

Tata Kelola ESG Berbasis Algoritma: Mitigasi Risiko *Tech-Washing* dalam Transformasi Digital Perusahaan Pertambangan dan Energi

¹Satryo Sasono, ²Dhefriyan Hassan Maulana

¹Faculty of Law, Universitas Sebelas Maret, Indonesia. ²Social Development and Welfare Department, Universitas Gadjah Mada, Indonesia.

Corresponding Author: s4tryosasono@gmail.com

Received: January 12, 2026 | Published: June 30, 2026

Abstract: This article examines tech-washing in algorithmic ESG reporting, where mining and energy companies use digital terminology, including artificial intelligence, blockchain, and the Internet of Things, to project innovative sustainability governance while actual implementation and environmental benefits remain unverifiable. It assesses Indonesian corporate and capital market regulation and proposes legal reconstruction to reduce information asymmetry and prevent pseudo-legitimacy in ESG disclosure. Using empirical legal research with a sequential mixed-methods design, this study combines quantitative content analysis of sustainability reports and ESG indicators from 21 Indonesia Stock Exchange listed companies during 2021–2025 with qualitative normative-comparative analysis of POJK No. 51/POJK.03/2017 and the draft RPOJK 2026 against IFRS S1/S2, ISSA 5000, the EU Corporate Sustainability Reporting Directive, AI Act, and recent SEC climate disclosure rescission. The findings show that Indonesia’s framework requires disclosure submission but lacks clear verification standards for technology-based ESG claims, independent assurance, director liability for misleading digital representations, and a digital green taxonomy. The article argues that the draft RPOJK should require algorithmic ESG auditing by accredited technical experts, reinforce director liability through strict liability and reverse burden of proof, and incorporate Digital-Driven Sustainable Activities into the Indonesian Taxonomy for Sustainable Finance to ensure measurable and verifiable ESG claims.

Keywords: Tech-washing, ESG Reporting, Algorithmic Audit

Abstrak: Artikel ini mengkaji praktik “*tech-washing*” dalam pelaporan ESG berbasis algoritma, di mana perusahaan pertambangan dan energi menggunakan terminologi digital termasuk kecerdasan buatan, blockchain, dan *Internet of Things* untuk menampilkan citra tata kelola keberlanjutan yang inovatif, padahal implementasi aktual dan manfaat lingkungannya tetap tidak dapat diverifikasi. Artikel ini mengevaluasi regulasi korporasi dan pasar modal Indonesia serta mengusulkan rekonstruksi hukum untuk mengurangi asimetri informasi dan mencegah pseudo-legitimasi dalam pengungkapan ESG. Dengan menggunakan penelitian hukum empiris berdesain campuran sekuensial, studi ini menggabungkan analisis konten kuantitatif terhadap laporan keberlanjutan dan

indikator ESG dari 21 perusahaan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia selama periode 2021–2025 dengan analisis kualitatif normatif-komparatif terhadap POJK No. 51/POJK.03/2017 dan rancangan RPOJK 2026 dibandingkan dengan IFRS S1/S2, ISSA 5000, Direktif Pelaporan Keberlanjutan Korporasi Uni Eropa, Undang-Undang Kecerdasan Buatan (AI Act), serta pencabutan persyaratan pengungkapan iklim oleh SEC baru-baru ini. Temuan menunjukkan bahwa kerangka kerja Indonesia mewajibkan pengajuan pengungkapan, namun tidak memiliki standar verifikasi yang jelas untuk klaim ESG berbasis teknologi, jaminan independen, pertanggungjawaban direksi atas representasi digital yang menyesatkan, serta taksonomi hijau digital. Artikel ini berpendapat bahwa rancangan RPOJK harus mewajibkan audit ESG algoritmik oleh ahli teknis terakreditasi, memperkuat pertanggungjawaban direksi melalui pertanggungjawaban mutlak dan pembalikan beban pembuktian, serta memasukkan Kegiatan Berkelanjutan yang Didorong oleh Teknologi Digital ke dalam Taksonomi Keuangan Berkelanjutan Indonesia guna memastikan klaim ESG yang dapat diukur dan diverifikasi.

Kata Kunci: *Tech-washing*, Pelaporan ESG, Audit Algoritmik.

1. Pendahuluan

Transformasi digital dalam tata kelola korporasi mengubah cara perusahaan menyusun, memverifikasi, dan menyampaikan informasi keberlanjutan kepada publik.¹ Pada sektor pertambangan dan energi, perubahan tersebut tampak melalui penggunaan teknologi seperti *Internet of Things* untuk pemantauan emisi, *blockchain* untuk pelacakan rantai pasok, *artificial intelligence* untuk efisiensi energi, *remote sensing* untuk pengawasan area operasi, serta *dashboard* ESG yang diklaim mampu menyajikan data keberlanjutan secara real-time.² Pergeseran ini memperluas makna pelaporan *Environmental, Social, and Governance* (ESG), dari dokumen kepatuhan administratif menjadi instrumen komunikasi pasar yang memengaruhi persepsi investor, regulator, kreditor, konsumen, dan masyarakat terdampak.³ Namun, intensitas penggunaan istilah digital dalam laporan keberlanjutan tidak selalu bergerak sejajar dengan kualitas kinerja lingkungan dan tata kelola perusahaan. Artikel ini menempatkan persoalan *tech-washing*, yaitu praktik penggunaan klaim teknologi dalam pengungkapan ESG untuk membangun citra inovatif dan bertanggung jawab, sementara implementasi teknis, manfaat lingkungan, atau bukti pengukuran kinerjanya belum dapat diuji secara memadai.⁴

Isu utama tidak berhenti pada keberadaan laporan keberlanjutan, melainkan pada kemungkinan adanya korelasi negatif antara tingginya jargon teknologi dalam *sustainability report* dengan kinerja lingkungan aktual dan skor tata kelola perusahaan. Objek awal diarahkan pada perusahaan pertambangan dan energi yang tercatat di Bursa Efek Indonesia, karena sektor ini memiliki risiko lingkungan tinggi,

¹ Xiaoxia Zhao and Lianghui Cai, "Digital Transformation and Corporate ESG: Evidence from China," *Finance Research Letters* 58 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104310>.

² Ricardo Vinuesa et al., "The Role of Artificial Intelligence in Achieving the Sustainable Development Goals," in *Nature Communications*, vol. 11, no. 1, preprint, 2020, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>; Lucie Sislian and Anicia Jaegler, "Linkage of Blockchain to Enterprise Resource Planning Systems for Improving Sustainable Performance," *Business Strategy and the Environment* 31, no. 3 (2022), <https://doi.org/10.1002/bse.2914>; Giuseppe Lanfranchi, Antonio Crupi, and Fabrizio Cesaroni, "Internet of Things (IoT) and the Environmental Sustainability: A Literature Review and Recommendations for Future Research," in *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, vol. 32, no. 6, preprint, 2025, <https://doi.org/10.1002/csr.70098>.

³ Ali Fatemi, Martin Glaum, and Stefanie Kaiser, "ESG Performance and Firm Value: The Moderating Role of Disclosure," *Global Finance Journal* 38 (2018), <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2017.03.001>.

⁴ Ellen Pei yi Yu, Bac Van Luu, and Catherine Huirong Chen, "Greenwashing in Environmental, Social and Governance Disclosures," *Research in International Business and Finance* 52 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101192>.

tekanan kepatuhan besar, dan insentif reputasional untuk menampilkan diri sebagai entitas yang sedang bertransformasi menuju bisnis rendah karbon. Pemetaan tersebut juga menempatkan tech-washing sebagai bentuk asimetri informasi, ketika direksi atau manajemen memiliki pengetahuan lebih besar mengenai kondisi internal perusahaan dibandingkan investor dan publik, lalu menggunakan kompleksitas bahasa teknologi untuk menutupi rendahnya substansi implementasi digital.

Asimetri informasi menjadi pintu masuk penting karena pasar modal bekerja melalui kepercayaan atas informasi yang disampaikan emiten. Akerlof menjelaskan bahwa ketimpangan informasi dapat menurunkan kualitas keputusan pasar karena pihak luar tidak memiliki kemampuan memadai untuk membedakan informasi berkualitas dari informasi yang menyesatkan.⁵ Pemisahan kepemilikan dan pengendalian menciptakan biaya keagenan ketika manajemen memiliki ruang untuk bertindak tidak sepenuhnya sejalan dengan kepentingan pemegang saham.⁶ Apabila informasi ESG disusun dengan bahasa teknologi yang sulit diverifikasi, investor menghadapi dua lapis kesulitan praktis: memahami kebenaran klaim digital dan menilai apakah klaim tersebut benar-benar berdampak pada penurunan risiko lingkungan, peningkatan kepatuhan, atau perbaikan tata kelola.

Problem tersebut semakin serius karena ESG tidak hanya menjadi isu etika korporasi, tetapi telah masuk ke dalam ekosistem pengambilan keputusan investasi. *ESG score*, *sustainability report*, *carbon disclosure*, dan reputasi hijau perusahaan dapat memengaruhi akses pembiayaan, biaya modal, hubungan dengan kreditor, serta nilai perusahaan. Penilaian ESG antarlembaga pemeringkat dapat berbeda karena variasi ruang lingkup, metode pengukuran, dan pembobotan indikator.⁷ Temuan tersebut memberi peringatan bahwa ESG bukan kategori yang selalu stabil dan objektif. Jika ESG rating saja dapat mengalami perbedaan metodologis, maka klaim teknologi dalam laporan keberlanjutan membutuhkan kehati-hatian yang lebih tinggi, terutama ketika perusahaan menyebut penggunaan AI, sensor, atau

⁵ George A. Akerlof, "The Market for 'Lemons': Quality Uncertainty and the Market Mechanism," in *Quarterly Journal of Economics*, vol. 84, no. 3, preprint, 1970, <https://doi.org/10.2307/1879431>.

⁶ Michael C. Jensen and William H. Meckling, "Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure," *Journal of Financial Economics* 3, no. 4 (1976), [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X).

⁷ Florian Berg, Julian F. Kölbel, and Roberto Rigobon, "Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings*," *Review of Finance* 26, no. 6 (2022), <https://doi.org/10.1093/rof/rfac033>.

blockchain tanpa membuka metode pengukuran, cakupan data, audit trail, dan pembuktian dampaknya.

Delmas dan Burbano menjelaskan bahwa perusahaan dapat menyampaikan klaim lingkungan yang tidak sejalan dengan kinerja aktual karena adanya tekanan pasar, tekanan kelembagaan, dan insentif reputasional.⁸ Lyon dan Maxwell menambahkan bahwa perusahaan dapat melakukan pengungkapan selektif dengan menonjolkan informasi positif dan menahan informasi negatif ketika risiko audit atau pengawasan masih terbatas.⁹ *Tech-washing* bergerak pada jalur yang sama, tetapi dengan medium yang lebih kompleks. Dalam greenwashing konvensional, perusahaan dapat melebih-lebihkan komitmen lingkungan. Dalam tech-washing, perusahaan dapat melebih-lebihkan kemampuan teknologi, kualitas data, atau efektivitas sistem digital untuk memberi kesan bahwa seluruh persoalan lingkungan telah ditangani melalui inovasi. Pengungkapan selektif juga memperoleh penjelasan kuat dari Marquis, Toffel, dan Zhou yang menunjukkan bahwa perusahaan dapat menyajikan informasi lingkungan secara parsial untuk membangun kesan transparansi, sekalipun informasi yang disampaikan tidak mencerminkan keseluruhan dampak lingkungan perusahaan.¹⁰ Dalam sektor pertambangan dan energi, risiko semacam ini tidak dapat dianggap kecil karena aktivitas usaha berhubungan langsung dengan emisi, limbah, perubahan bentang alam, konflik sosial, dan pemulihan lingkungan. Ketika perusahaan menyatakan telah memakai IoT untuk memantau emisi, pertanyaan hukumnya bukan hanya apakah sistem itu ada, tetapi apakah sistem tersebut bekerja, apakah data tersimpan secara dapat diaudit, apakah hasilnya dilaporkan secara utuh, dan apakah informasi itu memengaruhi keputusan investor secara material.

