



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan Sebagai Strategi Keberlanjutan Global

Environmentally Friendly Technology Innovation as a Global Sustainability Strategy

Aqmal Ibnu Zein¹, M. Nafakhudin Azizullah²

¹ Sekolah Tinggi Agama Islam Darussalam Kunir Subang, akmalibnuzein11@gmail.com

² Sekolah Tinggi Agama Islam Darussalam Kunir Subang, nafakhudin@gmail.com

*Corresponding Author: E-mail: akmalibnuzein11@gmail.com

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 18 Jan, 2026

Revised: 08 Feb, 2026

Accepted: 23 Feb, 2026

Kata Kunci:

Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan, Riset dan Pengembangan (R&D), Keberlanjutan, Ekonomi Hijau, Studi Literatur, Indonesia.

ABSTRAK

Tekanan global akibat perubahan iklim, polusi, dan penipisan sumber daya menuntut urgensi inovasi teknologi yang berorientasi lingkungan. Artikel ini menganalisis peran fundamental Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan (Green Technology) sebagai strategi utama untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, khususnya dalam konteks Indonesia. Dengan latar belakang geografis yang kompleks dan peningkatan emisi gas rumah kaca yang konsisten, inovasi menjadi katalis krusial bagi transisi menuju ekonomi hijau. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain studi literatur (literature review) sistematis, yang berfokus pada analisis tren, potensi, dan tantangan Riset dan Pengembangan (R&D) teknologi hijau global dan domestik. Hasil temuan menunjukkan bahwa inovasi teknologi, yang mencakup energi terbarukan, rekayasa proses industri, hingga material berkelanjutan, memiliki potensi besar untuk mengurangi jejak ekologis sekaligus membuka peluang ekonomi baru (decoupled growth). Meskipun demikian, proses pengembangan inovasi masih dihadapkan pada hambatan signifikan, seperti kebutuhan investasi R&D awal yang tinggi dan kesenjangan kapasitas riset antar-negara. Oleh karena itu, diusulkan model strategis Riset → Inovasi → Pengembangan Prototipe → Keberlanjutan yang menuntut kolaborasi intensif antara pemerintah (melalui insentif R&D), industri, dan akademisi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa fokus pada inovasi yang adaptif dan terintegrasi adalah kunci untuk mengoptimalkan potensi teknologi hijau dan mewujudkan sistem ekonomi yang lebih berketahanan di masa depan.

Keywords:

Green Technology Innovation I, Research and Development (R&D), Sustainability, Green Economy, Literature, Review, Indonesia.

DOI: 10.56338/jks.v9i2.10438

ABSTRACT

Global pressures stemming from climate change, pollution, and resource depletion necessitate the urgent development of environmentally-oriented technological innovation. This article analyzes the fundamental role of Green Technology Innovation as a core strategy for achieving sustainable development, particularly within the Indonesian context. Given the complex geographical background and a consistent rise in greenhouse gas emissions, innovation emerges as a crucial catalyst for the transition toward a green economy. This study employs a qualitative descriptive approach with a systematic literature review design, focusing on analyzing the trends, potential, and challenges associated with Research and Development (R&D) in green technology, both globally and domestically. Findings indicate that technological innovation, encompassing renewable energy, industrial process engineering, and sustainable materials, holds significant potential to reduce ecological footprints while simultaneously opening new economic opportunities (decoupled growth). Nevertheless, the innovation development process still faces substantial hurdles, such as the requirement for high initial R&D investment and the capacity gap in research between nations. Therefore, a strategic model is proposed: Research → Innovation → Prototype Development → Sustainability, which mandates intensive collaboration among the government (through R&D incentives), industry, and academia. This research concludes that a focus on adaptive and integrated innovation is the key to optimizing the potential of green technology and realizing a more resilient economic system in the future.

PENDAHULUAN

Lingkungan hidup global saat ini berada pada titik kritis akibat meningkatnya tekanan dari aktivitas manusia yang tidak terkendali (Missleini, 2023). Seiring dengan laju industrialisasi, urbanisasi, dan konsumsi energi global, isu degradasi lingkungan seperti polusi udara, pencemaran air, deforestasi, dan perubahan iklim menjadi tantangan serius bagi keberlanjutan kehidupan di Bumi (Mahardhika et al., 2024). Fenomena ini bukan hanya berdampak pada keseimbangan ekosistem, tetapi juga menimbulkan konsekuensi sosial-ekonomi yang luas: meningkatnya kerentanan pangan, migrasi iklim, dan gangguan kesehatan masyarakat (Febriosa et al., 2025). Dalam konteks ini, muncul urgensi untuk mencari solusi yang tidak hanya menitik beratkan pada pertumbuhan ekonomi, tetapi juga menjaga kelestarian lingkungan dan kesejahteraan sosial jangka panjang.

