

## Green Innovation Dan Circular Economy Dalam Ekosistem Energi Terbarukan: Arah Baru Pertumbuhan Ekonomi Hijau

Teguh Budi Raharjo<sup>1</sup>, A. Musyarrafah Vetriyani<sup>2</sup>, Anshar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Politeknik Negeri Ujung Pandang, Indonesia

e-mail: [amusyarrafah@poliupg.ac.id](mailto:amusyarrafah@poliupg.ac.id)

### Abstrak

*Percepatan transisi menuju energi terbarukan merupakan pilar utama dalam mewujudkan ekonomi hijau yang berkelanjutan. Namun, dekarbonisasi sektor energi tidak hanya sekadar menggantikan bahan bakar fosil, melainkan memerlukan transformasi sistemik yang mengintegrasikan inovasi hijau dan ekonomi sirkular. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan sinergis antara inovasi hijau dan ekonomi sirkular dalam memperkuat ekosistem energi terbarukan serta implikasinya terhadap pertumbuhan ekonomi hijau di negara berkembang. Dengan menggunakan tinjauan literatur sistematis (2015–2025) dari Scopus dan ScienceDirect, dikombinasikan dengan analisis kebijakan dan data empiris dari IRENA, IEA, dan Bappenas, penelitian ini menemukan bahwa inovasi hijau berperan sebagai katalis dalam peningkatan efisiensi energi dan pengurangan emisi, sementara ekonomi sirkular memperpanjang umur material, mengurangi limbah, dan meningkatkan ketahanan rantai pasok. Hambatan utama meliputi kerangka regulasi, keterbatasan investasi, dan kapasitas sumber daya manusia. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi kedua konsep tersebut ke dalam kebijakan energi nasional dapat mempercepat pertumbuhan hijau, menciptakan lapangan kerja baru, dan mendukung pencapaian target net zero emission pada tahun 2060.*

**Kata kunci:** *inovasi hijau, ekonomi sirkular, energi terbarukan, ekonomi hijau, kebijakan energi berkelanjutan*

### PENDAHULUAN

Krisis energi global dan perubahan iklim merupakan tantangan utama abad ke-21. Sektor energi bertanggung jawab atas sekitar 75 % emisi gas rumah kaca dunia (IRENA, 2024). Meningkatnya permintaan energi, keterbatasan sumber daya fosil, dan tekanan geopolitik mendorong negara-negara beralih ke energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, air, dan biomassa. Namun, transisi energi tidak cukup hanya mengganti sumber energy, tetapi juga menuntut perubahan sistem produksi, konsumsi, dan pengelolaan sumber daya secara menyeluruh (UNEP, 2023).

Dalam konteks ini, konsep inovasi hijau (green innovation) dan ekonomi sirkular (circular economy) menjadi fondasi transformasi menuju pembangunan rendah karbon. Inovasi hijau berfokus pada pengembangan teknologi, proses, dan model bisnis yang mengurangi dampak lingkungan, sementara ekonomi sirkular menekankan efisiensi sumber daya melalui prinsip reduce, reuse, recycle, recover, dan redesign (OECD, 2024).

Integrasi keduanya berpotensi memperkuat ekosistem energi terbarukan: mengurangi biaya, memperpanjang siklus hidup komponen (misalnya baterai lithium-ion dan panel surya), serta menciptakan lapangan kerja hijau. Makalah ini menelaah hubungan sinergis kedua konsep dalam konteks pembangunan ekonomi hijau.

### METODE PENELITIAN

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini Adalah Pendekatan kualitatif-deskriptif melalui systematic literature review (SLR) digunakan untuk mengidentifikasi tren, kesenjangan, dan temuan empiris terkini. Data diambil dari 80 artikel Scopus Q1-Q2 periode 2015–2025 serta laporan institusi internasional (IRENA, IEA, World Bank, OECD).

Analisis tematik dilakukan terhadap tiga kategori utama:

1. Inovasi teknologi hijau;
2. Penerapan prinsip sirkular dalam energi;
3. Kebijakan dan insentif pendukung.

Validitas Data yakni dengan Triangulasi dilakukan dengan membandingkan hasil akademik, laporan kebijakan, dan data empiris statistik energi nasional (ESDM 2024; IESR 2024).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Temuan 1: Tren Inovasi Hijau Global.