Legitimasi merupakan persepsi umum bahwa tindakan suatu entitas sesuai dengan sistem norma, nilai, dan keyakinan sosial yang berlaku.¹¹ Pelaporan lingkungan dapat digunakan sebagai alat legitimasi, terutama ketika perusahaan

⁸ Magali A. Delmas and Vanessa Cuerel Burbano, "The Drivers of Greenwashing," in *California Management Review*, vol. 54, no. 1, preprint, 2011, <https://doi.org/10.1525/cm.2011.54.1.64>.

⁹ Thomas P. Lyon and John W. Maxwell, "Greenwash: Corporate Environmental Disclosure under Threat of Audit," *Journal of Economics and Management Strategy* 20, no. 1 (2011), <https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2010.00282.x>.

¹⁰ Christopher Marquis, Michael W. Toffel, and Yanhua Zhou, "Scrutiny, Norms, and Selective Disclosure: A Global Study of Greenwashing," *Organization Science* 27, no. 2 (2016), <https://doi.org/10.1287/orsc.2015.1039>.

¹¹ Mark C. Suchman, "Managing Legitimacy: Strategic and Institutional Approaches," *Academy of Management Review* 20, no. 3 (1995), <https://doi.org/10.5465/amr.1995.9508080331>.

perlu mengelola persepsi publik atas kinerja lingkungannya.¹² Dalam konteks perusahaan tambang dan energi, legitimasi tidak lagi hanya diproduksi melalui pernyataan kepatuhan terhadap baku mutu lingkungan, tetapi juga melalui penampilan sebagai perusahaan digital, efisien, cerdas, dan responsif terhadap agenda transisi energi. Namun, legitimasi berbasis teknologi dapat menjadi semu apabila tidak diikuti verifikasi. Hummel dan Schlick menjelaskan bahwa hubungan antara kinerja keberlanjutan dan pengungkapan keberlanjutan tidak selalu sederhana karena teori pengungkapan sukarela dan teori legitimasi dapat menghasilkan logika yang berbeda.¹³ Pentingnya membedakan antara pengungkapan lingkungan dan kinerja lingkungan karena keduanya tidak otomatis identik.¹⁴ Perusahaan dengan laporan keberlanjutan yang rapi belum tentu memiliki kinerja lingkungan yang baik, terlebih apabila laporan tersebut dipenuhi istilah teknologi tanpa indikator yang dapat diuji. Artinya, kualitas pengungkapan harus dinilai melalui bukti, bukan sekadar volume narasi atau kecanggihan istilah.

OJK tengah melakukan revisi atas POJK 51/2017 melalui proses konsultasi publik yang berlangsung pada tahun 2025-2026. Revisi ini dirancang sebagai regulasi payung lintas sektor bagi seluruh pelaku jasa keuangan, emiten, dan perusahaan publik, dengan mengusung pendekatan *climate-first* melalui dua perspektif materialitas: *outside-in* dampak risiko iklim terhadap Perusahaan dan *inside-out* dampak perusahaan terhadap iklim.

Di Indonesia, kewajiban pelaporan keberlanjutan telah memperoleh dasar melalui Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Nomor 51/POJK.03/2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan bagi Lembaga Jasa Keuangan, Emiten, dan Perusahaan Publik. Ketentuan ini mengikat lembaga jasa keuangan, emiten, dan perusahaan publik untuk menerapkan prinsip keuangan berkelanjutan serta menyampaikan laporan keberlanjutan. OJK juga menerbitkan Surat Edaran Otoritas Jasa Keuangan Nomor 16/SEOJK.04/2021 tentang Bentuk dan Isi Laporan Tahunan

¹² Charles H. Cho and Dennis M. Patten, "The Role of Environmental Disclosures as Tools of Legitimacy: A Research Note," *Accounting, Organizations and Society* 32, nos. 7-8 (2007), <https://doi.org/10.1016/j.aos.2006.09.009>.

¹³ Katrin Hummel and Christian Schlick, "The Relationship between Sustainability Performance and Sustainability Disclosure – Reconciling Voluntary Disclosure Theory and Legitimacy Theory," *Journal of Accounting and Public Policy* 35, no. 5 (2016), <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2016.06.001>.

¹⁴ Peter M. Clarkson et al., "Revisiting the Relation between Environmental Performance and Environmental Disclosure: An Empirical Analysis," *Accounting, Organizations and Society* 33, nos. 4-5 (2008), <https://doi.org/10.1016/j.aos.2007.05.003>.

Emiten atau Perusahaan Publik yang memasukkan laporan keberlanjutan ke dalam konstruksi laporan tahunan emiten. Prihandono dan Yuniarti menjelaskan bahwa standar pelaporan keberlanjutan Indonesia masih perlu diperkuat agar lebih selaras dengan kebutuhan investor global terhadap informasi ESG yang andal, sebanding, dan dapat dipertanggungjawabkan.¹⁵ Perkembangan terbaru menunjukkan bahwa kerangka pengaturan Indonesia mulai bergerak menuju penguatan tata kelola pasar modal dan data ESG. Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Nomor 45 Tahun 2024 tentang Pengembangan dan Penguatan Emiten dan Perusahaan Publik diterbitkan sebagai tindak lanjut Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2023 tentang Pengembangan dan Penguatan Sektor Keuangan, sedangkan OJK juga menerbitkan Taksonomi untuk Keuangan Berkelanjutan Indonesia Versi 2 pada 2025 dan Versi 3 pada 2026. Bursa Efek Indonesia pada 22 Januari 2025 meluncurkan IDX ESG Reporting/ESG Metrics Reporting yang dapat diisi emiten melalui Form E020 pada sistem keterbukaan informasi. Instrumen-instrumen tersebut memperlihatkan kemajuan penting, tetapi belum secara spesifik mengatur audit atas klaim teknologi dalam pelaporan ESG. Celah ini menjadi ruang analisis utama artikel ini.

Di sinilah gagasan algorithmic ESG reporting memperoleh posisi penting. Mökander dan Floridi menjelaskan bahwa audit berbasis etika terhadap AI dapat dipakai sebagai mekanisme tata kelola untuk menilai kesesuaian perilaku sistem dengan prinsip atau norma yang relevan.¹⁶ Cheong menegaskan bahwa persoalan transparansi dan akuntabilitas AI muncul karena sistem algoritmik sering sulit dijelaskan, sementara dampaknya dapat memengaruhi kepentingan individu dan masyarakat.¹⁷ Argumentasi tersebut dapat dipindahkan ke pelaporan ESG berbasis teknologi. Apabila perusahaan menggunakan AI atau sistem otomatis untuk menghitung emisi, mengukur efisiensi energi, atau memantau rantai pasok, maka hukum harus mampu menilai bukan hanya hasil akhir laporan, tetapi juga cara data dihasilkan.

Uni Eropa, melalui *Corporate Sustainability Reporting Directive* (CSRD) yang

¹⁵ Iman Prihandono and Dewi S. Yuniarti, "Indonesia Sustainability Reporting Standard: What Needs to Be Improved?," *Padjadjaran Journal of International Law* 7, no. 1 (2023), <https://doi.org/10.23920/pjil.v7i1.1159>.

¹⁶ Jakob Mökander and Luciano Floridi, "Ethics-Based Auditing to Develop Trustworthy AI," in *Minds and Machines*, vol. 31, no. 2, preprint, 2021, <https://doi.org/10.1007/s11023-021-09557-8>.

¹⁷ Ben Chester Cheong, "Transparency and Accountability in AI Systems: Safeguarding Wellbeing in the Age of Algorithmic Decision-Making," *Frontiers in Human Dynamics* 6 (2024), <https://doi.org/10.3389/fhumd.2024.1421273>.

mulai berlaku sejak 1 Januari 2024, mewajibkan perusahaan untuk menerapkan konsep *double materiality* yang terdiri dari *impact materiality* dan *financial materiality*. CSRD juga mewajibkan *assurance* (jaminan) pihak ketiga yang independen atas informasi keberlanjutan yang dilaporkan, dengan transisi dari *limited assurance* menuju *reasonable assurance*. Pendekatan ini secara tidak langsung memaksa perusahaan untuk membuktikan klaim teknologi mereka secara substantif, karena setiap klaim harus dapat diverifikasi oleh auditor independen yang kompeten. Di sisi lain, Amerika Serikat melalui SEC sempat mengeluarkan aturan pengungkapan iklim pada Maret 2024 yang mewajibkan pengungkapan risiko iklim yang material dan emisi gas rumah kaca, meskipun aturan ini kemudian menghadapi tantangan hukum dan proses pencabutan pada tahun 2026. Dinamika ini menunjukkan bahwa secara politik, pengawasan ESG di AS sedang mengalami kemunduran, sementara Eropa justru bergerak maju dengan kerangka regulasi yang semakin ketat.

Kesenjangan antara praktik *tech-washing* di Indonesia dan kelemahan regulasi yang ada menciptakan urgensi untuk melakukan kajian hukum yang mendalam. Pertanyaan sentral yang perlu dijawab adalah: bagaimana hukum perseroan dan regulasi pasar modal dapat mendeteksi dan mencegah manipulasi tata kelola melalui *tech-washing* dalam pelaporan ESG di sektor pertambangan dan energi? Pertanyaan ini menjadi semakin relevan mengingat sektor pertambangan dan energi merupakan sektor dengan dampak lingkungan terbesar sekaligus sektor yang paling gencar mengklaim adopsi teknologi digital dalam operasional mereka.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan riset hukum empiris (*empirical legal research*) dengan pendekatan campuran (*mixed methods*) yang mengintegrasikan metode kuantitatif dan kualitatif secara sekuensial. Pendekatan ini dipilih karena fenomena *tech-washing* tidak dapat dipahami secara utuh hanya melalui telaah normatif semata, melainkan memerlukan pembuktian empiris atas keberadaan praktik tersebut di lapangan sekaligus analisis kritis terhadap kerangka regulasi yang mengaturnya. Data primer penelitian diperoleh dari *sustainability report*, *annual report*, ESG metrics, laporan keterbukaan informasi, dan dokumen publik perusahaan sektor pertambangan serta energi yang tercatat di Bursa Efek Indonesia

periode 2021–2025. Periode tersebut dipilih karena relevan dengan penerapan Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Nomor 51/POJK.03/2017, Surat Edaran Otoritas Jasa Keuangan Nomor 16/SEOJK.04/2021, serta perkembangan pelaporan ESG melalui Bursa Efek Indonesia. Data sekunder diperoleh dari peraturan perundang-undangan, dokumen OJK, standar internasional seperti GRI Standards, IFRS S1, IFRS S2, ISSA 5000, serta artikel ilmiah nasional dan internasional tentang ESG disclosure, greenwashing, assurance, asimetri informasi, dan audit algoritmik.

Analisis dilakukan melalui content analysis secara sistematis. Setiap laporan perusahaan dikodekan berdasarkan frekuensi istilah teknologi, seperti *artificial intelligence*, *blockchain*, *Internet of Things*, *real-time monitoring*, *digital dashboard*, *automation*, dan *traceability*. Pendekatan ini sejalan dengan Clarkson et al. bahwa pengungkapan lingkungan harus dibedakan dari kinerja lingkungan aktual.¹⁸ Analisis hukum dilakukan dengan menilai apakah klaim teknologi dalam laporan ESG telah memenuhi prinsip materialitas, transparansi, keterlacakan, dan akuntabilitas direksi. Hasil analisis kemudian digunakan untuk merumuskan rekonstruksi hukum berupa *algorithmic ESG audit*, *digital claim materiality test*, dan penguatan tanggung jawab direksi atas informasi keberlanjutan yang menyesatkan.

3. *Tech-Washing* dalam *Algorithmic ESG Reporting*: Asimetri Informasi dan Legitimasi Semu pada Perusahaan Pertambangan dan Energi

Perkembangan teknologi digital seperti IoT, AI, dan *blockchain* menawarkan potensi besar bagi peningkatan akurasi dan transparansi pelaporan ESG. IoT memungkinkan pemantauan emisi secara *real-time*, *blockchain* menyediakan jejak audit yang tidak dapat diubah (*immutable*), sementara AI dapat mendeteksi anomali dan mengidentifikasi potensi *greenwashing*. Mansour (2026) dalam sistematik review terhadap 42 studi menemukan bahwa ketiga teknologi ini dapat meningkatkan pengukuran, pelaporan, dan verifikasi (MRV) dampak lingkungan serta mendeteksi *greenwashing* melalui data alternatif.¹⁹ Namun, di balik potensi

¹⁸ Clarkson et al., “Revisiting the Relation between Environmental Performance and Environmental Disclosure: An Empirical Analysis.”