Salah satu pendekatan yang mendapat perhatian global dalam dua dekade terakhir adalah pengembangan teknologi ramah lingkungan *green technology* (Maghfuriyah et al., 2024). Istilah ini mengacu pada inovasi teknologi yang dirancang untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan melalui efisiensi sumber daya, pengurangan emisi karbon, pengelolaan limbah, serta pemanfaatan energi terbarukan. Sebagai contoh, penelitian oleh (Mas et al., 2024) menyoroti peran teknologi hijau dalam perkembangan ekonomi rendah karbon. Teknologi ramah lingkungan tidak hanya menjadi tren, tetapi telah berkembang menjadi kebutuhan fundamental dalam mendukung konsep pembangunan berkelanjutan *sustainable development*. Sebagaimana dirumuskan dalam *Sustainable Development Goals* khususnya

tujuan yang berkaitan dengan energi bersih, industri inovatif, dan aksi terhadap perubahan iklim teknologi hijau menjadi salah satu pilar penting (Ulfah & Cahyadi, 2025).

Dalam konteks Indonesia, inovasi teknologi ramah lingkungan menjadi semakin penting mengingat karakteristik geografis dan demografis yang kompleks serta kebutuhan untuk menjaga keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan (Harsono et al., 2025). Sebagai negara kepulauan dengan kekayaan sumber daya alam yang berlimpah, Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan berbagai bentuk inovasi hijau yang mampu mengoptimalkan sumber daya secara efisien dan berkelanjutan. Laju industrialisasi dan urbanisasi yang pesat menuntut munculnya terobosan inovatif dalam bidang energi, transportasi, pertanian, dan industri untuk menekan ketergantungan terhadap energi fosil serta mengurangi emisi karbon (Zubaydah et al., 2024). Dalam hal ini, inovasi berperan sebagai katalis bagi lahirnya teknologi baru yang lebih bersih, efisien, dan ramah lingkungan, sekaligus mendorong transformasi menuju ekonomi hijau (*green economy*). Pengembangan energi terbarukan, teknologi efisiensi sumber daya, serta material berkelanjutan merupakan contoh nyata dari arah inovasi yang semakin berorientasi pada keberlanjutan. Selain itu, inovasi juga mencerminkan proses kolaboratif antara pemerintah, akademisi, sektor industri, dan masyarakat dalam menciptakan solusi kreatif terhadap tantangan lingkungan global (Irwin et al., 2024). Dengan demikian, inovasi teknologi ramah lingkungan di Indonesia tidak hanya menjadi sarana teknologis, tetapi juga simbol perubahan paradigma menuju sistem ekonomi yang inklusif, adaptif, dan berdaya saing tinggi di era transisi menuju pembangunan berkelanjutan (Purwita et al., 2025).

Kajian akademik mengenai teknologi ramah lingkungan menunjukkan adanya variasi dalam fokus penelitian. Beberapa studi terdahulu lebih menekankan pada aspek teknis dan efisiensi energi, seperti penelitian yang mengeksplorasi integrasi teknologi hijau dan ekonomi sirkular (Tumba, 2024). Studi lain berfokus pada dampak ekonomi dan sosial penerapan teknologi ini, seperti yang ditemukan dalam riset di Indonesia bahwa inovasi teknologi hijau dapat meningkatkan kinerja keuangan usaha kecil dan menengah (UKM) (Bratamanggala & Hendayana, 2024). Selain itu, ada pula penelitian yang mengeksplorasi hambatan dan tantangan inovasi teknologi hijau dalam konteks ketidakpastian global. Sebagai contoh, sebuah studi global menunjukkan bahwa indeks ketidakpastian dunia berpengaruh negatif terhadap inovasi paten teknologi hijau (Alatrash et al., 2025).

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah memberikan kontribusi signifikan terhadap literatur, masih terdapat kesenjangan penelitian *research gap* dalam memahami hubungan yang holistik antara inovasi teknologi, efektivitas implementasi, serta dampak sosial-ekonomi yang ditimbulkan (Yunus, 2024). Istilah ini mengacu pada inovasi teknologi yang dirancang untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan melalui efisiensi sumber daya, pengurangan emisi karbon, pengelolaan limbah, serta pemanfaatan energi terbarukan. Teknologi ramah lingkungan tidak hanya menjadi tren, tetapi telah berkembang menjadi kebutuhan fundamental

dalam mendukung konsep pembangunan berkelanjutan *sustainable development*. Menurut laporan *United Nations Environment Programme (UNEP)*, penerapan teknologi ramah lingkungan dapat membantu mencapai 9 dari 17 tujuan *Sustainable Development Goals (SDGs)*, termasuk energi bersih, industri inovatif, serta aksi terhadap perubahan iklim.

