

---

**INOVASI TEKNOLOGI EKONOMI YANG BERKELANJUTAN:  
STRATEGI, IMPLEMENTASI, DAN DAMPAKNYA BAGI  
PERTUMBUHAN HIJAU DI INDONESIA**

**Elisabet Tambunan<sup>1</sup>, Sutriono<sup>2</sup>, Muhammad Irsyad<sup>3</sup>, R. Sabrina<sup>4</sup>**

**Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan**

e-mail: 2530030014@umsu.ac.id, 2530030015@umsu.ac.id, 2530030002@umsu.ac.id,  
sutriono940@gmail.com, irsyad.rasya1122@gmail.com,  
elisabet.tambunan19@gmail.com, sabrina@umsu.ac.id

***Abstract:** The transformation toward a sustainable economy has become a strategic necessity amid the growing pressures of climate crisis, environmental degradation, and social inequality. Technological innovation is widely regarded as a key driver in balancing economic growth with environmental preservation and social inclusivity. This study aims to identify key technologies that support the sustainable economy, analyze their implementation strategies across major sectors in Indonesia, and evaluate their impact on the economic, environmental, and social dimensions (triple bottom line). This research employs a qualitative-descriptive approach through literature review and case analysis in the energy, agriculture, manufacturing, and MSME sectors. The findings indicate that artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), big data, blockchain, renewable energy, and green fintech significantly contribute to improving resource efficiency, reducing emissions, enhancing supply chain transparency, and expanding access to green financing. However, several challenges remain, including infrastructure readiness, high initial investment costs, limited digital literacy, non-adaptive regulatory frameworks, and unequal access to technology. This study recommends strengthening incentive-based policies, developing cross-sector innovation ecosystems, and enhancing green-digital human resource capacities to accelerate the growth of a sustainable economy in Indonesia.*

***Keywords:** Sustainable Economy, Technological Innovation, Green Economy, Circular Economy, Indonesia, Triple Bottom Line*

**Abstrak:** Transformasi menuju ekonomi berkelanjutan menjadi kebutuhan strategis di tengah tekanan krisis iklim, degradasi lingkungan, dan ketimpangan sosial. Inovasi teknologi dipandang sebagai motor utama untuk menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi dengan pelestarian lingkungan dan inklusivitas sosial. Artikel ini bertujuan memetakan teknologi kunci yang mendukung ekonomi berkelanjutan, menganalisis strategi implementasinya pada sektor utama di Indonesia, serta mengevaluasi dampaknya pada dimensi ekonomi–lingkungan–sosial (triple bottom line). Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif melalui kajian literatur dan analisis kasus pada sektor energi, pertanian, manufaktur, dan UMKM. Hasil menunjukkan bahwa AI, IoT, big data, blockchain, energi terbarukan, dan fintech hijau berkontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi sumber daya, menurunkan emisi, memperkuat transparansi rantai pasok, serta memperluas akses pembiayaan usaha hijau. Tantangan utama meliputi kesiapan infrastruktur, biaya awal tinggi, literasi digital, regulasi yang belum adaptif, dan ketimpangan akses teknologi. Artikel ini merekomendasikan penguatan kebijakan insentif, pembangunan ekosistem inovasi lintas aktor, serta peningkatan kapasitas SDM digital-hijau untuk mempercepat pertumbuhan ekonomi hijau di Indonesia.

**Kata Kunci:** Ekonomi Berkelanjutan, Inovasi Teknologi, Green Economy, Circular Economy, Indonesia, Triple Bottom Line

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi global dan nasional selama beberapa dekade terakhir menunjukkan peningkatan signifikan, namun kerap diiringi eksploitasi sumber daya alam, peningkatan emisi karbon, serta munculnya dampak sosial seperti ketimpangan pendapatan dan kerentanan tenaga kerja. Pola ini menimbulkan pertanyaan mendasar: bagaimana menciptakan pertumbuhan ekonomi yang tetap kompetitif tetapi tidak merusak lingkungan dan mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara merata? Konsep ekonomi berkelanjutan hadir sebagai pendekatan yang menekankan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi, kelestarian lingkungan, dan keadilan sosial. Transformasi menuju ekonomi ini semakin penting, terutama bagi negara berkembang seperti Indonesia yang memiliki kekayaan biodiversitas dan sumber daya alam besar, tetapi juga menghadapi risiko besar akibat perubahan iklim, urbanisasi cepat, serta tekanan kebutuhan energi dan pangan.

Dalam konteks ini, inovasi teknologi berkembang sangat cepat dan membuka peluang baru. Teknologi digital seperti kecerdasan buatan (artificial intelligence/AI), Internet of Things (IoT), big data analytics, fintech, serta teknologi energi terbarukan dan platform circular economy, berpotensi mempercepat transisi menuju ekonomi berkelanjutan. Inovasi teknologi dapat mendorong efisiensi produksi, mengurangi limbah, meningkatkan transparansi rantai pasok, dan mendukung model bisnis hijau.