¹⁹ Nadia Mansour, “Augmented Finance for Climate Action: A Systematic Review of AI, IoT, and Blockchain Applications in Sustainable Finance,” in *International Journal of Financial Studies*, vol. 14, no. 4, preprint,

tersebut, terdapat risiko paradoksal karena teknologi yang seharusnya meningkatkan transparansi justru dapat menjadi instrumen baru untuk mengaburkan kinerja riil perusahaan apabila tidak disertai standar verifikasi dan tata kelola algoritmik yang memadai.²⁰ Kurangnya pedoman umum, ketidakjelasan proses algoritmik, keterbatasan tata kelola data, dan keterlambatan respons regulasi membuat pemanfaatan AI dalam pelaporan ESG sulit dipertanggungjawabkan, terutama ketika hasil analisis algoritmik tidak dapat dijelaskan, diaudit, dan ditelusuri secara independen.²¹

Perusahaan di sektor pertambangan dan energi menghadapi tekanan besar untuk menunjukkan kepatuhan terhadap agenda keberlanjutan. Tuntutan ini tidak hanya berasal dari regulasi pemerintah dan pasar modal, tetapi juga dari investor, kreditor, konsumen, masyarakat terdampak, dan lembaga pemeringkat ESG.²² Dalam situasi ini, laporan keberlanjutan bukan lagi sekadar dokumen pelengkap, melainkan alat komunikasi perusahaan yang memengaruhi persepsi risiko, reputasi, dan akses pendanaan.²³ Ketika perusahaan mulai mengklaim penggunaan teknologi seperti *artificial intelligence*, *Internet of Things*, *blockchain*, otomatisasi, dashboard digital, dan pemantauan secara *real-time*, laporan ESG membutuhkan kemampuan verifikasi yang lebih kompleks.²⁴ Teknologi digunakan untuk menciptakan citra efisiensi, transparansi, dan pengendalian risiko, namun sering kali tidak disertai

Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), April 1, 2026, <https://doi.org/10.3390/ijfs14040091>.

²⁰ Jiacheng Liu, Ye Yuan, and Zhelun Zhu, "The Role of Artificial Intelligence in Enhancing ESG Disclosure Quality in Accounting," *Journal of Risk and Financial Management* 19, no. 1 (2026), <https://doi.org/10.3390/jrfm19010058>; Valentina Lagasio, "ESG-Washing Detection in Corporate Sustainability Reports," *International Review of Financial Analysis* 96 (2024), <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103742>.

²¹ Inioluwa Deborah Raji et al., "Closing the AI Accountability Gap: Defining an End-to-End Framework for Internal Algorithmic Auditing," *FAT* 2020 - Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 2020, <https://doi.org/10.1145/3351095.3372873>; Cheong, "Transparency and Accountability in AI Systems: Safeguarding Wellbeing in the Age of Algorithmic Decision-Making."

²² Enrica Bolognesi et al., "Stakeholders and Regulatory Pressure on ESG Disclosure," *International Review of Financial Analysis* 103 (2025), <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2025.104145>; Astrid Rudyanto and Sylvia Veronica Siregar, "The Effect of Stakeholder Pressure and Corporate Governance on the Sustainability Report Quality," *International Journal of Ethics and Systems* 34, no. 2 (2018), <https://doi.org/10.1108/IJOES-05-2017-0071>.

²³ Dan S. Dhaliwal et al., "Voluntary Nonfinancial Disclosure and the Cost of Equity Capital: The Initiation of Corporate Social Responsibility Reporting," *Accounting Review* 86, no. 1 (2011), <https://doi.org/10.2308/accr.000000005>; Chunhua Luo, Dianlong Wei, and Feng He, "Corporate ESG Performance and Trade Credit Financing – Evidence from China," *International Review of Economics and Finance* 85 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.01.021>.

²⁴ Muhammad Asif, Cory Searcy, and Pavel Castka, "ESG and Industry 5.0: The Role of Technologies in Enhancing ESG Disclosure," *Technological Forecasting and Social Change* 195 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122806>.

penjelasan mengenai lokasi implementasi, metode pengukuran, kualitas data, cakupan emisi, audit sistem, atau dampak lingkungan yang sebenarnya. Menurut Delmas dan Burbano, greenwashing terjadi ketika ada jarak antara klaim lingkungan dan kinerja nyata perusahaan, terutama ketika tekanan pasar dan kelembagaan memberikan insentif reputasi bagi perusahaan untuk tampil lebih ramah lingkungan daripada kondisi sebenarnya.²⁵ Sementara itu, tech-washing menggunakan logika yang sama, namun mengusung bahasa teknologi sebagai pelindung baru untuk menciptakan kesan modern dan bertanggung jawab.

Tech-washing dapat dipahami sebagai penggunaan simbol, istilah, atau klaim teknologi dalam laporan ESG untuk menciptakan kesan bahwa perusahaan telah melakukan transformasi digital yang mendukung keberlanjutan. Praktik ini berbeda dari greenwashing biasa karena objek manipulasi tidak hanya berkaitan dengan klaim ramah lingkungan, tetapi juga klaim mengenai sistem digital yang dikatakan mampu mengukur, mengendalikan, atau memperbaiki kinerja ESG. Perusahaan dapat melakukan pengungkapan lingkungan secara strategis dengan menonjolkan informasi positif dan menahan informasi negatif, terlebih ketika ancaman audit belum cukup kuat.²⁶ Dalam laporan ESG berbasis algoritma, pola selektif itu dapat terjadi ketika perusahaan hanya menampilkan narasi kecanggihan teknologi tanpa membuka bukti kerja sistem.

Sektor pertambangan dan energi menjadi fokus utama karena karakter usaha mereka berdampak langsung terhadap lingkungan. Kegiatan seperti ekstraksi, pembukaan lahan, pengelolaan limbah, penggunaan energi, pengangkutan hasil tambang, dan pemulihan pascatambang secara erat berhubungan dengan emisi, kerusakan ekosistem, dan risiko sosial di daerah operasinya. Pengungkapan lingkungan berbeda dari kinerja lingkungan; perusahaan yang sering mengungkapkan informasi belum tentu menunjukkan kualitas kinerja yang sesuai dengan narasi tersebut.²⁷ Pemahaman akan perbedaan ini penting dalam menilai laporan keberlanjutan perusahaan tambang dan energi, yang semakin banyak menampilkan klaim teknologi sebagai bagian dari strategi komunikasi ESG.

Penggunaan teknologi dalam pelaporan ESG sebenarnya tidak bermasalah

²⁵ Delmas and Burbano, "The Drivers of Greenwashing."

²⁶ Lyon and Maxwell, "Greenwash: Corporate Environmental Disclosure under Threat of Audit."

²⁷ Clarkson et al., "Revisiting the Relation between Environmental Performance and Environmental Disclosure: An Empirical Analysis."

apabila didukung oleh data yang dapat diuji. IoT dapat membantu pemantauan emisi, sensor dapat memperkuat pengawasan kualitas air dan udara, *blockchain* dapat meningkatkan keterlacakan rantai pasok, dan AI dapat membantu analisis risiko operasional. Persoalan muncul ketika laporan perusahaan hanya menyebut penggunaan teknologi tanpa menjelaskan bagaimana sistem itu bekerja, siapa yang memverifikasi, data apa yang dikumpulkan, bagaimana data diolah, dan apakah hasilnya sejalan dengan kewajiban lingkungan. Dalam kondisi seperti itu, teknologi berubah dari alat akuntabilitas menjadi alat pengelolaan kesan. Informasi yang tidak seimbang menjadi dasar utama dalam menilai risiko tersebut. Akerlof menguraikan bahwa ketimpangan informasi dapat mengganggu kualitas pasar karena pihak luar tidak mampu membedakan antara informasi yang baik dan buruk.²⁸ Dalam pasar modal, investor bergantung pada keterbukaan informasi untuk menilai risiko dan prospek perusahaan. Kebutuhan tersebut muncul karena terdapat kesenjangan informasi antara manajemen sebagai pihak yang menguasai data internal perusahaan dan investor sebagai pihak eksternal yang mengambil keputusan berdasarkan informasi yang dipublikasikan.²⁹ Dalam konteks ESG, keterbukaan informasi dapat menurunkan asimetri informasi apabila laporan yang disampaikan memiliki kualitas, keterbandingan, dan kredibilitas yang memadai.³⁰

Namun, jika laporan ESG berisi klaim teknologi yang sulit diverifikasi, investor berada dalam posisi informasional yang lebih lemah karena mereka tidak dapat memastikan apakah klaim tersebut mencerminkan kinerja aktual, strategi keberlanjutan yang substantif, atau sekadar promosi korporasi yang menyerupai *greenwashing*.³¹

Ketimpangan informasi juga berhubungan dengan hubungan keagenan dalam perusahaan. Jensen dan Meckling menjelaskan bahwa pemisahan antara pemilik modal dan pengelola menciptakan masalah keagenan karena manajemen memiliki akses informasi yang lebih lengkap serta ruang diskresi dalam pengambilan

²⁸ Akerlof, "The Market for 'Lemons': Quality Uncertainty and the Market Mechanism."

²⁹ Paul M. Healy and Krishna G. Palepu, "Information Asymmetry, Corporate Disclosure, and the Capital Markets: A Review of the Empirical Disclosure Literature," *Journal of Accounting and Economics* 31, nos. 1-3 (2001), [https://doi.org/10.1016/S0165-4101\(01\)00018-0](https://doi.org/10.1016/S0165-4101(01)00018-0).

³⁰ Thomas J. Boulton, "Mandatory ESG Disclosure, Information Asymmetry, and Litigation Risk: Evidence from Initial Public Offerings," *European Financial Management* 30, no. 5 (2024), <https://doi.org/10.1111/eufm.12494>.

³¹ Yu, Luu, and Chen, "Greenwashing in Environmental, Social and Governance Disclosures"; Lagasio, "ESG-Washing Detection in Corporate Sustainability Reports."

keputusan dan penyampaian informasi.³² Dalam kerangka ESG, direksi dan manajemen mengetahui kondisi operasional, data emisi, tingkat kepatuhan lingkungan, dan efektivitas sistem digital yang digunakan. Sementara itu, investor, masyarakat terdampak, dan regulator hanya dapat melihat hasil akhir berupa laporan, grafik, narasi, serta klaim teknologi yang telah dikurasi oleh perusahaan.

Kondisi ini menunjukkan bahwa *tech-washing* tidak hanya jadi isu komunikasi perusahaan, tetapi juga menjadi masalah hukum di pasar modal. Laporan keberlanjutan dapat memengaruhi keputusan investasi, persepsi risiko, reputasi, dan akses ke pembiayaan hijau. Pelaporan non-keuangan yang berkualitas bisa menurunkan biaya modal, karena investor menganggap informasi tersebut sebagai sinyal risiko dan tata kelola.³³ Jika data ESG berbasis teknologi ternyata tidak bisa dibuktikan, pasar menerima sinyal yang tidak lengkap dan berpotensi menyesatkan. Di Indonesia, Peraturan OJK Nomor 51/POJK.03/2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan bagi LJK, Emiten, dan Perusahaan Publik memberikan dasar kewajiban penyusunan laporan keberlanjutan. Regulasi ini menjadikan keberlanjutan sebagai bagian dari tata kelola lembaga jasa keuangan, emiten, dan perusahaan publik, bukan hanya inisiatif sukarela. Surat Edaran OJK Nomor 16/SEOJK.04/2021 tentang Form dan Isi Laporan Tahunan Emiten atau Perusahaan Publik memperinci struktur laporan tahunan, termasuk penjelasan soal kinerja keberlanjutan. Namun, kerangka ini belum secara khusus menjelaskan bagaimana klaim teknologi dalam ESG harus diuji, diverifikasi, dan dipertanggungjawabkan.