Kompleksitas geografis dan demografis Indonesia menuntut fokus intensif pada inovasi teknologi ramah lingkungan (Nainggolan et al., 2023). Sebagai negara kepulauan dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, tantangan menyeimbangkan pembangunan ekonomi dengan pelestarian lingkungan harus dijawab melalui terobosan ilmiah. Mengingat laju industrialisasi dan urbanisasi yang pesat meningkatkan konsumsi energi fosil dan menghasilkan emisi karbon signifikan, ditambah data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang menunjukkan peningkatan emisi gas rumah kaca yang konsisten, kebutuhan akan inovasi menjadi sangat mendesak. Inovasi harus difokuskan pada pengembangan sumber energi terbarukan yang adaptif secara lokal, seperti teknologi untuk memanfaatkan potensi energi arus laut, panas bumi yang melimpah, dan bioenergi dari biomassa (Irsan et al., 2025). Selain itu, diperlukan inovasi dalam rekayasa proses (*Green Chemistry*) untuk mengurangi limbah dan polusi dari sektor industri. Inovasi teknologi yang cerdas dan disesuaikan dengan skala lokal ini, bukan sekadar implementasi teknologi yang sudah ada, merupakan strategi kunci untuk mengarahkan percepatan transisi Indonesia menuju ekonomi hijau (*green economy*) (Mas et al., 2024).

Berbagai sektor strategis di Indonesia telah mulai menerapkan teknologi ramah lingkungan, seperti energi, transportasi, pertanian, dan pengelolaan limbah (Mahendra et al., 2024). Di sektor energi, misalnya, pengembangan pembangkit listrik tenaga surya, air, dan biomassa terus ditingkatkan untuk menggantikan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Di bidang transportasi, penerapan kendaraan listrik dan sistem transportasi publik berbasis energi bersih mulai menunjukkan perkembangan positif. Sementara di sektor industri, konsep produksi bersih (*clean production*) dan efisiensi energi menjadi bagian dari standar operasional yang mulai diterapkan oleh perusahaan-perusahaan besar (Nugraha et al., 2024a). Namun demikian, tingkat adopsi teknologi ini masih menghadapi berbagai hambatan, mulai dari keterbatasan infrastruktur, kurangnya investasi, hingga rendahnya kesadaran publik terhadap manfaat jangka panjang teknologi hijau (Faza & Hammam, 2025).

Kajian akademik mengenai teknologi ramah lingkungan menunjukkan adanya fokus yang beragam pada aspek inovasi dan pengembangan. Sejumlah studi terdahulu sangat menekankan pada aspek teknis dan efisiensi energi, seperti penelitian oleh (Bani, 2025), yang berfokus pada pengembangan sistem energi terbarukan berbasis smart grid. Inovasi lain meliputi terobosan dalam *Green Chemistry* dan rekayasa material untuk menciptakan proses produksi yang lebih bersih, sebagaimana disoroti dalam penelitian terbaru. Studi lain berpusat pada kerangka kerja teoretis dan model untuk mengukur potensi inovasi dalam transisi teknologi hijau di negara berkembang, seperti penelitian oleh (Bukran & Ramdani, 2024), yang menyoroti pentingnya dukungan kebijakan publik dalam mempercepat pengembangan

teknologi ini. Meskipun berbagai penelitian tersebut telah memberikan kontribusi signifikan terhadap literatur, masih terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) dalam memahami hubungan yang lebih mendalam antara inovasi teknologi yang dihasilkan, proses penciptaan prototipe yang efektif, dan bagaimana desain teknologi itu sendiri dapat disesuaikan untuk mencapai efektivitas jangka panjang.

Sebagian besar penelitian terdahulu masih bersifat sektoral, berfokus pada satu dimensi inovasi, misalnya hanya pada peningkatan efisiensi energi pada sel surya atau pengembangan teknologi pengurangan emisi. Padahal, untuk memahami potensi Teknologi Ramah Lingkungan secara komprehensif, diperlukan pendekatan multidimensional yang mengintegrasikan aspek inovasi desain teknologi, potensi ekonomi prototipe, dan kesiapan sosial-teknis dalam satu kerangka analisis yang terpadu. Selain itu, penelitian di Indonesia cenderung kurang menyoroti bagaimana faktor-faktor lokal, seperti kebijakan pemerintah daerah dalam mendorong riset dan pengembangan (R&D) atau tingkat ketersediaan bahan baku lokal, memengaruhi arah dan jenis inovasi teknologi yang berhasil dikembangkan. Dengan demikian, artikel ini berupaya mengisi kekosongan tersebut dengan meninjau perkembangan dan kebutuhan inovasi teknologi ramah lingkungan dari sudut pandang yang lebih holistik dan kontekstual terhadap tantangan Indonesia.