Perkembangan energi terbarukan secara global menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam dekade terakhir. Berdasarkan laporan International Renewable Energy Agency (IRENA, 2024), kapasitas energi terbarukan dunia telah mencapai 3.500 gigawatt (GW), meningkat sebesar 14% dibandingkan tahun sebelumnya. Penurunan biaya produksi energi juga menjadi indikator kuat bahwa inovasi hijau telah menghasilkan efisiensi ekonomi. Biaya Levelized Cost of Electricity (LCOE) untuk energi surya turun sebesar 89%, angin 69%, dan hidro 25% sejak tahun 2010.

Negara dengan investasi tinggi pada penelitian dan pengembangan (R&D) energi hijau menunjukkan efisiensi energi nasional lebih dari 25% dibandingkan negara yang tidak memiliki kebijakan inovasi hijau (Teklie & Yağmur, 2024). Peningkatan efisiensi ini memperlihatkan bahwa inovasi hijau tidak hanya berdampak pada teknologi, tetapi juga pada ketahanan energi dan stabilitas ekonomi jangka panjang. Dengan demikian, tren global menunjukkan pergeseran paradigma menuju ekonomi rendah karbon yang didukung oleh kemajuan teknologi energi bersih.

### Temuan 2: Implementasi Circular Economy dalam Sektor Energi

Prinsip circular economy atau ekonomi sirkular menjadi bagian penting dari strategi keberlanjutan global. Di sektor energi, praktik ini difokuskan pada pengelolaan limbah baterai, panel surya, dan perangkat energi lainnya. Tripathy et al. (2023) mencatat bahwa 70% limbah baterai lithium-ion (LIB) di Eropa kini telah direklamasi. Di Indonesia, langkah konkret dilakukan melalui pembangunan recycling hub oleh PT Indonesian Battery Corporation dengan kapasitas pengolahan 10.000 ton per tahun (ESDM, 2025).

Implementasi ekonomi sirkular ini tidak hanya menekan jumlah limbah, tetapi juga memperkuat kemandirian bahan baku logam strategis seperti nikel, kobalt, dan litium. Upaya ini menjadikan industri energi semakin efisien dan berkelanjutan, sekaligus menciptakan peluang ekonomi baru berbasis daur ulang material energi. Dengan demikian, circular economy berfungsi ganda sebagai solusi lingkungan dan strategi kemandirian sumber daya nasional.

### Temuan 3: Sinergi antara Green Innovation dan Circular Economy

Integrasi antara inovasi hijau dan ekonomi sirkular menghasilkan efek sinergis yang kuat terhadap keberlanjutan sistem energi. Inovasi hijau menghadirkan teknologi yang efisien dan rendah emisi, sedangkan ekonomi sirkular memastikan material dan sumber daya tetap berputar dalam sistem produksi. Kombinasi keduanya menciptakan apa yang disebut triple bottom line: keuntungan ekonomi, pelestarian lingkungan, dan kesejahteraan sosial.

Empat faktor utama pendorong integrasi ini adalah: (1) kebijakan insentif R&D, (2) pasar karbon, (3) sistem manajemen rantai pasok hijau, dan (4) kesadaran konsumen terhadap produk ramah lingkungan. Negara yang mampu memadukan keempat faktor tersebut menunjukkan kinerja transisi energi yang lebih cepat dan berkelanjutan (IRENA, 2024). Dengan demikian, integrasi inovasi hijau dan ekonomi sirkular menjadi pendekatan strategis menuju green growth economy.

#### Temuan 4: Hambatan Implementasi

Meskipun prospek implementasi inovasi hijau dan ekonomi sirkular sangat besar, berbagai hambatan struktural masih menghalangi keberhasilannya.

- **Regulasi:** Lemahnya Kebijakan Extended Producer Responsibility (EPR)  
Kebijakan EPR yang belum kuat di negara berkembang menjadi penghambat utama. Tanpa regulasi yang tegas, pengelolaan limbah produk energi seperti baterai dan panel surya cenderung tidak terstandarisasi (OECD, 2024; Heath, 2022). Tripathy et al. (2023) menunjukkan bahwa negara tanpa EPR yang jelas memiliki tingkat sirkularitas bahan baku energi di bawah 30%, jauh di bawah rata-rata negara maju (>70%).
- **Pendanaan:** Terbatasnya Akses Green Finance  
Akses pembiayaan proyek hijau masih rendah, terutama di kawasan Asia Tenggara. IRENA (2024) mencatat bahwa pendanaan untuk proyek energi bersih di wilayah ini masih 40–50% di bawah kebutuhan optimal. Keterbatasan akses keuangan menahan percepatan adopsi teknologi hijau dan investasi daur ulang industri.
- **Teknologi:** Kurangnya Fasilitas Daur Ulang Industri  
Sebagian besar fasilitas daur ulang masih beroperasi dalam skala semi-industri. Menurut Goyal et al. (2023), tanpa investasi dalam infrastruktur berteknologi tinggi, pemulihan logam strategis dari baterai atau panel surya tidak akan optimal, sehingga menurunkan efisiensi ekonomi sirkular.
- **Sumber Daya Manusia:** Rendahnya Literasi Teknologi Hijau  
Rendahnya literasi SDM dalam bidang energi bersih dan sirkular menjadi kendala krusial (Teklie & Yağmur, 2024). Diperlukan pelatihan dan integrasi kurikulum energi hijau dalam pendidikan tinggi untuk meningkatkan kompetensi tenaga ahli di sektor ini.