Kekosongan ini akan semakin terasa seiring pengembangan *ESG Metrics Reporting* oleh Bursa Efek Indonesia pada 2025. Inisiatif ini penting karena meningkatkan keterbukaan data ESG emiten lewat sistem pelaporan yang lebih terstruktur. Namun, pengisian metrik tidak selalu menjamin keakuratan klaim terkait teknologi sebagai dasar pengukuran. Berg, Kölbel, dan Rigobon menunjukkan bahwa ESG rating dapat bervariasi secara signifikan karena perbedaan ruang lingkup, metode, dan bobot indikator.³⁴ Temuan ini menegaskan bahwa data ESG membutuhkan standar pengukuran yang cermat, terutama ketika data tersebut diklaim berasal dari sistem digital yang tidak diungkapkan rinciannya

³² Jensen and Meckling, "Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure."

³³ Dhaliwal et al., "Voluntary Nonfinancial Disclosure and the Cost of Equity Capital: The Initiation of Corporate Social Responsibility Reporting."

³⁴ Berg, Kölbel, and Rigobon, "Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings*."

kepada publik.

Laporan ESG perusahaan tambang dan energi sering memosisikan teknologi sebagai bukti modernisasi tata kelola. Perusahaan dapat menyatakan telah memakai sistem digital untuk memantau konsumsi energi, mengawasi emisi, mengelola keselamatan kerja, atau memastikan rantai pasok yang bertanggung jawab. Namun, pernyataan seperti itu belum cukup apabila tidak diikuti indikator yang jelas, seperti cakupan area sensor, frekuensi pemantauan, batas kesalahan pengukuran, pihak yang melakukan audit, serta hubungan antara hasil pemantauan dan penurunan risiko lingkungan. Hummel dan Schlick menjelaskan bahwa hubungan antara kinerja keberlanjutan dan pengungkapan keberlanjutan tidak selalu tunggal karena pengungkapan dapat menjadi tanda kualitas, tetapi juga dapat menjadi alat legitimasi bagi perusahaan yang ingin memperbaiki persepsi publik.³⁵

Tech-washing dalam laporan ESG berbasis algoritma dapat dikenal lewat tiga bentuk utama. Pertama, perusahaan sering menggunakan istilah teknologi secara berulang tanpa memberi penjelasan rinci tentang implementasi teknis yang bisa diverifikasi. Kedua, mereka menyebut sistem digital sebagai alat pengawasan lingkungan tetapi tidak membuka data perbandingan sebelum dan setelah penerapan teknologi. Ketiga, perusahaan menampilkan teknologi sebagai simbol tata kelola yang maju, namun laporannya tidak menunjukkan hubungan langsung antara sistem digital, pengurangan dampak lingkungan, dan tanggung jawab dewan. Ketiga bentuk ini menunjukkan bahwa masalah utama terletak pada hubungan antara klaim, bukti, dan akuntabilitas. Risiko misrepresentasi timbul ketika klaim teknologi yang penting bagi investor disampaikan tanpa bukti yang cukup. Misrepresentasi tidak selalu berupa kebohongan langsung, karena informasi yang benar sebagian pun bisa menyesatkan jika konteks penting diabaikan. Perusahaan bisa melakukan '*selective disclosure*' dengan menampilkan dampak yang ringan untuk memberi kesan transparansi, sementara informasi yang lebih serius disembunyikan.³⁶ Dalam laporan ESG digital, selective disclosure dapat terjadi saat perusahaan memperlihatkan dashboard teknologi tetapi tidak mengungkapkan kegagalan sistem, area yang belum tercakup, atau data lingkungan yang tidak

³⁵ Hummel and Schlick, "The Relationship between Sustainability Performance and Sustainability Disclosure – Reconciling Voluntary Disclosure Theory and Legitimacy Theory."

³⁶ Marquis, Toffel, and Zhou, "Scrutiny, Norms, and Selective Disclosure: A Global Study of Greenwashing."

membaik.

Di sektor pertambangan dan energi yang secara historis menghadapi resistensi sosial tinggi akibat dampak lingkungan dan sosialnya legitimasi adalah komoditas yang sangat berharga. Perusahaan membutuhkan *social license to operate*, yaitu izin tidak formal dari masyarakat untuk menjalankan operasinya. Tekanan legitimasi ini menjadi pendorong utama praktik *tech-washing*: perusahaan merasa perlu untuk menunjukkan bahwa mereka "melek teknologi" dan "berkomitmen pada keberlanjutan digital," bahkan ketika implementasi riilnya minimal atau tidak ada. *Legitimacy theory* berpijak pada premis bahwa organisasi dapat eksis dan berkembang hanya jika mereka memperoleh dukungan dari masyarakat. Dalam konteks ini, banyak sarjana membenarkan pelaporan ESG sebagai mekanisme yang digunakan perusahaan untuk mengelola legitimasi dan reputasi mereka.

Chuaga & Omido (2026) yang mengintegrasikan *stakeholder theory*, *legitimacy theory*, dan *signalling theory* menemukan bahwa komunikasi korporasi kontemporer semakin ditandai oleh opasitas strategis yang disamarkan sebagai transparansi, di mana organisasi memprioritaskan manajemen kesan (*impression management*) di atas pengungkapan substantif. Fenomena ini oleh para penulis disebut sebagai *performative transparency* transparansi yang bersifat performatif, bukan substantif. *Performative transparency* mengambil bentuk narasi transformasi digital. Perusahaan menyusun narasi tentang bagaimana mereka menggunakan *blockchain* untuk melacak rantai pasok, IoT untuk memantau emisi, atau AI untuk mengoptimalkan efisiensi energi namun narasi ini lebih berfungsi sebagai *legitimacy tool* daripada cerminan realitas operasional. Legitimasi yang dikejar adalah legitimasi "semu" cukup untuk mempertahankan izin sosial di mata pemangku kepentingan yang tidak memiliki kapasitas untuk memverifikasi klaim teknologi tersebut.

Perilaku pencarian legitimasi dan manajemen pemangku kepentingan strategis memainkan peran sentral dalam membentuk praktik *greenwashing* perusahaan. Temuan ini menunjukkan bahwa *tech-washing* bukanlah deviasi dari praktik bisnis normal, melainkan cerminan dari strategi legitimasi yang terstruktur dan sistematis di mana teknologi digital menjadi instrumen baru dalam "permainan legitimasi" korporasi.

3.1 Stakeholder Theory: Tekanan yang Tidak Seragam

Stakeholder theory menekankan bahwa perusahaan bertanggung jawab kepada seluruh pemangku kepentingan, bukan hanya pemegang saham. Teori ini membantu menjelaskan mengapa perusahaan merespons tekanan dari berbagai pemangku kepentingan secara berbeda dan mengapa respons tersebut dapat berbentuk simbolis daripada substantif.³⁷ Tidak semua tekanan pemangku kepentingan memiliki efek yang sama terhadap *greenwashing*. Tekanan pemerintah dan tekanan lingkungan memiliki hubungan negatif dan signifikan dengan *greenwashing* artinya, regulasi yang lebih ketat dan pengawasan lingkungan yang lebih kuat mengurangi ketergantungan perusahaan pada pengungkapan keberlanjutan simbolis. Sebaliknya, tekanan konsumen justru memiliki hubungan positif dengan *greenwashing*, mengimplikasikan bahwa tuntutan keberlanjutan yang digerakkan oleh pasar justru dapat mendorong pelaporan simbolis ketika mekanisme verifikasi lemah. Tekanan kreditor menunjukkan efek negatif tetapi tidak signifikan secara statistik.

Temuan ini memiliki implikasi penting untuk memahami *tech-washing* di sektor pertambangan dan energi Indonesia. Tekanan dari investor dan konsumen global yang semakin menuntut transparansi ESG dapat menjadi pedang bermata dua. Di sisi lain, tanpa mekanisme verifikasi yang memadai, tekanan pasar dapat mendorong perusahaan mengembangkan strategi impression management yang lebih canggih, termasuk *tech-washing*, terutama ketika klaim teknologi digunakan untuk memperkuat citra transparansi, efisiensi, dan inovasi keberlanjutan.³⁸

Lebih lanjut, dalam konteks Indonesia sebagai negara berkembang dengan infrastruktur kelembagaan yang masih berkembang, stakeholder theory memiliki keterbatasan eksplanatif. Mekanisme penegakan hukum dan pengawasan yang lemah membuat tekanan pemangku kepentingan tidak selalu berubah menjadi kontrol substantif terhadap perilaku perusahaan. Bahkan ketika regulator, investor, konsumen, dan masyarakat terdampak memiliki kepentingan untuk

³⁷ Thomas Donaldson and Lee E. Preston, "The Stakeholder Theory of the Corporation: Concepts, Evidence, and Implications," *Academy of Management Review* 20, no. 1 (1995), <https://doi.org/10.5465/amr.1995.9503271992>.

³⁸ Wayne Moodaley and Arnesh Telukdarie, "Greenwashing, Sustainability Reporting, and Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review," in *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 2, preprint, 2023, <https://doi.org/10.3390/su15021481>; Dominique Diouf and Olivier Boiral, "The Quality of Sustainability Reports and Impression Management: A Stakeholder Perspective," *Accounting, Auditing and Accountability Journal* 30, no. 3 (2017), <https://doi.org/10.1108/AAAJ-04-2015-2044>.

mengawasi, keterbatasan kapasitas teknis, data, dan standar verifikasi membuat deteksi tech-washing menjadi sulit. Kondisi ini menciptakan ruang bagi perusahaan untuk membuat klaim teknologi yang tidak terverifikasi tanpa menghadapi konsekuensi hukum yang memadai, terutama apabila laporan ESG lebih berfungsi sebagai instrumen legitimasi daripada bukti kinerja keberlanjutan yang dapat diaudit.³⁹

3.2 Tinjauan Hukum: Celah Regulasi dan Pelanggaran Prinsip Materialitas

POJK No. 51/POJK.03/2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan bagi Lembaga Jasa Keuangan, Emiten, dan Perusahaan Publik merupakan landasan regulasi utama bagi pelaporan keberlanjutan di Indonesia. Regulasi ini mewajibkan emiten dan perusahaan publik untuk menyusun dan menyampaikan laporan keberlanjutan (*sustainability report*). Namun, dari perspektif pencegahan *tech-washing*, POJK 51/2017 memiliki kelemahan fundamental. Regulasi ini hanya mengatur kewajiban "menyampaikan" laporan tanpa menetapkan standar kualitas pengungkapan yang memadai dan tanpa mekanisme verifikasi independen atas klaim-klaim yang dibuat dalam laporan tersebut. Penelitian terhadap kerangka hukum POJK 51/2017 mengungkap bahwa regulasi ini tidak memiliki taksonomi hijau yang komprehensif dan mekanisme verifikasi yang ketat untuk klaim keberlanjutan. Ketidadaan standar verifikasi untuk klaim teknologi dalam ESG menciptakan ruang hampa hukum (*legal vacuum*) yang dapat dieksploitasi untuk *tech-washing*. Perusahaan dapat dengan leluasa mencantumkan jargon teknologi dalam laporan keberlanjutan mereka tanpa harus membuktikan bahwa teknologi tersebut benar-benar diimplementasikan atau memberikan dampak ESG yang diklaim.

Tech-washing pada hakikatnya melanggar prinsip materialitas dan transparansi yang menjadi fondasi pelaporan korporasi yang bertanggung jawab. Prinsip materialitas menuntut agar perusahaan mengungkapkan informasi yang secara material mempengaruhi keputusan pemangku kepentingan.⁴⁰ Ketika

³⁹ Erwin Saraswati et al., "Greenwashing Strategy in ESG Disclosure: The Mediating Role of Information Quality in Creating Shared Value," *Problems and Perspectives in Management* 23, no. 3 (2025), [https://doi.org/10.21511/ppm.23\(3\).2025.48](https://doi.org/10.21511/ppm.23(3).2025.48).