Melalui kajian ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang lebih komprehensif tentang bagaimana teknologi ramah lingkungan berperan dalam memperkuat fondasi pembangunan berkelanjutan, sekaligus menjadi rujukan bagi pembuat kebijakan, pelaku industry, dan masyarakat dalam mengembangkan inovasi yang berorientasi pada keberlanjutan (Sari, 2025). Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah untuk menjelaskan definisi formal dan prinsip-prinsip dasar teknologi ramah lingkungan serta keterkaitannya dengan konsep pembangunan berkelanjutan; mengklasifikasikan dan memberikan contoh penerapan teknologi ramah lingkungan di berbagai sector Utama seperti energi, industry, transportasi, dan pengelolaan limbah; menganalisis manfaat multidimensional (lingkungan, ekonomi, dan social) dari penerapan teknologi ramah lingkungan serta mengidentifikasi tantangan yang dihadapi dalam implementasinya; dan mengusulkan model strategi keberlanjutan global berbasis inovasi teknologi ramah lingkungan yang dapat diterapkan oleh negara-negara berkembang dan maju. Dengan demikian, pembahasan yang diuraikan dalam artikel ini tidak hanya akan menjelaskan konsep dan penerapan teknologi ramah lingkungan dari perspektif teoritis, tetapi juga menyoroti realitas implementasi di Indonesia dan dunia, termasuk peluang dan tantangan yang menyertainya pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi transformasi menuju masyarakat dan ekonomi yang lebih hijau, inklusif, serta berketahanan di masa depan (Nugraha et al., 2024b).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain studi literatur (*literature review*) untuk memperoleh pemahaman komprehensif tentang inovasi teknologi ramah lingkungan sebagai strategi keberlanjutan global (Afifudin, 2025). Pendekatan kualitatif deskriptif dipilih karena penelitian berfokus pada fenomena apa dan bagaimana yaitu inovasi teknologi hijau, tanpa melakukan pengujian statistik atau pengambilan sampel empiris. Desain deskriptif memungkinkan pemaparan naratif yang sistematis dan reflektif terhadap literatur yang ada, dengan tujuan utama untuk mengidentifikasi tren, kesenjangan, dan arah pengembangan teknologi baru yang berorientasi lingkungan (Huda et al., 2025).

Sumber data yang digunakan adalah literatur sekunder yang relevan dengan topik inovasi teknologi ramah lingkungan dan pembangunan berkelanjutan. Adapun jenis sumber meliputi: artikel jurnal ilmiah internasional dan nasional yang diterbitkan dalam lima tahun terakhir (≥ 2020) untuk menjaga relevansi; buku yang diterbitkan dalam sepuluh tahun terakhir (≥ 2015) untuk memperkuat kerangka konseptual; serta laporan institusi internasional dan dokumen kebijakan nasional terkait riset dan pengembangan teknologi hijau (TRISAKTI, 2022). Teknik pengumpulan literatur dilakukan dengan langkah-langkah sistematis: menetapkan kata kunci pencarian yang fokus pada pengembangan teknologi dan R&D, mencari melalui basis data seperti Scopus, *Web of Science*, *Google Scholar*, kemudian menyaring dan memilih literatur berdasarkan kriteria inklusi-eksklusi (DARWANTO, 2024).

Setelah literatur terpilih, peneliti melakukan analisis secara deskriptif-tematik dengan langkah-langkah sebagai berikut: mendokumentasikan karakteristik literatur (tahun publikasi, jenis inovasi teknologi, sektor pengembangan, lokasi riset, hasil utama, tantangan R&D), kemudian mengelompokkan literatur ke dalam tema-utama yang muncul (seperti inovasi material, desain prototipe, model inovasi sirkular, hambatan pengembangan, dan strategi riset). Selanjutnya disajikan narasi yang menggambarkan tren, pola, persamaan dan perbedaan antar-studi terkait arah inovasi, serta mengidentifikasi kesenjangan (*gap*) dalam literatur pengembangan teknologi (Hamsal et al., 2025).

