0012966>
- Guariso, D., Guerrero, O. A., & Castañeda, G. (2023). Automatic SDG Budget Tagging: Building Public Financial Management Capacity through Natural Language Processing. *Data & Policy*, 5, e31. <https://doi.org/10.1017/dap.2023.28>
- Harjowiryo, M., Satrio, A. A., Widodo, R., & Prasetyo, T. D. (2024). Successful Cooperation between the Ministry of Finance and Local Governments for Implementing Regional Financial Management: Key Factors. *TRANSFORMASI: Jurnal Manajemen Pemerintahan*, 16(2), 106–121. <https://doi.org/10.33701/jtp.v16i2.4091>
- Hasnita, S. S., & Salomo, R. V. (2025). Policy Learning of One Data Indonesia for Supporting Data-Driven Policy. *Jurnal Administrasi dan Kebijakan Publik*, 10(1), 1–25. <https://doi.org/10.25077/jakp.10.1.1-25.2025>
- Hidayat, R., B, R. B., & Sion, H. (2025). Implementasi Kebijakan Integrasi Aplikasi Pengelolaan Keuangan Daerah Dalam Meningkatkan Kualitas Layanan Keuangan di Kabupaten Kotawaringin Barat. *Journal Publicuho*, 8(1), 471–492. <https://doi.org/10.35817/publicuho.v8i1.686>
- Ikhwan, Y. N., & Khairani, K. (2024). Kerangka Hukum Harmonisasi Peraturan Daerah Dalam Perspektif Teori Hirarki Perundang-Undangan. *Nagari Law Review*, 7(2), 401. <https://doi.org/10.25077/nalrev.v7i2.p401-419.2023>
- Indraprahasta, G. S., Amir, S., Nastiti, A., & Ufaira, R. (2025). Governing climate mitigation in a megacity: Tapping opportunities in the multi-level governance system? *Journal of Urban Affairs*, 47(6), 2240–2261. <https://doi.org/10.1080/07352166.2023.2274554>
- Jiang, Y., Pang, P. C.-I., Wong, D., & Kan, H. Y. (2023). Natural Language Processing Adoption in Governments and Future Research Directions: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 13(22), 12346. <https://doi.org/10.3390/app132212346>
- Kelana, M. A., & Fahlevvi, M. R. (2024). Manajemen Aplikasi SIPD di Inspektorat Provinsi Riau Dalam Perspektif George R. Terry. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 4(1), 19–35. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.379>
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2026a). *Rencana Induk Pemerintah Digital Nasional 2025–2045*. Jakarta. Diambil dari Situs resmi Bappenas/dokumen resmi
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2026b, Juli). *Bappenas Dukung Transformasi Tata Kelola dan Layanan Publik Berbasis Data melalui Rencana Induk Pemerintah Digital 2025–2045*. Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas.
- Kong, I., Janssen, M., & Bharosa, N. (2024). Realizing Quantum-Safe Information Sharing: Implementation and Adoption Challenges and Policy Recommendations for Quantum-Safe Transitions. *Government Information Quarterly*, 41(1), 101884. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2023.101884>
- Kroll, J. A., Huey, J., Barocas, S., Felten, E. W., Reidenberg, J. R., Robinson, D. G., & Yu, H. (2022). Accountable Algorithms. *University of Pennsylvania Law Review*, 165(3), 633–705.