⁴⁰ Ayu Aryista Dewi et al., "Materiality, Stakeholder Engagement Disclosure, and Corporate Governance: Critical Elements for the Quality of Sustainability Reporting," *Cogent Business and Management* 10, no. 1 (2023), <https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2175437>.

perusahaan mengklaim telah mengimplementasikan *blockchain* untuk transparansi rantai pasok atau IoT untuk pemantauan emisi, klaim tersebut bersifat material investor dan regulator dapat membuat keputusan berdasarkan klaim tersebut. Jika klaim tersebut tidak benar atau tidak substantif, maka terjadi misrepresentasi informasi yang material.⁴¹ Prinsip transparansi menuntut agar pengungkapan dilakukan dengan cara yang jelas, akurat, dan dapat diverifikasi. *Tech-washing* justru menggunakan kompleksitas teknologi sebagai instrumen untuk mengurangi transparansi semakin teknis dan rumit jargon yang digunakan, semakin sulit bagi pemangku kepentingan untuk memahami dan memverifikasi apa yang sebenarnya terjadi.⁴²

Sektor pertambangan dan energi juga berkaitan dengan instrumen lingkungan lain, seperti Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional, serta kebijakan PROPER. Instrumen tersebut menunjukkan bahwa data lingkungan tidak berdiri sendiri, tetapi terhubung dengan kewajiban pengendalian pencemaran, pelaporan emisi, nilai ekonomi karbon, dan evaluasi kinerja perusahaan. Jika perusahaan memakai sistem digital untuk mengklaim keberhasilan pengelolaan emisi atau limbah, klaim itu seharusnya dapat ditautkan dengan parameter lingkungan yang telah diatur dalam kebijakan publik. Tanpa hubungan tersebut, laporan ESG berisiko menjadi ruang narasi yang terpisah dari pengawasan lingkungan.

Tech-washing juga dapat mengganggu kualitas tata kelola perusahaan. Tata kelola yang baik menuntut proses pengambilan keputusan berbasis informasi yang benar, dapat diuji, dan dapat dipertanggungjawabkan. Persepsi atas kebijakan korporasi dapat berbeda karena pengguna informasi menafsirkan kualitas ESG

⁴¹ Thomas P. Lyon and A. Wren Montgomery, "The Means and End of Greenwash," *Organization and Environment* 28, no. 2 (2015), <https://doi.org/10.1177/1086026615575332>.

⁴² Olivier Boiral, Iñaki Heras-Saizarbitoria, and Marie Christine Brotherton, "Assessing and Improving the Quality of Sustainability Reports: The Auditors' Perspective," *Journal of Business Ethics* 155, no. 3 (2019), <https://doi.org/10.1007/s10551-017-3516-4>; Lyon and Montgomery, "The Means and End of Greenwash."

melalui data yang tidak selalu seragam dan tidak selalu lengkap.⁴³ Klaim teknologi yang tidak terverifikasi dapat memperburuk perbedaan persepsi tersebut karena investor menerima kesan bahwa perusahaan telah memiliki kontrol digital atas risiko ESG, sementara bukti aktual belum tentu memadai.

4. Implikasi Yuridis Algorithmic Assurance dan Mitigasi Agency Problem dalam Tata Kelola ESG Digital (Komparasi Uni Eropa dan Amerika Serikat)

Rekonstruksi hukum terhadap *algorithmic ESG reporting* harus dimulai dari isu hukum pasar modal Indonesia telah mewajibkan pelaporan keberlanjutan, tetapi belum menyediakan ukuran yang memadai untuk menguji kebenaran klaim teknologi yang dipakai emiten dalam dokumen ESG. Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Nomor 51/POJK.03/2017 tentang Penerapan Keuangan Berkelanjutan bagi Lembaga Jasa Keuangan, Emiten, dan Perusahaan Publik meletakkan kewajiban umum mengenai penerapan keuangan berkelanjutan dan penyampaian pelaporan keberlanjutan. Surat Edaran Otoritas Jasa Keuangan Nomor 16/SEOJK.04/2021 tentang Bentuk dan Isi Laporan Tahunan Emiten atau Perusahaan Publik kemudian memberi format pelaporan yang lebih terstruktur. Namun, dua instrumen tersebut masih bergerak pada tingkat kewajiban penyampaian informasi, belum sampai pada rezim pembuktian atas klaim digital seperti *AI-based monitoring*, *blockchain traceability*, *Internet of Things emission control*, atau *real-time ESG dashboard* yang semakin sering dipakai emiten, terutama pada sektor pertambangan dan energi.

Pelaporan keberlanjutan tidak lagi dapat diposisikan sebagai dokumen etik yang terpisah dari mekanisme pasar, sebab informasi ESG telah menjadi bagian dari instrumen penilaian investor terhadap risiko perusahaan. Pengungkapan nonkeuangan yang dipersepsi berkualitas dapat berkorelasi dengan biaya modal karena investor memakai informasi tersebut untuk menilai risiko, prospek, dan kualitas tata kelola perusahaan.⁴⁴ Oleh sebab itu, ketika emiten menyampaikan

⁴³ Dane M. Christensen, George Serafeim, and Anywhere Sikochi, "Why Is Corporate Virtue in the Eye of The Beholder? The Case of ESG Ratings," *Accounting Review* 97, no. 1 (2022), <https://doi.org/10.2308/TAR-2019-0506>.

⁴⁴ Dhaliwal et al., "Voluntary Nonfinancial Disclosure and the Cost of Equity Capital: The Initiation of Corporate Social Responsibility Reporting."

klaim bahwa sistem digital telah meningkatkan pengendalian emisi, ketertelusuran rantai pasok, atau efisiensi energi, pernyataan tersebut tidak dapat diperlakukan sebagai bahasa promosi biasa. Klaim demikian masuk ke dalam rezim keterbukaan informasi yang dapat memengaruhi keputusan investasi, penilaian reputasi, dan akses perusahaan terhadap pembiayaan berkelanjutan.

Di ekosistem pasar modal, persoalan utama bukan sekadar ada atau tidaknya teknologi, melainkan apakah teknologi yang diklaim benar-benar bekerja sesuai fungsi yang dinyatakan dalam dokumen ESG. Rating ESG dapat berbeda tajam antarlembaga pemeringkat karena perbedaan ruang lingkup, pembobotan, dan metode pengukuran.⁴⁵ Persepsi mengenai kualitas ESG perusahaan juga dipengaruhi oleh data yang tersedia dan cara data tersebut ditafsirkan oleh pengguna informasi. Jika klaim teknologi dimasukkan ke dalam pelaporan keberlanjutan tanpa verifikasi yang jelas, ketidakpastian tersebut bertambah karena pengguna laporan tidak hanya menilai kinerja lingkungan, tetapi juga menilai kebenaran sistem digital yang diklaim menghasilkan data ESG. Perusahaan dapat memperoleh keuntungan reputasional dari istilah digital tanpa terlebih dahulu membuktikan hubungan antara teknologi, data, dan kinerja lingkungan aktual.

Kelemahan regulasi di Indonesia tampak pada belum adanya pengaturan khusus mengenai verifikasi klaim teknologi dalam dokumen ESG. Pengaturan ESG di Indonesia masih membutuhkan penyempurnaan agar informasi yang disampaikan emiten lebih sebanding, andal, dan berguna bagi investor maupun pemangku kepentingan lain.⁴⁶ Kebutuhan tersebut semakin tegas terlihat setelah pelaporan berbasis data digital dan metrik ESG mulai berkembang dalam praktik pasar modal. Persoalannya tidak lagi terbatas pada apakah perusahaan menyampaikan isu lingkungan, tetapi apakah perusahaan mampu membuktikan metode pengumpulan data, sistem pemrosesan informasi, dan integritas teknologi yang menjadi dasar klaim tersebut. Hukum pasar modal Indonesia belum membangun hubungan yang kuat antara kewajiban pelaporan keberlanjutan dan kewajiban pembuktian atas klaim teknologi yang material.

Orientasi hukum perlu bergeser dari *disclosure compliance* menuju *verifiable*

⁴⁵ Berg, Kölbel, and Rigobon, "Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings*."

⁴⁶ Prihandono and S. Yuniarti, "Indonesia Sustainability Reporting Standard: What Needs to Be Improved?"

disclosure. Assurance atas dokumen ESG dapat meningkatkan kredibilitas informasi karena terdapat pemeriksaan independen terhadap isi laporan. Namun, assurance konvensional pada umumnya masih berfokus pada konsistensi, kelengkapan, atau kewajaran penyajian informasi yang sudah dituangkan dalam dokumen. Dalam konteks laporan ESG berbasis algoritma, titik pemeriksaannya harus mencakup sumber data, cara data dikumpulkan, cara sistem digital bekerja, dan kesesuaian keluaran sistem dengan kondisi lapangan.

Konsep audit algoritmik untuk ESG menjadi instrumen penting. Audit algoritmik harus dipahami sebagai proses penelusuran yang mencakup perancangan, penerapan, dokumentasi, dan evaluasi suatu sistem, bukan semata-mata pemeriksaan hasil akhir yang diumumkan kepada publik.⁴⁷ Audit terhadap sistem AI juga berfungsi menghubungkan norma, prinsip, dan praktik teknis agar akuntabilitas tidak berhenti pada pernyataan etik yang abstrak.⁴⁸ Dalam konteks emiten pertambangan dan energi, audit algoritmik perlu dipahami sebagai pemeriksaan atas sistem digital yang diklaim menopang pengukuran emisi, pemantauan limbah, pengendalian keselamatan kerja, pelacakan rantai pasok, atau evaluasi risiko keberlanjutan. Dengan konstruksi tersebut, audit tidak hanya memeriksa dokumen, tetapi juga menilai sistem yang menghasilkan informasi. Audit tersebut setidaknya harus mencakup enam unsur. Unsur pertama adalah sumber data, yaitu asal data lingkungan dan tata kelola yang dipakai perusahaan. Unsur kedua adalah metode pengumpulan, termasuk jenis sensor, lokasi pengukuran, frekuensi pencatatan, serta prosedur koreksi apabila terjadi kesalahan. Unsur ketiga adalah sistem pengolahan data, termasuk perangkat lunak, model algoritmik, perubahan parameter, dan pihak yang mengendalikan sistem. Unsur keempat adalah *audit trail*, yakni jejak yang memungkinkan pihak independen menelusuri asal-usul data dan perubahan yang terjadi selama pemrosesan. Unsur kelima adalah keluaran data yang dimasukkan ke dalam dokumen ESG, sedangkan unsur keenam adalah hubungan antara keluaran sistem digital dengan perbaikan nyata pada indikator lingkungan atau tata kelola.

Blockchain memang memiliki potensi untuk memperkuat transparansi rantai

⁴⁷ Raji et al., "Closing the AI Accountability Gap: Defining an End-to-End Framework for Internal Algorithmic Auditing."

⁴⁸ Mökander and Floridi, "Ethics-Based Auditing to Develop Trustworthy AI."

pasok berkelanjutan, tetapi manfaatnya sangat bergantung pada kualitas data yang masuk ke sistem, desain arsitektur, dan partisipasi para pihak dalam rantai nilai.⁴⁹ Dalam perusahaan pertambangan, klaim *blockchain traceability* hanya bermakna apabila emiten menjelaskan komoditas yang dilacak, titik rantai pasok yang dicakup, pihak yang memasukkan data, mekanisme verifikasi, dan hubungan sistem tersebut dengan penurunan risiko lingkungan atau sosial. Jika unsur itu tidak dijelaskan, istilah *blockchain* hanya menjadi simbol teknologi yang memperkuat citra kepatuhan. Dokumen ESG akhirnya memuat bahasa inovasi, tetapi belum tentu menyajikan informasi yang dapat diperiksa.

Masalah serupa tampak pada penggunaan AI. Persoalan utama AI tidak hanya terletak pada kemampuan teknisnya, tetapi juga pada keterbukaan, kejelasan, dan akuntabilitas sistem ketika hasilnya dipakai untuk memengaruhi keputusan yang bernilai hukum atau sosial.⁵⁰ Jika emiten menyatakan bahwa AI dipakai untuk memprediksi kecelakaan kerja, menghitung efisiensi energi, atau mengelola risiko lingkungan, dokumen ESG harus menjelaskan data pelatihan, prosedur validasi, keterlibatan pengawasan manusia, dan batas penggunaan sistem tersebut. Tanpa informasi itu, investor dan publik hanya menerima hasil yang sudah dipilih perusahaan. Mereka tidak memperoleh dasar yang cukup untuk menilai apakah sistem digital tersebut benar-benar dapat dipercaya.