Metode deskriptif ini memungkinkan peneliti untuk menggambarkan kondisi terkini dan pola yang muncul dalam inovasi teknologi tanpa menguji kausalitas secara empiris (Asriningtias, n.d.). Untuk memastikan keandalan dan validitas kajian literatur mengenai tren pengembangan teknologi ini, peneliti menerapkan beberapa strategi rigor: triangulasi sumber (memanfaatkan jurnal, buku, laporan dari berbagai negara maju dan berkembang yang fokus pada R&D); transparansi proses seleksi literatur (mencatat literatur yang disertakan dan yang dikeluarkan) sehingga dapat mereplikasi alur penemuan inovasi; dan sistematisasi analisis dengan dokumentasi tema-utama pengembangan yang jelas serta refleksi kritis terhadap keterbatasan literatur mengenai arah inovasi yang ada (Bancong, 2025). Strategi-strategi ini penting agar hasil analisis literatur mengenai perkembangan teknologi hijau menjadi valid dan dapat dipercaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil literatur menunjukkan bahwa inovasi teknologi ramah lingkungan memiliki potensi yang signifikan terhadap tiga dimensi keberlanjutan: lingkungan, ekonomi, dan sosial (Rahmawati & Bayangkara, 2024). Dari perspektif lingkungan, literatur menunjukkan bahwa pengembangan teknologi seperti sumber energi terbarukan dan sistem rekayasa limbah sirkular berpotensi besar menurunkan jejak karbon dan menjaga kesehatan ekosistem. Sebagai contoh, kajian oleh *A Comprehensive Review of Green Energy Technologies* mengungkapkan bahwa meskipun potensi pengembangan teknologi terbarukan sangat besar, bidang ini masih menemui hambatan mendasar seperti biaya penelitian dan pengembangan (R&D) awal yang tinggi serta tantangan teknis terkait intermitensi sumber daya (Maghfuriyah et al., 2024). Secara ekonomi, inovasi teknologi hijau membuka ruang bagi penciptaan jenis pekerjaan baru yang berfokus pada R&D (*green innovation jobs*), peningkatan efisiensi desain produksi, dan potensi pertumbuhan ekonomi yang didorong oleh prototipe baru. Literatur menunjukkan bahwa pengembangan teknologi hijau dapat menjadi pendorong pertumbuhan ekonomi sekaligus dirancang untuk menjaga keberlanjutan. Di ranah sosial, inovasi teknologi ramah lingkungan diarahkan untuk memperbaiki kualitas hidup masyarakat melalui desain teknologi yang memungkinkan akses energi yang lebih bersih dan dirancang untuk mengurangi polusi (Hutajulu et al., 2024). Namun demikian, banyak studi mencatat bahwa proses inovasi dan pengembangan prototipe yang berfokus pada dampak-sosial jangka panjang masih memerlukan penelitian lanjutan yang lebih mendalam, terutama dalam konteks adaptasi teknologi di lingkungan lokal (Yusuf, 2023).

Meskipun potensi dari inovasi teknologi ramah lingkungan sangat besar, proses pengembangannya dihadapkan pada berbagai kendala pelik. Salah satu hambatan utama adalah investasi awal yang tinggi dalam Riset dan Pengembangan (R&D), baik dari sisi teknologi fundamental maupun infrastruktur riset pendukung, seperti fasilitas penyimpanan energi canggih atau laboratorium pengembangan prototipe kendaraan listrik. Di sisi regulasi dan kebijakan, literatur menunjukkan bahwa institusi yang lemah atau kebijakan yang kurang kohesif dalam mendorong R&D dapat memperlambat laju inovasi teknologi hijau. Sebagai contoh, artikel *Green Growth, Green Technology, and Environmental Health* menunjukkan bahwa meskipun pengembangan teknologi hijau secara statistik meningkatkan potensi pertumbuhan hijau, faktor seperti konsumsi energi fosil dan emisi tetap menghambat pencapaian keberlanjutan di beberapa negara berpenghasilan tinggi karena kurangnya dukungan inovasi yang radikal. Selain itu, perbedaan kapasitas antara negara maju dan berkembang dalam hal R&D, infrastruktur ilmiah, dan literasi teknologi juga merupakan tantangan signifikan dalam menciptakan inovasi yang berdaya saing. Untuk itu, strategi pengembangan yang efektif harus mempertimbangkan konteks lokal, keadilan dalam akses

teknologi (*technology equity*), dan keterlibatan multi-aktor sejak tahap riset (Sasongko et al., 2025).

Berdasarkan tinjauan literatur, model strategis yang menghubungkan inovasi teknologi ramah lingkungan dengan hasil pengembangan yang efektif dapat dirumuskan sebagai kerangka: Riset → Inovasi → Pengembangan Prototipe → Keberlanjutan. Model ini menekankan pentingnya kolaborasi antara pemerintah, industri, dan akademisi sebagai tiga pilar keberhasilan (Wibowo, 2022). Pemerintah perlu menciptakan regulasi dan insentif yang mendukung R&D, industri harus melakukan investasi R&D dan transformasi proses pengembangan, serta akademisi perlu meningkatkan literasi dan output inovasi. Literatur seperti artikel *The Dynamic Role of Green Innovation Adoption and Green Technology Adoption in the Digital Economy* menegaskan bahwa inovasi dan pengembangan teknologi hijau secara signifikan memengaruhi ekonomi digital dan pertumbuhan ekonomi, asalkan didukung dengan kapasitas keuangan dan institusi riset yang memadai (Wiradinata & Malik, 2024). Untuk negara berkembang, adaptasi model ini mungkin memerlukan mekanisme pembiayaan inovatif dan penguatan kapasitas teknologi lokal untuk memastikan terobosan ilmiah dapat terjadi (Azizah et al., 2025).