- Kumala, M. P. W. D., & Adiyah, E. P. I. (2026). Analisis Proporsi dan Konsistensi Anggaran Ruang Terbuka Hijau dalam APBD Kota Surabaya melalui Perspektif Green Budgeting. *Indonesian Journal of Multidisciplinary on Social and Technology*, 4(2), 1378–1384. <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2.9675>

- Kurniawan, P. S., & Astawa, I. G. P. B. (2025). Carbon emission disclosure in public sector organisations: Preliminary reporting framework. *Jurnal Akuntansi Multiparadigma*, 16(1), 1–17. <https://doi.org/10.21776/ub.jamal.2025.16.1.01>
- Kurrohman, T., & Oktaviani, S. A. (2025). Strengthening Local Government's Role in Implementing Sustainable Budgeting Through Environment-Based Budgeting in Indonesia. *EKUITAS (Jurnal Ekonomi dan Keuangan)*, 9(3), 460–476. <https://doi.org/10.24034/j25485024.y2025.v9.i3.7196>
- Lewis, B. D. (2023). Indonesia's New Fiscal Decentralisation Law: A Critical Assessment. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 59(1), 1–28. <https://doi.org/10.1080/00074918.2023.2180838>
- Liu, X., Bagchi, T., Sy, C. L., & Gao, H. O. (2026). A blockchain-based carbon registry platform for credible climate action in transportation. *npj Climate Action*, 5(1), 23. <https://doi.org/10.1038/s44168-026-00342-w>
- Madjid, U., Kawuryan, M. W., Averus, A., & Triyanto, T. (2024). Communication in Digital-Based Public Services in Regional Government of West Java Province. *TRANSFORMASI: Jurnal Manajemen Pemerintahan*, 16(1), 48–61. <https://doi.org/10.33701/jtp.v16i1.3778>
- Maulidiyah, S., & Akhmadi, M. H. (2024). Penerapan Climate Budget Tagging Menuju Penggunaan Anggaran yang Berkelanjutan. *Sosio e-Kons*, 16(2), 112. <https://doi.org/10.30998/sosioekons.v16i2.23178>
- Megawati, S., Alfari, M., & Syamsul, M. R. (2024). Key Advantages of the Green Government Initiative in Achieving Local Public Service Performance and Sustainable Development. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 19(11), 4361–4375. <https://doi.org/10.18280/ijdp.191124>
- Mello, L. de, & Ter-Minassian, T. (2024). Subnational Investments in Mitigation and Adaptation to Climate Change: Some Financing and Governance Issues. *Public Finance and Management*, 23(3), 113–131. <https://doi.org/10.1177/15239721241259570>
- Mergel, I., Dickinson, H., Stenvall, J., & Gasco, M. (2023). Implementing AI in the public sector. *Public Management Review*, 1(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/14719037.2023.2231950>
- Mukhlis, M., & Yulianto, Y. (2025). Managing Institutional Inclusiveness in Collaborative Governance Climate Change Adaptation Policy in Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 20(10), 4203–4214. <https://doi.org/10.18280/ijdp.201012>
- Naswar, N., Ilmar, A., Mukhlis, M. M., Achmad, A., & Khalid, R. M. (2024). Exploring SDGs Regulatory Frameworks and Regional Regulation for Climate Change Mitigation and Adaptive Resilience in Coastal Communities. *Jurnal IUS Kajian Hukum dan Keadilan*, 12(3), 572–587. <https://doi.org/10.29303/ius.v12i3.1543>
- Nihayah, D. M., & Diastuti, R. (2023). The Role of Green Budgeting on Environmental Quality on Indonesia. *Economics Development Analysis Journal*, 12(2), 217–230. <https://doi.org/10.15294/edaj.v12i2.68929>
- Novikasari, S. R. (2023). Kewenangan Pemerintah Pusat dan Daerah dalam Kerangka Green Tax Reform. *Jurnal Hukum Ius Quia Iustum*, 30(3), 497–514. <https://doi.org/10.20885/iustum.vol30.iss3.art2>
- OECD. (2024). Beyond Green Tagging: How Can Public Budgeting Support Climate Goals? *OECD Journal on Budgeting*, 2024(6). <https://doi.org/10.1787/b154d49b-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). *Green Budgeting in OECD Countries 2024*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9aea61f0-en>
- Pindiriri, C., & Kwaramba, M. (2024). Climate Finance in Developing Countries: Green Budget Tagging and Resource Mobilization. *Climate Policy*, 24(7), 894–908. <https://doi.org/10.1080/14693062.2024.2302325>
- Pradana, B. D., Akbar, B., Lukman, S., & Kusworo. (2024). The Impact of Risk Management Implementation on the Effectiveness of SAI's Internal Audit Function. *Jurnal Tata Kelola dan Akuntabilitas Keuangan Negara*, 10(2), 143–160. <https://doi.org/10.28986/jtaken.v10i2.1614>