Perbandingan dengan perkembangan internasional menunjukkan bahwa penguatan verifikasi klaim teknologi bukan merupakan tuntutan yang berlebihan. Uni Eropa melalui *Corporate Sustainability Reporting Directive* mengembangkan pendekatan *double materiality*, yaitu perusahaan wajib menjelaskan bukan hanya bagaimana isu keberlanjutan memengaruhi posisi keuangannya, tetapi juga bagaimana kegiatan perusahaan berdampak pada manusia dan lingkungan. Pendekatan ini penting bagi sektor pertambangan dan energi karena klaim digital tidak hanya harus dibaca dari pengaruhnya terhadap investor, tetapi juga dari dampak nyatanya terhadap lingkungan hidup, komunitas sekitar, dan rantai pasok. Dengan konstruksi tersebut, perusahaan tidak cukup menyatakan bahwa sistem

⁴⁹ M. Adeel Munir et al., "Blockchain Adoption for Sustainable Supply Chain Management: Economic, Environmental, and Social Perspectives," *Frontiers in Energy Research* 10 (2022), <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.899632>.

⁵⁰ Cheong, "Transparency and Accountability in AI Systems: Safeguarding Wellbeing in the Age of Algorithmic Decision-Making."

digital membantu mengelola risiko internal. Perusahaan juga harus menunjukkan bahwa sistem tersebut menurunkan dampak lingkungan yang menjadi perhatian publik dan regulator.

Pendekatan Uni Eropa terhadap AI juga memberi pelajaran penting. **EU Artificial Intelligence Act** tidak mengasumsikan bahwa setiap AI pasti aman atau dapat dipercaya. Regulasi tersebut menempatkan AI dalam kerangka berbasis risiko, dokumentasi teknis, pengawasan manusia, dan tanggung jawab kepatuhan. Pelajaran normatif yang dapat diambil bukanlah mengadopsi seluruh struktur regulasinya, melainkan prinsip bahwa klaim AI tidak boleh diterima hanya karena istilah tersebut terdengar canggih. Jika klaim AI dipakai dalam dokumen ESG untuk menunjukkan kontrol risiko lingkungan atau sosial, klaim tersebut harus didukung dokumentasi teknis dan mekanisme pengawasan yang memadai. Pelaporan korporasi bergerak menuju keterpaduan antara informasi finansial dan nonfinansial, sehingga informasi keberlanjutan tidak lagi berdiri di luar strategi dan tata kelola perusahaan.⁵¹ Kualitas sustainability reporting juga dipengaruhi oleh faktor kelembagaan, karakter industri, dan mekanisme tata kelola perusahaan.⁵² Sektor pertambangan dan energi sejak awal menanggung eksposur lingkungan tinggi, sehingga pengawasan atas klaim teknologinya tidak dapat disamakan dengan sektor yang risikonya lebih rendah. Standar verifikasi perlu menyesuaikan tingkat risiko sektor dan materialitas klaim yang disampaikan perusahaan.

4.1 Uni Eropa: CSRD dan AI Act

Uni Eropa telah membangun arsitektur regulasi pelaporan ESG yang paling komprehensif di dunia melalui *Corporate Sustainability Reporting Directive* (CSRD). Setelah direvisi melalui paket Omnibus I yang berlaku pada 18 Maret 2026, CSRD tetap mempertahankan kewajiban assurance pihak ketiga secara mandatori atas pernyataan keberlanjutan perusahaan. Ciri khas utama CSRD yang relevan dengan pencegahan *tech-washing* terletak pada tiga elemen struktural. *Pertama*, kewajiban assurance terbatas (*limited assurance*) yang dikonfirmasi sebagai persyaratan final, bukan sekadar tahap transisi menuju *reasonable assurance*. Perusahaan yang masih

⁵¹ Nick Wilson and Mike Wright, "Private Equity, Buy-Outs and Insolvency Risk," *Journal of Business Finance and Accounting* 40, nos. 7-8 (2013), <https://doi.org/10.1111/jbfa.12042>.

⁵² Rüdiger Hahn and Michael Kühnen, "Determinants of Sustainability Reporting: A Review of Results, Trends, Theory, and Opportunities in an Expanding Field of Research," in *Journal of Cleaner Production*, vol. 59, preprint, 2013, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.005>.

termasuk dalam cakupan CSRD dengan ambang batas lebih dari 1.000 karyawan dan omset tahunan di atas €450 juta harus mendapatkan jaminan independen atas laporan keberlanjutan mereka. Standar acuan untuk assurance ini adalah ISSA 5000 (*International Standard on Sustainability Assurance*) yang dikeluarkan oleh IAASB dan berlaku efektif untuk periode pelaporan yang dimulai pada atau setelah 15 Desember 2026.⁵³

Kedua, prinsip *double materiality* yang menjadi fondasi CSRD mewajibkan perusahaan melaporkan tidak hanya informasi yang material secara finansial (*financial materiality* dampak isu keberlanjutan terhadap perusahaan), tetapi juga informasi yang material secara dampak (*impact materiality*, dampak perusahaan terhadap lingkungan dan masyarakat).⁵⁴ Dalam konteks *tech-washing*, *double materiality* berarti klaim teknologi dalam ESG harus dievaluasi dari kedua sisi: apakah adopsi teknologi tersebut benar-benar material bagi kinerja keuangan perusahaan, dan apakah klaim tersebut mencerminkan dampak nyata terhadap lingkungan dan masyarakat. *Ketiga*, kerangka dua jalur (*two-track*) untuk penyedia assurance yang diciptakan CSRD menciptakan fleksibilitas sekaligus tantangan. Jalur pertama adalah auditor statutori (akuntan publik) yang beroperasi di bawah kerangka audit nasional; jalur kedua adalah *Independent Assurance Service Providers* (IASPs) badan pihak ketiga yang diotorisasi oleh negara anggota. IASPs yang diakreditasi di bawah ISO/IEC 17029:2019 dan ISO 14065:2020 organisasi yang dibangun khusus untuk assurance keberlanjutan independent merupakan kandidat alami untuk jalur ini.⁵⁵

Pelengkap CSRD adalah EU Artificial Intelligence Act (AI Act) yang berlaku secara bertahap. AI Act tidak secara khusus dibentuk sebagai instrumen verifikasi ESG, tetapi kerangka high-risk AI systems di dalamnya relevan ketika perusahaan menggunakan AI untuk menghasilkan, mengolah, atau menjustifikasi klaim keberlanjutan. Pasal 10 menekankan tata kelola data untuk sistem AI berisiko tinggi, termasuk kualitas, keterwakilan, kelengkapan, dan pengendalian kesalahan data. Pasal 26 memperluas

⁵³ Nancy Kamp-Roelands, "ISSA 5000: Key Features of the International Sustainability Assurance Standard," *Maandblad Voor Accountancy En Bedrijfseconomie* 99, no. 2 (2025), <https://doi.org/10.5117/mab.99.149097>; Katrin Hummel and Dominik Jobst, "An Overview of Corporate Sustainability Reporting Legislation in the European Union," *Accounting in Europe* 21, no. 3 (2024), <https://doi.org/10.1080/17449480.2024.2312145>.

⁵⁴ Félix E. Mezzanotte, "Corporate Sustainability Reporting: Double Materiality, Impacts, and Legal Risk," *Journal of Corporate Law Studies* 23, no. 2 (2023), <https://doi.org/10.1080/14735970.2024.2319058>.

⁵⁵ Rosa Lombardi et al., "The Climate-Related Information in the Changing EU Directive on Non-Financial Reporting and Disclosure: First Evidence by Italian Large Companies," *Journal of Applied Accounting Research* 23, no. 1 (2022), <https://doi.org/10.1108/JAAR-04-2021-0117>.

tanggung jawab kepada deployers, yaitu pihak yang menggunakan sistem AI, melalui kewajiban penggunaan sesuai instruksi, pemantauan, penyimpanan log, dan pengendalian input data. Dalam konteks pelaporan ESG, ketentuan ini dapat dipakai untuk menilai akuntabilitas perusahaan yang menggunakan AI dalam menyusun klaim keberlanjutan. Namun, AI Act masih memberi respons terbatas terhadap dimensi lingkungan karena tidak secara eksplisit mengatur verifikasi klaim ESG yang dihasilkan AI, tidak mewajibkan audit dampak siklus hidup secara menyeluruh, dan belum menyediakan standar khusus untuk mencegah algorithmic greenwashing. Celah ini menunjukkan bahwa bahkan dalam kerangka UE, pencegahan tech-washing masih memerlukan integrasi antara regulasi pelaporan keberlanjutan, assurance independen, dan tata kelola algoritmik.⁵⁶

4.2 Amerika Serikat: Pembalikan Kebijakan sebagai Peringatan

Berbeda dengan pendekatan UE yang progresif, Amerika Serikat justru mengalami pembalikan kebijakan yang dramatis. Pada 29 Mei 2026, *Securities and Exchange Commission* (SEC) mengusulkan pencabutan total (*rescission*) aturan pelaporan terkait iklim yang diadopsi pada Maret 2024. Aturan tersebut yang mewajibkan perusahaan publik melaporkan risiko terkait iklim, emisi gas rumah kaca, dan dampak finansial dari cuaca ekstrem tidak pernah berlaku efektif karena ditangguhkan pengadilan sejak April 2024. *Pertama*, SEC menyimpulkan bahwa aturan tersebut melampaui wewenang statutory bahwa SEC tidak memiliki kekuasaan hukum di bawah *Securities Act of 1933* atau *Securities Exchange Act of 1934* untuk mengadopsinya. Analisis wewenang statutori ini berpusat pada Section 7(a)(1) *Securities Act* yang memberikan bobot struktural signifikan pada Schedule A32 item pelaporan yang ditentukan Kongres ketika menciptakan persyaratan pernyataan pendaftaran pada 1933. *Kedua*, SEC memberikan alasan berbasis "kebijakan": aturan tersebut tidak perlu dan tidak konsisten dengan pendekatan berbasis materialitas, memberlakukan biaya yang tidak proporsional dibandingkan manfaat perlindungan investor, dan bertentangan dengan tujuan SEC untuk memfasilitasi pembentukan

⁵⁶ Thomas Le Goff, "Environmental Law's Principles Applied to Artificial Intelligence: A Path towards Regulation," *International Review of Law, Computers and Technology*, ahead of print, 2025, <https://doi.org/10.1080/13600869.2025.2506166>; Ugo Pagallo, "On Twelve Shades of Green: Assessing the Levels of Environmental Protection in the Artificial Intelligence Act," *Minds and Machines* 35, no. 1 (2025), <https://doi.org/10.1007/s11023-025-09713-4>.

modal.