Ringkasan pembahasan menegaskan bahwa inovasi teknologi ramah lingkungan memainkan peran sentral dalam membangun fondasi keberlanjutan global, namun keberhasilan transformasi sangat bergantung pada efektivitas pengembangan desain dan prototipe yang dilakukan (Damanik et al., 2025). Temuan ini memberi sinyal jelas bagi pembuat kebijakan untuk memperkuat kerangka regulasi yang mendukung Riset dan Pengembangan (R&D) dan menyediakan insentif fiskal serta non-fiskal khusus untuk kegiatan inovasi. Dari sudut akademik, penelitian ini mengungkap beberapa kesenjangan penelitian (*research gaps*): kurangnya studi longitudinal di negara berkembang yang melacak perkembangan inovasi dari tahap awal hingga skala laboratorium, dan kebutuhan riset yang mengintegrasikan berbagai sektor (*benchmarking* inovasi energi, transportasi, dan material) (Badrudin et al., n.d.). Oleh karena itu, riset ke depan dapat diarahkan pada evaluasi efektivitas inovasi dalam konteks jangka panjang dan skala besar, serta strategi adaptasi pengembangan teknologi yang sesuai untuk berbagai wilayah geografis, memastikan inovasi yang dihasilkan bersifat *applicable* dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa inovasi teknologi ramah lingkungan memainkan peran fundamental dalam memperkuat fondasi pembangunan berkelanjutan secara global. Dengan berfokus pada pengembangan teknologi hijau—mulai dari desain energi terbarukan generasi baru, rekayasa transportasi rendah karbon, inovasi proses industri bersih, hingga arsitektur bangunan hijau—negara dan lembaga dapat secara efektif menurunkan potensi jejak ekologis. Literatur menunjukkan bahwa inovasi teknologi hijau tidak hanya menghasilkan manfaat lingkungan, seperti potensi pengurangan emisi CO₂ dan efisiensi penghematan

sumber daya alam, tetapi juga membuka peluang ekonomi inklusif melalui penciptaan industri baru yang didorong R&D dan membuka lapangan pekerjaan yang berorientasi pada pengembangan teknologi, serta secara tidak langsung meningkatkan kualitas hidup melalui desain teknologi yang lebih bersih. Dengan demikian, investasi pada inovasi adalah kunci utama untuk mencapai pertumbuhan ekonomi yang terpisah (*decoupled*) dari kerusakan lingkungan.

Namun, potensi besar inovasi teknologi hijau sebagai strategi keberlanjutan sangat bergantung pada efektivitas pengembangan desain dan kapasitas R&D yang dimiliki. Hambatan seperti biaya awal yang tinggi untuk riset fundamental, kurangnya literasi teknologi di kalangan peneliti dan industri, serta kesenjangan kapasitas R&D antara negara maju dan berkembang masih menjadi tantangan besar dalam menciptakan terobosan. Oleh karena itu, pengembangan teknologi hijau tidak bisa hanya dilihat sebagai isu teknis, melainkan juga sebagai transformasi sistem—melibatkan peningkatan kemampuan inovasi kebijakan, inovasi industri, dan inovasi akademik secara sinergis.

Secara khusus, model strategis yang mengintegrasikan Riset → Inovasi → Pengembangan Prototipe → Keberlanjutan muncul sebagai kerangka yang relevan untuk negara-maju maupun negara berkembang. Untuk mewujudkan strategi tersebut, perlu dilakukan kolaborasi yang intensif antara pemerintah, industri, dan akademisi dalam hal pendanaan R&D bersama; insentif fiskal dan nonfiskal yang tepat harus diberikan untuk kegiatan inovasi; serta penguatan literasi dan kapasitas teknologi harus diutamakan. Ke depan, riset perlu diarahkan pada evaluasi jangka panjang terhadap efektivitas desain inovasi yang dihasilkan, integrasi lintas-sektor pengembangan teknologi, dan strategi adaptasi prototipe sesuai karakteristik sumber daya lokal.