#### Temuan 5: Strategi dan Implikasi bagi Negara Berkembang

Negara berkembang, termasuk Indonesia, memiliki peluang besar untuk menerapkan integrasi inovasi hijau dan ekonomi sirkular melalui strategi kebijakan berikut:

- Mendorong Green R&D Funding, yakni Insentif pajak dan hibah untuk R&D terbukti meningkatkan paten teknologi energi bersih (IRENA, 2024; Gan et al., 2025). Contoh sukses adalah Renewable Energy R&D Tax Credit di Amerika Serikat yang meningkatkan investasi swasta hingga 30% (IEA, 2024).
- Penguatan Kebijakan EPR untuk Sektor Energi, dengan regulasi EPR yang diterapkan pada panel surya dan baterai lithium-ion dapat meningkatkan tingkat daur ulang hingga 70% (Heath, 2022; Tripathy et al., 2023).
- Pendirian National Circular Energy Center, Lembaga ini menjadi pusat riset dan inovasi sirkular yang mengintegrasikan kolaborasi akademisi, industri, dan pemerintah (Kumar et al., 2023).
- Peningkatan Kapasitas SDM melalui Pendidikan Vokasi Hijau merupakan Integrasi kurikulum energi bersih dan program magang industri meningkatkan kesiapan SDM dalam mendukung transisi energi (Teklie & Yağmur, 2024).
- Penerapan Model Public-Private Partnership (PPP) yaitu Kolaborasi pemerintah dan industri swasta terbukti mempercepat pembangunan fasilitas daur ulang di Jepang dan Eropa (IRENA, 2024; Kumar et al., 2023).

Indonesia memiliki posisi strategis untuk menerapkan kebijakan tersebut karena tiga faktor utama:

- (1) Potensi energi baru terbarukan >400 GW (ESDM, 2024),
- (2) Ketersediaan logam strategis seperti nikel dan kobalt (World Bank, 2023),
- (3) Dukungan kebijakan nasional seperti RUEN dan Perpres No. 112/2022 (ESDM, 2022).

Namun, kesuksesan implementasi membutuhkan koordinasi lintas sektor dan tata kelola adaptif, sebagaimana dicontohkan oleh Uni Eropa dengan sistem sertifikasi dan insentif fiskalnya (OECD, 2024).

### Temuan 6: Manfaat Ekonomi dan Lingkungan

Integrasi inovasi hijau dan ekonomi sirkular memberikan dampak ekonomi dan ekologis yang luas.

- Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca merupakan Implementasi energi hijau menurunkan emisi hingga 40% dibanding sistem berbasis fosil (IRENA, 2024; Gan et al., 2025).
- Penurunan Limbah Industri Energi Adalah Circular economy mampu menekan limbah hingga lebih dari 50% dengan tingkat pemulihan logam strategis mencapai 80% (Heath, 2022; Tripathy et al., 2023).
- Peningkatan Efisiensi Energi, Efisiensi meningkat >25% melalui smart grid dan manajemen energi digital (IEA, 2024; Teklie & Yağmur, 2024).
- Penciptaan Lapangan Kerja Hijau, Sektor energi terbarukan global telah menyerap lebih dari 13 juta pekerja dan berpotensi tumbuh pesat di negara berkembang (IRENA, 2024).

Secara keseluruhan, penerapan integrasi green innovation dan circular economy menghasilkan sistem energi yang efisien, rendah emisi, dan berdaya saing tinggi. Hal ini memperkuat posisi negara berkembang dalam ekonomi global berbasis keberlanjutan

### KESIMPULAN

Hasil kajian ini menegaskan bahwa percepatan transisi energi terbarukan di negara berkembang tidak dapat dicapai hanya dengan menggantikan sumber energi fosil, melainkan membutuhkan transformasi sistemik yang mengintegrasikan inovasi hijau dan ekonomi sirkular sebagai dua pilar utama pembangunan ekonomi hijau yang berkelanjutan.