Namun, penerapan teknologi berkelanjutan di Indonesia belum optimal. Masih terdapat berbagai hambatan: kesiapan SDM, biaya investasi awal yang tinggi, gap regulasi, serta kesenjangan infrastruktur digital antarwilayah. Oleh karena itu, studi ini relevan untuk menjawab bagaimana teknologi dapat digunakan secara strategis untuk mendukung ekonomi berkelanjutan di Indonesia dan apa saja tantangan yang perlu diatasi.

Artikel ini disusun untuk:

1. memetakan inovasi teknologi utama yang mendorong ekonomi berkelanjutan,
2. menganalisis strategi implementasi pada sektor ekonomi kunci di Indonesia, serta
3. mengevaluasi dampaknya pada triple bottom line dan memberikan rekomendasi kebijakan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### **Ekonomi Berkelanjutan: Green Economy dan Circular Economy**

Ekonomi berkelanjutan menuntut pertumbuhan yang mempertimbangkan daya dukung lingkungan serta keadilan sosial lintas generasi. Dua pendekatan yang paling banyak diadopsi adalah:

#### **Green Economy**

Berfokus pada pertumbuhan rendah karbon, efisiensi sumber daya, dan inklusi sosial. Ukurannya mencakup pengurangan emisi, penggunaan energi bersih, serta penciptaan pekerjaan hijau.

#### **Circular Economy**

Menekankan pada pengurangan limbah melalui prinsip reduce–reuse–recycle–recover. Nilai ekonomi dipertahankan selama mungkin di dalam siklus produksi dan konsumsi. Kedua konsep ini menuntut inovasi proses, model bisnis, serta teknologi yang dapat menghubungkan sistem produksi–konsumsi secara lebih efisien dan ramah lingkungan.

#### **Teori Inovasi Teknologi**

Inovasi teknologi sebagai pendorong perubahan ekonomi dapat dijelaskan melalui:

1. Diffusion of Innovation: adopsi teknologi terjadi bertahap dari inovator ke mayoritas masyarakat.
2. Disruptive Innovation: teknologi baru mengganti model lama dengan cara yang lebih murah, cepat, dan inklusif.

3. Transformasi Digital: integrasi teknologi digital ke seluruh proses bisnis sehingga meningkatkan efisiensi dan nilai tambah.

Teknologi berkelanjutan bersifat disruptif karena memaksa perubahan standar produksi dan konsumsi menuju pola yang lebih hijau.

### **Teknologi Kunci untuk Ekonomi Berkelanjutan**

Teknologi yang dominan dalam mendukung ekonomi berkelanjutan antara lain:

1. AI & Big Data: optimasi energi, prediksi permintaan, pengurangan waste produksi.
2. IoT: monitoring real-time untuk smart agriculture, smart factory, dan smart city.
3. Blockchain: transparansi rantai pasok hijau, sertifikasi produk berkelanjutan, traceability.
4. Energi Terbarukan: solar PV, wind, bioenergi, hidro skala kecil, dan teknologi storage.
5. Fintech Hijau: pembiayaan UMKM hijau, carbon credit platform, crowdfunding energi bersih.
6. Platform Circular Economy: marketplace daur ulang, sharing economy, reverse logistics digital.

### **Kerangka Triple Bottom Line**

Evaluasi ekonomi berkelanjutan lazim menggunakan triple bottom line (TBL):

1. Profit (Ekonomi): produktivitas, biaya, nilai tambah, daya saing.
2. Planet (Lingkungan): emisi, limbah, konsumsi energi/air, biodiversitas.
3. People (Sosial): kualitas kerja, akses peluang ekonomi, inklusi, kesehatan masyarakat.

### **METODE**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif dengan sumber data sekunder

### **Teknik Pengumpulan Data**

1. Kajian literatur terarah dari jurnal, laporan kebijakan, dan publikasi industri 5–10 tahun terakhir terkait teknologi hijau, transformasi digital, dan ekonomi berkelanjutan.
2. Analisis kasus sektor yang relevan untuk Indonesia: energi, pertanian, manufaktur, dan UMKM.

### **Teknik Analisis Data**

1. Klasifikasi teknologi berdasarkan sektor dampak dan fungsi keberlanjutan.
2. Analisis tematik untuk mengidentifikasi manfaat, dampak TBL, dan tantangan adopsi.
3. Sintesis rekomendasi melalui perbandingan praktik baik dan kondisi lokal Indonesia.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pemetaan Inovasi Teknologi Berkelanjutan

1. Hasil kajian menunjukkan inovasi teknologi dapat dikelompokkan ke tiga fungsi utama:
2. Teknologi Efisiensi Produksi dan Energi AI, big data, dan IoT membantu mengurangi energy intensity dan waste produksi melalui prediksi, optimasi, dan monitoring otomatis.
3. Teknologi Transparansi dan Akuntabilitas Rantai Pasok Blockchain dan sistem traceability memungkinkan konsumen dan regulator melacak asal bahan baku, jejak karbon, serta kepatuhan standar lingkungan.
4. Teknologi Pembiayaan dan Model Bisnis Hijau Fintech hijau dan platform circular economy memperluas akses modal, mempertemukan pelaku usaha hijau dengan pasar, serta memicu inovasi model bisnis berputar.