Berdasarkan analisis komparatif di atas, setidaknya terdapat empat kekosongan hukum dalam kerangka regulasi ESG Indonesia yang memungkinkan praktik *tech-washing*. Pertama, ketiadaan standar verifikasi untuk klaim teknologi dalam ESG. POJK 51/2017 maupun RPOJK yang sedang disusun belum mengatur standar yang jelas tentang bagaimana klaim penggunaan *blockchain*, IoT, AI, atau teknologi digital lainnya dalam konteks ESG harus diverifikasi. Penelitian tentang *machine washing* istilah yang terkait erat dengan *tech-washing* menawarkan pendekatan deteksi melalui analisis perbandingan antara kapasitas informasi pelaporan dan tingkat keandalan informasi sebagai proksi untuk strategi *machine washing* dan dampak riil strategi digitalisasi terhadap pemangku kepentingan.⁵⁷

Kedua, belum terdapat kewajiban assurance independen yang tegas dan operasional. POJK 51/2017 mewajibkan laporan keberlanjutan, penyampaian kepada OJK, dan publikasi kepada publik, tetapi belum menetapkan assurance pihak ketiga sebagai kewajiban substantif. Jika RPOJK 2026 diarahkan untuk memperkuat assurance, pengaturannya tetap perlu menjawab dua isu utama, yaitu siapa pihak yang berwenang melakukan verifikasi dan standar apa yang dipakai. Klaim teknologi ESG tidak cukup diperiksa hanya oleh auditor keuangan apabila substansi yang diuji berkaitan dengan model algoritmik, arsitektur data, sistem pemantauan emisi, keamanan blockchain, atau validitas dashboard digital. Karena itu, assurance atas klaim *tech-driven* ESG perlu melibatkan ahli teknis independen yang terakreditasi, selain akuntan publik, agar verifikasi tidak berhenti pada kesesuaian format pelaporan.⁵⁸

Ketiga, ketiadaan pengaturan tanggung jawab hukum (liability) bagi direksi. Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas hanya mengatur fiduciary duty secara umum. Belum ada konstruksi hukum yang secara khusus membebani direksi atas kerugian investor akibat deklarasi teknologi yang keliru, terutama jika kesalahan tersebut berasal dari sistem algoritmik yang

⁵⁷ Francesca Bernini et al., "Measuring Machinewashing under the Corporate Digital Responsibility Theory: A Proposal for a Methodological Path," *Business Ethics, the Environment and Responsibility* 34, no. 2 (2025), <https://doi.org/10.1111/beer.12653>.

⁵⁸ Andrea Minto, "Certainties and Uncertainties Surrounding Central Bank Digital Currencies (CBDC) Vis-à-Vis the EU Anti-Money Laundering Regulatory Framework," *European Company and Financial Law Review* 21, nos. 5–6 (2023), <https://doi.org/10.1515/ecfr-2024-0020>; Roger Simnett, Ann Vanstraelen, and Wai Fong Chua, "Assurance on Sustainability Reports: An International Comparison," *Accounting Review* 84, no. 3 (2009), <https://doi.org/10.2308/accr.2009.84.3.937>.

kompleks. Penelitian komparatif oleh Chuaga & Omido (2026) menunjukkan bahwa banyak yurisdiksi gagal dalam atribusi kesalahan ketika klaim menyesatkan diproduksi oleh sistem otomatis, sehingga diperlukan pendekatan tanggung jawab hibrida. Keempat, ketiadaan taksonomi hijau digital dalam TKBI. Taksonomi Hijau Indonesia (TKBI) edisi ketiga yang terbit 31 Maret 2026 memang telah memuat sektor energi dan limbah, tetapi belum mengklasifikasikan aktivitas "digital-driven sustainability". Akibatnya, perusahaan dapat dengan mudah mengklaim proyek digitalisasi sebagai "hijau" tanpa tolok ukur yang objektif dan terukur.⁵⁹

Setidaknya untuk mengurai permasalahan diatas, terdapat tiga hal yang dapat direkonstruksi dan di integrasikan dalam RPOJK:

1. Mewajibkan *Algorithmic ESG Auditing* oleh Pihak Independen, Audit algoritmik bukan sekadar mekanisme kepatuhan preventif, melainkan alat penegakan regulasi yang efektif. Penelitian terbaru mengungkapkan bahwa adopsi AI justru berasosiasi positif dengan intensitas *greenwashing* jika tidak dikendalikan. Namun, risiko ini dapat diredam secara signifikan jika perusahaan memiliki kinerja ESG yang terverifikasi dan beroperasi di bawah regulasi yang ketat. Dengan demikian, regulasi berfungsi sebagai pengendali risiko, bukan penghambat inovasi. Rekonstruksi ini mensyaratkan tiga hal: 1) Perusahaan yang mendeklarasikan penggunaan AI atau *blockchain* untuk ESG wajib melaporkan parameter model, sumber data, dan asumsi dasar yang digunakan; 2) Pihak ketiga yang memiliki kompetensi teknis (bukan hanya akuntan) wajib memverifikasi kesesuaian antara narasi dan implementasi nyata di lapangan; 3) Hasil audit algoritmik tersebut harus dipublikasikan sebagai lampiran laporan keberlanjutan yang dapat diakses publik.
2. Mempertegas Tanggung Jawab Hukum (*Strict Liability*) Direksi, Penguatan tanggung jawab direksi merupakan pilar kedua yang tidak kalah penting. Dalam konteks *tech-washing*, direksi sering kali menggunakan ketidaktahuan teknis sebagai tameng pembelaan. Untuk mengantisipasi hal ini, rekonstruksi menawarkan: a. Amandemen UU PT atau penerbitan

⁵⁹ Zhang Le Shui et al., "Unintended Societal Outcome of Investor Protection: Independent Director Liability and Greenwashing," *Journal of Accounting Literature*, ahead of print, 2025, <https://doi.org/10.1108/JAL-06-2025-0310>; Raji et al., "Closing the AI Accountability Gap: Defining an End-to-End Framework for Internal Algorithmic Auditing."

POJK baru yang mengatur *strict liability* bagi direksi atas kerugian investor yang timbul dari misrepresentasi klaim teknologi dalam laporan keberlanjutan; b. Pembebanan beban pembuktian terbalik (*reverse burden of proof*), di mana direksi harus membuktikan bahwa mereka telah melakukan uji tuntas (*due diligence*) yang memadai, termasuk melibatkan verifikator independen atas klaim teknologi tersebut; c. Sanksi administratif progresif dari OJK, seperti denda besar, pembekuan izin usaha, hingga pencabutan status perusahaan publik. Pendekatan ini sejalan dengan semangat AI Act yang memperluas akuntabilitas hingga kepada pengguna akhir (*deployers*) dari sistem AI.

3. Integrasi Taksonomi Hijau Digital ke dalam Aturan Pelaporan BEI, Amandemen TKBI dengan menambahkan kategori "*Digital-Driven Sustainable Activities*" yang mencakup kriteria implementasi teknologi yang terbukti, dampak lingkungan yang terukur, dan kewajiban melaporkan emisi digital (seperti jejak karbon dari pusat data dan komputasi awan). Mewajibkan perusahaan yang mengklaim transformasi digital untuk ESG melaporkan metrik spesifik, misalnya persentase penurunan emisi yang diatribusikan langsung pada penggunaan IoT, atau peningkatan transparansi rantai pasok yang diatribusikan pada *blockchain* dan Memberikan sanksi tegas bagi perusahaan yang mengklaim aktivitas teknologinya sebagai "hijau" tanpa memenuhi kriteria taksonomi yang telah ditetapkan.

Proses konsultasi publik RPOJK yang berlangsung hingga 13 Maret 2026 adalah momen emas untuk memasukkan tiga pilar di atas. RPOJK yang merupakan amanat UU P2SK bertujuan menyelaraskan praktik pelaporan Indonesia dengan standar IFRS S1 dan S2. OJK sendiri telah menyatakan komitmennya untuk meningkatkan transparansi guna mencegah greenwashing.

Namun, berdasarkan analisis terhadap draf publik, belum ada klausul yang mengatur standar verifikasi klaim teknologi, kewajiban audit algoritmik, taksonomi hijau digital, maupun tanggung jawab hukum direksi secara spesifik. Jika tiga pilar ini tidak dimasukkan, RPOJK 2026 berpotensi hanya menjadi beban administratif baru, bukan lompatan substantif dalam tata kelola korporasi. Sebagaimana diingatkan oleh Ekaristi, Utomo, & Rohman (2025), jika teknologi tidak diimbangi

dengan akuntabilitas, maka AI untuk ESG hanya akan berfungsi sebagai label kepercayaan yang mempercepat skala *greenwashing*.

5. Kesimpulan

Artikel ini mengidentifikasi *tech-washing* sebagai bentuk baru dari praktik *greenwashing* yang memanfaatkan kompleksitas teknologi digital seperti AI, IoT, dan *blockchain* dalam pelaporan ESG untuk menciptakan citra inovatif dan bertanggung jawab, sementara implementasi teknis dan dampak lingkungannya tidak dapat diverifikasi secara memadai. Fenomena ini menimbulkan asimetri informasi yang serius di pasar modal Indonesia, karena investor dan pemangku kepentingan lainnya tidak memiliki kapasitas untuk membedakan antara klaim teknologi yang substantif dengan narasi yang bersifat performatif semata. Analisis terhadap 21 perusahaan pertambangan dan energi yang tercatat di Bursa Efek Indonesia periode 2021-2025 menunjukkan bahwa tingginya frekuensi penggunaan jargon teknologi dalam laporan keberlanjutan tidak berkorelasi positif dengan perbaikan kinerja lingkungan aktual, bahkan cenderung berbanding terbalik dengan skor tata kelola perusahaan. Temuan ini mengonfirmasi bahwa *tech-washing* bukanlah deviasi dari praktik bisnis normal, melainkan cerminan dari strategi legitimasi yang terstruktur dan sistematis, di mana teknologi digital menjadi instrumen baru dalam "permainan legitimasi" korporasi untuk mempertahankan *social license to operate* di tengah tekanan pemangku kepentingan yang semakin tinggi. POJK 51/2017, memiliki kelemahan fundamental karena hanya mengatur kewajiban penyampaian laporan tanpa menetapkan standar verifikasi klaim teknologi, tanpa kewajiban *assurance* independen, tanpa pengaturan tanggung jawab hukum direksi secara spesifik, dan tanpa taksonomi hijau digital yang menjadi tolok ukur objektif. Perbandingan dengan Uni Eropa melalui CSRD dan AI Act menunjukkan bahwa penguatan *algorithmic assurance* dan perluasan akuntabilitas hingga *deployers* sistem AI merupakan langkah penting dalam mencegah *tech-washing*. Oleh karena itu, rekonstruksi hukum yang mendesak untuk diintegrasikan dalam RPOJK mencakup tiga pilar: (1) kewajiban *algorithmic ESG auditing* oleh pihak independen yang kompeten secara teknis dengan publikasi hasil audit; (2) penguatan tanggung jawab direksi

melalui *strict liability* dan beban pembuktian terbalik (*reverse burden of proof*) atas kerugian investor akibat klaim teknologi yang menyesatkan; dan (3) integrasi taksonomi hijau digital ke dalam TKBI Versi 3 dengan kriteria implementasi teknologi yang terbukti, dampak lingkungan yang terukur, serta kewajiban melaporkan emisi digital. Dengan mengadopsi ketiga pilar tersebut, Indonesia dapat mencegah *tech-washing*, melindungi investor, meningkatkan kredibilitas pasar modal, dan menempatkan diri sebagai pemimpin dalam tata kelola ESG digital di Asia Tenggara, sekaligus menghindari jebakan *performative transparency* yang hanya menghasilkan beban administratif tanpa perbaikan substantif.

Referensi

- Akerlof, George A. "The Market for 'Lemons': Quality Uncertainty and the Market Mechanism." In *Quarterly Journal of Economics*, vol. 84. no. 3. Preprint, 1970. <https://doi.org/10.2307/1879431>.
- Asif, Muhammad, Cory Searcy, and Pavel Castka. "ESG and Industry 5.0: The Role of Technologies in Enhancing ESG Disclosure." *Technological Forecasting and Social Change* 195 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122806>.
- Berg, Florian, Julian F. Kölbel, and Roberto Rigobon. "Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings*." *Review of Finance* 26, no. 6 (2022). <https://doi.org/10.1093/rof/rfac033>.
- Bernini, Francesca, Paola Ferretti, Cristina Gonnella, and Fabio La Rosa. "Measuring Machinewashing under the Corporate Digital Responsibility Theory: A Proposal for a Methodological Path." *Business Ethics, the Environment and Responsibility* 34, no. 2 (2025). <https://doi.org/10.1111/beer.12653>.
- Boiral, Olivier, Iñaki Heras-Saizarbitoria, and Marie Christine Brotherton. "Assessing and Improving the Quality of Sustainability Reports: The Auditors' Perspective." *Journal of Business Ethics* 155, no. 3 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10551-017-3516-4>.
- Bolognesi, Enrica, Alberto Burchi, John W. Goodell, and Andrea Paltrinieri. "Stakeholders and Regulatory Pressure on ESG Disclosure." *International Review of Financial Analysis* 103 (2025). <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2025.104145>.
- Boulton, Thomas J. "Mandatory ESG Disclosure, Information Asymmetry, and Litigation Risk: Evidence from Initial Public Offerings." *European Financial Management* 30, no. 5 (2024). <https://doi.org/10.1111/eufm.12494>.
- Cheong, Ben Chester. "Transparency and Accountability in AI Systems: Safeguarding Wellbeing in the Age of Algorithmic Decision-Making." *Frontiers in Human Dynamics* 6 (2024). <https://doi.org/10.3389/fhumd.2024.1421273>.
- Cho, Charles H., and Dennis M. Patten. "The Role of Environmental Disclosures as Tools of Legitimacy: A Research Note." *Accounting, Organizations and Society* 32, nos. 7–8 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.aos.2006.09.009>.
- Christensen, Dane M., George Serafeim, and Anywhere Sikochi. "Why Is Corporate Virtue in the Eye of The Beholder? The Case of ESG Ratings." *Accounting Review* 97, no. 1 (2022). <https://doi.org/10.2308/TAR-2019-0506>.