- Purnama, N. M. A., Aini, R. F. N., Sugiarto, C. C., & Putri, M. E. S. (2025). Evaluasi kesiapan dan

- tantangan implementasi pajak karbon di indonesia dalam perspektif keadilan iklim dan pembangunan berkelanjutan. *Menulis: Jurnal Penelitian Nusantara*, 1(6), 1180–1181. <https://doi.org/10.59435/menulis.v1i6.496>
- Rasyidi, M. A., & Setiya, T. (2026). Carbon Accountability in Indonesia's State-Owned Assets Management. *Signifikan: Jurnal Ilmu Ekonomi*, 15(1), 191–206. <https://doi.org/10.15408/sjie.v15i1.46638>
- Rinjani, M. A., & Firmansyah, R. (2025). Hambatan Implementasi UU 27/2022 dan Strategi Penguatan Perlindungan Data Pribadi di Indonesia. *Jurnal Analisis Hukum*, 8(1), 70–83. <https://doi.org/10.38043/jah.v8i1.6793>
- Romppanen, S. (2024). *The Role of Subnational Authorities' Climate Action in Transition to Zero Carbon Societies*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26604-1_32
- Shishlov, I., & Censkowsky, P. (2022). Definitions and Accounting of Climate Finance: Between Divergence and Constructive Ambiguity. *Climate Policy*, 22(6), 798–816. <https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2080634>
- Sihotang, G. N. (2025). Kontribusi Aktor Nonnegara terhadap Lingkungan Global dalam Perdagangan Karbon melalui Penerapan Sistem Registri Nasional-Pengendalian Perubahan Iklim di Indonesia (SRN-PPI). *Padjajaran Journal of International Relations*, 7(2), 137–153. <https://doi.org/10.24198/padjir.v7i2.62312>
- Soeharso, S. Y., Sufiarina, S., Chaniago, J., & Nursyamsudin, N. (2025). Recommendations For Carbon Economic Value Governance Regulation: A Normative Analysis Of Carbon Trading In Indonesia. *Legal Brief*, 14(2), 205–212. <https://doi.org/10.35335/legal.v14i2.1282>
- Straub, V. J., Morgan, D., Bright, J., & Margetts, H. (2023). Artificial Intelligence in Government: Concepts, Standards, and a Unified Framework. *Government Information Quarterly*, 40(4), 101881. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2023.101881>
- Surya, I., & Wahab, A. (2023). Harmonisasi Peraturan Perundang-Undangan Dalam Mewujudkan Pemerintahan yang Baik. *Jurnal Kompilasi Hukum*, 8(2), 108–117. <https://doi.org/10.29303/jkh.v8i2.142>
- Tan, D. (2021). Metode Penelitian Hukum: Mengupas Dan Mengulas Metodologi Dalam Menyelenggarakan Penelitian Hukum. *Nusantara: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, 8(8), 2463–2478. Diambil dari <http://jurnal.um-tapsel.ac.id/index.php/nusantara/article/view/5601/3191>
- Thornbush, M., & Govind, A. (2025). Monitoring, Reporting, and Verification (MRV) Protocols Used in Carbon Trading Applied to Dryland Nations in the Global South for Climate Change Mitigation. *Sustainability*, 17(24), 11001. <https://doi.org/10.3390/su172411001>
- UNICEF Indonesia. (2025). *Leveraging Gen-AI for Budget Tagging on Children Rights in Indonesia*. UNICEF Indonesia.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2025). *Second Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia*. Jakarta. Diambil dari UNFCCC official document
- Wahyuni, H., Mutiarin, D., Pribadi, U., Ismail, N. S. A., Priyo Purnomo, E., & Kumorotomo, W. (2024). Maturity of Data Interoperability Cross-Organizations in Supporting The Concept of One Employment Data At The Ministry and Regional Government Levels. *Cogent Social Sciences*, 10(1), 2407936. <https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2407936>
- Xing, F. (2024). Designing Heterogeneous LLM Agents for Financial Sentiment Analysis. *ACM Computing Surveys*, 16(1), 1–24. <https://doi.org/10.1145/3688399>
- Yusmita, F., & Kurniawan, A. (2026). Unveiling Digital Transparency: Internet-Based Financial Reporting Disclosure by Indonesian Local Governments. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 6(1), 150–157. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v6i1.8443>
- Yuwono, B. (2025). Green Accounting dalam Kebijakan Fiskal Pemerintah: Studi Analisis atas Anggaran Berbasis Lingkungan. *Transparansi: Jurnal Ilmiah Ilmu Administrasi*, 8(1), 7–13. <https://doi.org/10.31334/transparansi.v8i1.4793>