### **Implementasi pada Sektor Utama di Indonesia**

### Sektor Energi

Implementasi energi terbarukan meningkat seiring kebutuhan transisi energi. Teknologi solar panel atap, microgrid desa, dan bioenergi berbasis limbah pertanian makin ekonomis. AI dan smart grid berfungsi menyeimbangkan beban listrik dan meminimalkan kehilangan daya.

Dampak TBL:

1. Ekonomi: menurunkan biaya listrik jangka panjang dan membuka green jobs.
2. Lingkungan: reduksi emisi CO<sub>2</sub> dan polusi lokal.
3. Sosial: memperluas akses energi di wilayah terpencil.

### Sektor Pertanian

IoT sensors, drone, dan AI forecasting mendukung smart agriculture: pemupukan presisi, irigasi hemat air, dan prediksi cuaca/panen.

Dampak TBL:

1. Ekonomi: produktivitas naik, biaya input turun.
2. Lingkungan: penggunaan air/pupuk lebih efisien, menekan degradasi tanah.
3. Sosial: menurunkan risiko gagal panen dan meningkatkan stabilitas pendapatan petani.

### Sektor Manufaktur dan Industri

Konsep Industry 4.0 hijau diterapkan lewat sensor efisiensi energi, predictive maintenance (AI), dan daur ulang berbasis platform circular economy. Industri dapat meminimalkan limbah dan menghemat energi proses.

Dampak TBL:

1. Ekonomi: cost reduction, kualitas produk konsisten.
2. Lingkungan: penurunan limbah B3/non-B3 serta emisi.
3. Sosial: peningkatan skill tenaga kerja dan keselamatan kerja melalui otomasi proses berisiko.

### Sektor UMKM dan Ekonomi Digital

Fintech hijau memperluas akses modal bagi UMKM yang menerapkan

praktik ramah lingkungan (misal produksi organik, daur ulang, atau energi bersih). Platform marketplace hijau juga memudahkan UMKM menjangkau konsumen yang peduli lingkungan.

Dampak TBL:

1. Ekonomi: akses pasar dan pembiayaan meningkat.
2. Lingkungan: produk rendah limbah dan penggunaan bahan ramah lingkungan bertambah.
3. Sosial: inklusi finansial, khususnya bagi pelaku usaha perempuan dan daerah.

Tantangan Implementasi

1. Biaya investasi awal tinggi untuk teknologi bersih dan digital.
2. Kesenjangan infrastruktur digital antarwilayah (urban–rural).
3. Literasi teknologi dan SDM hijau masih terbatas, terutama di sektor tradisional.
4. Regulasi belum adaptif terhadap model bisnis baru (misal carbon trading digital, sertifikasi blockchain).
5. Akses data dan interoperabilitas masih lemah, menyebabkan inovasi tidak terhubung lintas sektor.

### Rekomendasi Strategis

Untuk Pemerintah

1. Insentif fiskal dan nonfiskal (tax holiday, subsidi bunga, kredit hijau) untuk investasi teknologi berkelanjutan.
2. Regulasi adaptif: sandbox untuk fintech hijau, standar traceability nasional, dan percepatan aturan energi terbarukan.
3. Pembangunan infrastruktur digital merata, terutama di wilayah pertanian dan industri baru.
4. Program peningkatan kapasitas SDM: reskilling tenaga kerja, pelatihan petani/UMKM digital-hijau.

Untuk Industri dan Pelaku Usaha

1. Roadmap transformasi hijau-digital yang terukur (target emisi, efisiensi

- energi, circularity).
2. Kolaborasi R&D dengan universitas/startup untuk teknologi terapan murah.
  3. Pelaporan keberlanjutan berbasis data yang transparan agar menarik pembiayaan hijau.

#### Untuk Akademisi dan Masyarakat

1. Penguatan riset teknologi tepat guna berbasis kebutuhan lokal.
2. Literasi konsumen agar permintaan pasar hijau meningkat.
3. Komunitas inovasi lokal guna mempercepat difusi teknologi di daerah.

### SIMPULAN

Inovasi teknologi merupakan pengungkit utama transisi menuju ekonomi berkelanjutan di Indonesia. AI, IoT, big data, blockchain, energi terbarukan, fintech hijau, dan platform circular economy dapat meningkatkan efisiensi sumber daya, menekan emisi, memperluas pembiayaan hijau, serta membangun transparansi rantai pasok. Implementasi di sektor energi, pertanian, manufaktur, dan UMKM menunjukkan dampak positif terhadap triple bottom line.

Meski demikian, tantangan berupa biaya awal, kesenjangan digital, kesiapan SDM, regulasi yang belum adaptif, dan keterbatasan data masih menghambat adopsi masif. Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan kebijakan insentif yang kuat, ekosistem kolaboratif lintas aktor, serta investasi SDM hijau-digital agar Indonesia dapat mencapai pertumbuhan hijau yang inklusif dan kompetitif

### DAFTAR PUSTAKA

- Afewerk, A., Lemmie, T., Kasim, J. J., & Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm. *Journal of Cleaner Production*.
- Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th ed.). Free Press.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- World Bank. (2020). *Green Growth and Sustainable Development Report*.