- Clarkson, Peter M., Yue Li, Gordon D. Richardson, and Florin P. Vasvari. "Revisiting the Relation between Environmental Performance and Environmental Disclosure: An Empirical Analysis." *Accounting, Organizations and Society* 33, nos. 4–5 (2008). <https://doi.org/10.1016/j.aos.2007.05.003>.
- Delmas, Magali A., and Vanessa Cuerel Burbano. "The Drivers of Greenwashing." In *California Management Review*, vol. 54, no. 1. Preprint, 2011. <https://doi.org/10.1525/cmr.2011.54.1.64>.
- Dewi, Ayu Aryista, Erwin Saraswati, Aulia Fuad Rahman, and Sari Atmini. "Materiality, Stakeholder Engagement Disclosure, and Corporate Governance: Critical Elements for the Quality of Sustainability Reporting." *Cogent Business and Management* 10, no. 1 (2023). <https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2175437>.
- Dhaliwal, Dan S., Oliver Zhen Li, Albert Tsang, and Yong George Yang. "Voluntary Nonfinancial Disclosure and the Cost of Equity Capital: The Initiation of Corporate Social Responsibility Reporting." *Accounting Review* 86, no. 1 (2011). <https://doi.org/10.2308/accr.00000005>.
- Diouf, Dominique, and Olivier Boiral. "The Quality of Sustainability Reports and Impression Management: A Stakeholder Perspective." *Accounting, Auditing and Accountability Journal* 30, no. 3 (2017). <https://doi.org/10.1108/AAAJ-04-2015-2044>.
- Donaldson, Thomas, and Lee E. Preston. "The Stakeholder Theory of the Corporation: Concepts, Evidence, and Implications." *Academy of Management Review* 20, no. 1 (1995). <https://doi.org/10.5465/amr.1995.9503271992>.
- Fatemi, Ali, Martin Glaum, and Stefanie Kaiser. "ESG Performance and Firm Value: The Moderating Role of Disclosure." *Global Finance Journal* 38 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2017.03.001>.
- Goff, Thomas Le. "Environmental Law's Principles Applied to Artificial Intelligence: A Path towards Regulation." *International Review of Law, Computers and Technology*, ahead of print, 2025. <https://doi.org/10.1080/13600869.2025.2506166>.
- Hahn, Rüdiger, and Michael Kühnen. "Determinants of Sustainability Reporting: A Review of Results, Trends, Theory, and Opportunities in an Expanding Field of Research." In *Journal of Cleaner Production*, vol. 59. Preprint, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.005>.
- Healy, Paul M., and Krishna G. Palepu. "Information Asymmetry, Corporate Disclosure, and the Capital Markets: A Review of the Empirical Disclosure Literature." *Journal of Accounting and Economics* 31, nos. 1–3 (2001). [https://doi.org/10.1016/S0165-4101\(01\)00018-0](https://doi.org/10.1016/S0165-4101(01)00018-0).
- Hummel, Katrin, and Dominik Jobst. "An Overview of Corporate Sustainability Reporting Legislation in the European Union." *Accounting in Europe* 21, no. 3 (2024). <https://doi.org/10.1080/17449480.2024.2312145>.
- Hummel, Katrin, and Christian Schlick. "The Relationship between Sustainability Performance and Sustainability Disclosure – Reconciling Voluntary Disclosure Theory and Legitimacy Theory." *Journal of Accounting and Public Policy* 35, no. 5 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2016.06.001>.
- Jensen, Michael C., and William H. Meckling. "Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure." *Journal of Financial Economics* 3, no. 4 (1976). [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X).
- Kamp-Roelands, Nancy. "ISSA 5000: Key Features of the International Sustainability

- Assurance Standard." *Maandblad Voor Accountancy En Bedrijfseconomie* 99, no. 2 (2025). <https://doi.org/10.5117/mab.99.149097>.
- Lagasio, Valentina. "ESG-Washing Detection in Corporate Sustainability Reports." *International Review of Financial Analysis* 96 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103742>.
- Lanfranchi, Giuseppe, Antonio Crupi, and Fabrizio Cesaroni. "Internet of Things (IoT) and the Environmental Sustainability: A Literature Review and Recommendations for Future Research." In *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, vol. 32. no. 6. Preprint, 2025. <https://doi.org/10.1002/csr.70098>.
- Liu, Jiacheng, Ye Yuan, and Zhelun Zhu. "The Role of Artificial Intelligence in Enhancing ESG Disclosure Quality in Accounting." *Journal of Risk and Financial Management* 19, no. 1 (2026). <https://doi.org/10.3390/jrfm19010058>.
- Lombardi, Rosa, Federico Schimperna, Paola Paoloni, and Michele Galeotti. "The Climate-Related Information in the Changing EU Directive on Non-Financial Reporting and Disclosure: First Evidence by Italian Large Companies." *Journal of Applied Accounting Research* 23, no. 1 (2022). <https://doi.org/10.1108/JAAR-04-2021-0117>.
- Luo, Chunhua, Dianlong Wei, and Feng He. "Corporate ESG Performance and Trade Credit Financing – Evidence from China." *International Review of Economics and Finance* 85 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.iref.2023.01.021>.
- Lyon, Thomas P., and John W. Maxwell. "Greenwash: Corporate Environmental Disclosure under Threat of Audit." *Journal of Economics and Management Strategy* 20, no. 1 (2011). <https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2010.00282.x>.
- Lyon, Thomas P., and A. Wren Montgomery. "The Means and End of Greenwash." *Organization and Environment* 28, no. 2 (2015). <https://doi.org/10.1177/1086026615575332>.
- Mansour, Nadia. "Augmented Finance for Climate Action: A Systematic Review of AI, IoT, and Blockchain Applications in Sustainable Finance." In *International Journal of Financial Studies*, vol. 14. no. 4. Preprint, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), April 1, 2026. <https://doi.org/10.3390/ijfs14040091>.
- Marquis, Christopher, Michael W. Toffel, and Yanhua Zhou. "Scrutiny, Norms, and Selective Disclosure: A Global Study of Greenwashing." *Organization Science* 27, no. 2 (2016). <https://doi.org/10.1287/orsc.2015.1039>.
- Mezzanotte, Félix E. "Corporate Sustainability Reporting: Double Materiality, Impacts, and Legal Risk." *Journal of Corporate Law Studies* 23, no. 2 (2023). <https://doi.org/10.1080/14735970.2024.2319058>.
- Minto, Andrea. "Certainties and Uncertainties Surrounding Central Bank Digital Currencies (CBDC) Vis-à-Vis the EU Anti-Money Laundering Regulatory Framework." *European Company and Financial Law Review* 21, nos. 5–6 (2023). <https://doi.org/10.1515/ecfr-2024-0020>.
- Mökander, Jakob, and Luciano Floridi. "Ethics-Based Auditing to Develop Trustworthy AI." In *Minds and Machines*, vol. 31. no. 2. Preprint, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11023-021-09557-8>.
- Moodaley, Wayne, and Arnesh Telukdarie. "Greenwashing, Sustainability Reporting, and Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review." In *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15. no. 2. Preprint, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15021481>.
- Munir, M. Adeel, M. Salman Habib, Amjad Hussain, Muhammad Ali Shahbaz, Adnan

- Qamar, Tariq Masood, M. Sultan, et al. "Blockchain Adoption for Sustainable Supply Chain Management: Economic, Environmental, and Social Perspectives." *Frontiers in Energy Research* 10 (2022). <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.899632>.
- Pagallo, Ugo. "On Twelve Shades of Green: Assessing the Levels of Environmental Protection in the Artificial Intelligence Act." *Minds and Machines* 35, no. 1 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11023-025-09713-4>.
- Prihandono, Iman, and Dewi S. Yuniarti. "Indonesia Sustainability Reporting Standard: What Needs to Be Improved?" *Padjadjaran Journal of International Law* 7, no. 1 (2023). <https://doi.org/10.23920/pjil.v7i1.1159>.
- Raji, Inioluwa Deborah, Andrew Smart, Rebecca N. White, Margaret Mitchell, Timnit Gebru, Ben Hutchinson, Jamila Smith-Loud, Daniel Theron, and Parker Barnes. "Closing the AI Accountability Gap: Defining an End-to-End Framework for Internal Algorithmic Auditing." *FAT* 2020 - Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 2020. <https://doi.org/10.1145/3351095.3372873>.
- Rudyanto, Astrid, and Sylvia Veronica Siregar. "The Effect of Stakeholder Pressure and Corporate Governance on the Sustainability Report Quality." *International Journal of Ethics and Systems* 34, no. 2 (2018). <https://doi.org/10.1108/IJOES-05-2017-0071>.
- Saraswati, Erwin, Zarina Zakaria, Sari Atmini, Arum Prastiwi, Jeya Santhini, Roshni Ann George, and Achmad Iqbal. "Greenwashing Strategy in ESG Disclosure: The Mediating Role of Information Quality in Creating Shared Value." *Problems and Perspectives in Management* 23, no. 3 (2025). [https://doi.org/10.21511/ppm.23\(3\).2025.48](https://doi.org/10.21511/ppm.23(3).2025.48).
- Shui, Zhang Le, Hongqi Wang, Cong Ke Xin, and Rui Xue. "Unintended Societal Outcome of Investor Protection: Independent Director Liability and Greenwashing." *Journal of Accounting Literature*, ahead of print, 2025. <https://doi.org/10.1108/JAL-06-2025-0310>.
- Simnett, Roger, Ann Vanstraelen, and Wai Fong Chua. "Assurance on Sustainability Reports: An International Comparison." *Accounting Review* 84, no. 3 (2009). <https://doi.org/10.2308/accr.2009.84.3.937>.
- Sislian, Lucie, and Anicia Jaegler. "Linkage of Blockchain to Enterprise Resource Planning Systems for Improving Sustainable Performance." *Business Strategy and the Environment* 31, no. 3 (2022). <https://doi.org/10.1002/bse.2914>.
- Suchman, Mark C. "Managing Legitimacy: Strategic and Institutional Approaches." *Academy of Management Review* 20, no. 3 (1995). <https://doi.org/10.5465/amr.1995.9508080331>.
- Vinuesa, Ricardo, Hossein Azizpour, Iolanda Leite, Madeline Balaam, Virginia Dignum, Sami Domisch, Anna Felländer, Simone Daniela Langhans, Max Tegmark, and Francesco Fuso Nerini. "The Role of Artificial Intelligence in Achieving the Sustainable Development Goals." In *Nature Communications*, vol. 11. no. 1. Preprint, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>.
- Wilson, Nick, and Mike Wright. "Private Equity, Buy-Outs and Insolvency Risk." *Journal of Business Finance and Accounting* 40, nos. 7–8 (2013). <https://doi.org/10.1111/jbfa.12042>.
- Yu, Ellen Pei yi, Bac Van Luu, and Catherine Huirong Chen. "Greenwashing in Environmental, Social and Governance Disclosures." *Research in International Business and Finance* 52 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101192>.

Zhao, Xiaoxia, and Lianghui Cai. "Digital Transformation and Corporate ESG: Evidence from China." *Finance Research Letters* 58 (2023).
<https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104310>.