Pertama, inovasi hijau terbukti berperan sebagai katalis dalam meningkatkan efisiensi energi, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan mempercepat adopsi teknologi rendah karbon. Melalui penelitian dan pengembangan (R&D), digitalisasi energi, serta penerapan teknologi cerdas dalam manajemen sumber daya, inovasi hijau mampu mempercepat transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan tangguh (Teklie & Yağmur, 2024; Heath et al., 2023).

Kedua, ekonomi sirkular mendukung keberlanjutan sistem energi dengan memperpanjang umur material, mengurangi limbah industri, dan memperkuat rantai pasok bahan baku penting seperti logam tanah jarang untuk teknologi energi terbarukan (OECD, 2023). Dengan mempromosikan prinsip reduce, reuse, recycle, and recover, ekonomi sirkular mampu menekan tekanan terhadap sumber daya alam sekaligus menurunkan biaya siklus hidup energi.

Ketiga, integrasi antara inovasi hijau dan ekonomi sirkular menciptakan sinergi strategis dalam membangun ekosistem energi terbarukan yang inklusif. Inovasi hijau memberikan basis teknologi dan pengetahuan, sedangkan ekonomi sirkular menyediakan kerangka produksi dan konsumsi berkelanjutan. Sinergi ini dapat mempercepat pertumbuhan ekonomi hijau dan membuka peluang lapangan kerja baru di sektor energi bersih (Tripathy et al., 2024; IRENA, 2024).

Namun, penelitian juga menemukan bahwa terdapat hambatan struktural yang masih signifikan, seperti ketidakkonsistenan kebijakan, keterbatasan investasi hijau, serta rendahnya kapasitas sumber daya manusia di bidang teknologi ramah lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan reformasi kebijakan energi nasional yang mendorong investasi inovatif, memperkuat kolaborasi lintas sektor, serta meningkatkan kapasitas teknis dan manajerial dalam ekonomi hijau (Bappenas, 2024).

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan terpadu inovasi hijau dan ekonomi sirkular merupakan strategi krusial untuk mempercepat pencapaian target net zero emission tahun 2060, memperkuat ketahanan energi nasional, serta mengantarkan negara berkembang menuju masa depan yang lebih inklusif, efisien, dan berkeadilan lingkungan.

### REFERENSI

- Alnafrah, I., et al. (2025). Evaluating efficiency of green innovations and renewables in 42 countries: A network DEA approach. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*.
- ESDM. (2022). Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 tentang Energi Baru Terbarukan.
- ESDM. (2024). Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).
- ESDM. (2025). Laporan Pengembangan Fasilitas Daur Ulang Nasional.
- Gan, Y., Li, X., & Zhang, H. (2025). *Green Innovation and Economic Competitiveness in Renewable Energy Systems*. Springer.
- Goyal, R., Singh, P., & Kumar, D. (2023). Recycling Infrastructure for Renewable Energy Systems in Developing Countries. *Energy Policy Journal*, 165(3), 121–138.
- Heath, G. (2022). Lifecycle Management and Circularity in Renewable Energy Technologies. *Renewable Energy Review*, 42(2), 65–78.
- IEA. (2024). *Global Energy Efficiency Report 2024*.
- IRENA. (2024). *World Energy Transition Outlook 2024*.
- Islam, R., & Iyer-Raniga, U. (2022). Recycling Challenges in Circular Energy Systems. *Sustainability Science Journal*, 19(4), 784–799.
- Kumar, S., Lee, J., & Park, H. (2023). National Circular Energy Center: Framework for Green Innovation. *Journal of Cleaner Production*, 398, 136745.
- OECD. (2024). *Extended Producer Responsibility and Circular Economy Governance*.
- Teklie, H., & Yağmur, R. (2024). Green Innovation, R&D Intensity, and Human Capital Development. *Energy Economics*, 128, 106482.
- Tripathy, S., Müller, R., & Zhao, L. (2023). Circular Economy in Energy Materials: A Global Perspective. *Journal of Sustainable Materials*, 17(2), 221–238.
- UNEP. (2023). *Green Economy Progress Measurement Framework*. Nairobi.
- (+ 20 referensi tambahan dari 2022–2025: Bappenas, World Bank, IESR, Tripathy et al., Goyal et al., etc.)
- World Bank. (2023). *Financing the Green Transition in Developing Economies*.