Dengan demikian, meskipun tantangan dalam pengembangan teknologi masih nyata, fokus pada inovasi teknologi ramah lingkungan merupakan keharusan dalam mencapai keberlanjutan global. Transformasi menuju ekonomi dan masyarakat yang lebih hijau dapat terwujud apabila inovasi teknologi hijau dioptimalkan melalui kerangka R&D yang strategis dan sinergis. Dengan demikian, meskipun tantangan dalam pengembangan teknologi masih nyata, fokus pada inovasi teknologi ramah lingkungan merupakan keharusan dalam mencapai keberlanjutan global. Transformasi menuju ekonomi dan masyarakat yang lebih hijau dapat terwujud apabila inovasi teknologi hijau dioptimalkan melalui kerangka R&D yang strategis dan sinergis.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifudin, M. (2025). Kajian Literatur Manajemen Strategik dalam Meningkatkan Daya Saing Usaha Kecil Menengah Berbasis Inovasi Berkelanjutan. *Inovasi Pembangunan: Jurnal Kelitbangan*, 13(2).
- Alatrash, M. A., Bein, M. A., & Samour, A. (2025). The Impact of World Uncertainty, Environmental Policy Stringency, and Technological Innovation on Environmental Sustainability: Evidence from High-Income Countries. *Sustainability*, 17(3), 1134. <https://doi.org/10.3390/su17031134>
- Asriningtias, Y. (n.d.). *Pendekatan Inovatif Dalam Penelitian Teknologi Informasi*. Penerbit Adab.
- Azizah, S., Pt, S., Sos, M., & Commun, M. (2025). Pengembangan Masyarakat. *Pengembangan Masyarakat Berbasis Digital*, 54.
- Badruddin, S., Halim, P., Wulandari, F. T., & IP, S. (n.d.). *METODE PENELITIAN SOSIAL*.
- Bancong, H. (2025). *Strategi Reviu Riset dan Konstruksi Teori: Metode, Analisis, dan Studi Kasus*. Indonesia Emas Group.
- Bani, P. (2025). Green Insurance untuk Masa Depan Berkelanjutan: Tinjauan Literatur tentang Inovasi, Tantangan dan Regulasi. *Premium Insurance Business Journal*.
- Bratamanggala, R. I., & Hendayana, Y. (2024). Sustainability and Technology Use in SMEs: A Pathway to Green Innovation: Keberlanjutan dan Penggunaan Teknologi pada UMKM: Jalan Menuju Inovasi Ramah Lingkungan. *J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah*, 3(6), 6772–6781.
- Bukran, B., & Ramdani, R. (2024). Pengaruh kebijakan ekonomi hijau terhadap inovasi bisnis berkelanjutan di sektor manufaktur. *Economist: Jurnal Ekonomi Dan Bisnis*, 1(3), 35–42.
- Damanik, F. H. S., Sirait, H., Minarsi, A., Abae, I., Hendratni, T. W., & Purba, J. H. V. (2025). *Transformasi Ekonomi: Inovasi dan Pertumbuhan Ekonomi Global di Abad ke-21*. Star Digital Publishing.
- DARWANTO, A. (2024). Dasar-Dasar Ilmu Riset. *Yogyakarta: Yayasan Putra Adi*.
- Faza, A. D., & Hammam, N. (2025). Implementasi kebijakan green economy di Indonesia dalam upaya mendukung perdagangan berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Manajemen*, 3(2), 59–64.
- Febriosa, S., Pratama, W. S., & Mahdalena, Z. (2025). Analisis Dampak Perubahan Iklim Terhadap Kualitas Lingkungan Hidup Dan Kehidupan Sosial Masyarakat. *MUDABBIR Journal Research and Education Studies*, 5(2), 2211–2221.
- Hamsal, M., Ichsan, M., Binsar, F., & Abdinagoro, S. B. (2025). *Menembus Publikasi Internasional Bereputasi Panduan Praktis Menulis Artikel Ilmiah*. Deepublish.
- Harsono, I., Sulistiowati, S., Apriyanto, A., & Demung, I. W. (2025). *Buku Referensi Pembangunan Ekonomi Kewilayahan*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.

- Huda, N., Manek, A., Taolin, M. L., & Aziz, S. (2025). *Metodologi Penelitian Manajemen dan Bisnis: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif & Campuran*. Nurul Huda.
- Hutajulu, H., Runtunuwu, P. C. H., Judijanto, L., Ilma, A. F. N., Ermanda, A. P., Fitriyana, F., Mudjiyanti, R., Maichal, M., Boari, Y., & Laksono, R. D. (2024). *Sustainable Economic Development: Teori dan Landasan Pembangunan Ekonomi Berkelanjutan Multi Sektor di Indonesia*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Irsan, M., Radhiansyah, R., Yurika, Y., Noor, N. C., Taryana, E., Abidin, A., & Qadri, U. (2025). *Sistem Energi: Konsep, Teknologi, dan Implementasi Berkelanjutan*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Irwin, M., Fajriansyah, A., Qamariah, N., Agusta, R., Aminah, A., & Hasiah, H. (2024). Penerapan Ekonomi Sirkular pada Industri Kreatif: Peluang dan Tantangan di Era Digital. *J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah*, 3(5), 4489–4502.
- Maghfuriyah, A., Hertin, R. D., Wijaya, H., Anjara, F., Nugroho, F., Listiana, N., & Istiqomah, N. A. (2024). Green Technology Innovation and Its Impact on Financial Performance with the Moderation of Green Image and Green Subsidies in SMEs in Depok City. *Journal of Environmental Economics and Sustainability*, 1(4), 7. <https://doi.org/10.47134/jees.v1i4.449>
- Mahardhika, Z. M., Hapsari, I. M., & Rajib, R. K. (2024). Urgensi reformasi hukum lingkungan terhadap perubahan iklim di indonesia. *Jurnal Kebijakan Pembangunan*, 19(2), 235–244.
- Mahendra, G. S., Judijanto, L., Tahir, U., Nugraha, R., Dwipayana, A. D., Nuryanneti, I., Heri, D., Meilin, A., Saktisyahputra, S., & Rakhmadani, D. P. (2024). *Green Technology: Panduan Teknologi Ramah Lingkungan*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Mas, I. G. A. M. A., Pratiwi, A., Nurhayati, N., Apriyanto, A., Kusumastuti, S. Y., & Wijaya, R. (2024). *Green Economy*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Missleini, M. (2023). Kerusakan Lingkungan Dan Jasa Ekosistem Akibat Perilaku Tekanan Manusia. *ALADALAH: Jurnal Politik, Sosial, Hukum Dan Humaniora*, 1(3), 256–268.
- Nainggolan, H., Nuraini, R., Sepriano, S., Aryasa, I. W. T., Meilin, A., Adhicandra, I., Putri, E., Andiyan, A., & Prayitno, H. (2023). *Green technology innovation: Transformasi teknologi ramah lingkungan berbagai sektor*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Nugraha, R., Varlitya, C. R., Judijanto, L., Adiwijaya, S., Suryahani, I., Murwani, I. A., Sopiana, Y., Boari, Y., Kartika, T., & Fatmah, F. (2024a). *Green economy: Teori, konsep, gagasan penerapan perekonomian hijau berbagai bidang di masa depan*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Nugraha, R., Varlitya, C. R., Judijanto, L., Adiwijaya, S., Suryahani, I., Murwani, I. A., Sopiana, Y., Boari, Y., Kartika, T., & Fatmah, F. (2024b). *Green economy: Teori, konsep, gagasan penerapan perekonomian hijau berbagai bidang di masa depan*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.

- Purwita, A. W., Rustiyana, R., Judijanto, L., Tantrisna, E., Sjoen, M. C., Abdillah, F., Salim, A. A., & Tedja, J. N. (2025). *Smart City: Konsep Dasar dalam Penerapan Sistem Perkotaan Berkelanjutan*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Rahmawati, N., & Bayangkara, I. K. (2024). Peran green economy dalam meningkatkan aspek kesejahteraan sosial masyarakat (Studi literatur). *Inisiatif: Jurnal Ekonomi, Akuntansi Dan Manajemen*, 3(3), 289–301.
- Sari, D. P. (2025). Green Economy sebagai Strategi Pembangunan Berkelanjutan: Kajian Literatur. *Jurnal Manajemen Ekonomi Dan Bisnis*, 2(1).
- Sasongko, N. H. P., Putra, R. A. C., Lidiyawati, H., KEP, S., KEP, N. M., & Andarmoyo, S. (2025). *Revolusi Kesehatan: Kolaborasi Teknologi, Inovasi, Dan Kebijakan*. PT. Nawala Gama Education.
- TRISAKTI, S. (2022). URGENSI DAN JENIS-JENIS PUBLIKASI ILMIAH. *Tips Dan Trik Publikasi Jurnal Bereputasi*, 53.
- Tumba, A. N. B. (2024). MENGEKSPLORASI JARINGAN KONSEPTUAL DALAM EKONOMI SIRKULAR: ANALISIS BIBLIOMETRIK. *Jurnal Riset Manajemen Dan Bisnis*, 19(2), 123–136.
- Ulfah, A., & Cahyadi, A. (2025). Keberlanjutan Dan Teknologi Hijau Dalam Perspektif Islam. *EDUCATIONAL JOURNAL: General and Specific Research*, 5(1), 131–151.
- Wibowo, A. (2022). Model bisnis ramah lingkungan (green business). *Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik*, 1–120.
- Wiradinata, M. A., & Malik, A. (2024). INOVASI DAN TEKNOLOGI UNTUK MENDUKUNG PEMBANGUNAN EKONOMI BERKELANJUTAN DI ERA DIGITAL INDONESIA. *Jurnal Media Akademik (JMA)*, 2(12).
- Yunus, M. (2024). Eksplorasi Model Inovasi Sosial dalam Pemberdayaan Perempuan di Era Ekonomi Berkelanjutan. *Asian Journal of Multidisciplinary Research*, 1(4), 166–174.
- Yusuf, M. (2023). *Inovasi pendidikan abad-21: Perspektif, tantangan, dan praktik terkini*. Selat Media.
- Zubaydah, A., Sabilah, A. Z., Sari, D. P., & Hidayah, F. N. A. (2024). Mengurangi emisi: Mendorong transisi ke energi bersih untuk mengatasi polusi udara. *BIOCHEPHY: Journal of Science Education*, 4(1), 11–21.