

Penerapan Logistik Terbalik dalam Industri Daur Ulang Plastik: Tinjauan Naratif

Nurfiani Syamsuddin¹, Rahmah Yulianti^{2*}, Cut Rusmina³, Khairuna⁴, Malahayati⁵,
Velli Ramadhani⁶

^{1,5,6}Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

^{2,3,4}Program Studi Akuntansi, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

*Koresponden email rahmah.yulianti@serambimekkah.ac.id

Diterima: 26 Juli 2026

Disetujui : 2 Agustus 2026

Abstract

Reverse logistics has become a key strategy for improving plastic waste management and supporting the transition toward a circular economy by returning post-consumer materials into the production cycle. However, previous studies have mainly examined transportation, operational efficiency, or waste management separately, providing limited comprehensive understanding of reverse logistics implementation in the plastic recycling industry. This study aims to analyze the concept of reverse logistics, examine its implementation, identify major challenges, and explore future research opportunities. A qualitative descriptive approach using a narrative literature review was employed by synthesizing publications indexed in Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, Taylor & Francis Online, and Google Scholar. The literature was analyzed using thematic and narrative approaches. The findings indicate that reverse logistics implementation is increasingly supported by Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), blockchain, digital tracking technologies, and Extended Producer Responsibility (EPR) policies. Nevertheless, implementation remains constrained by limited waste collection systems, inadequate infrastructure, high operational costs, technological limitations, and weak stakeholder coordination. This review provides a comprehensive synthesis of current knowledge while identifying future research directions to strengthen reverse logistics and accelerate the development of a more efficient, circular, and sustainable plastic recycling industry.

Keywords: *reverse logistics, plastic recycling, circular economy, narrative review*

Abstrak

Logistik terbalik (*reverse logistics*) merupakan salah satu strategi penting dalam meningkatkan pengelolaan limbah plastik serta mendukung penerapan ekonomi sirkular melalui pengembalian material pascakonsumsi ke dalam siklus produksi. Namun, sebagian besar penelitian masih membahas aspek transportasi, efisiensi operasional, atau pengelolaan limbah secara terpisah sehingga belum memberikan gambaran yang komprehensif mengenai implementasi logistik terbalik pada industri daur ulang plastik. Penelitian ini bertujuan menganalisis konsep logistik terbalik, mengkaji implementasinya, mengidentifikasi berbagai tantangan, serta mengeksplorasi peluang penelitian di masa depan. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode *narrative literature review* melalui sintesis publikasi ilmiah dari Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, Taylor & Francis Online, dan Google Scholar. Analisis dilakukan secara naratif dan tematik. Hasil kajian menunjukkan bahwa implementasi logistik terbalik semakin didukung oleh *Artificial Intelligence (AI)*, *Internet of Things (IoT)*, *blockchain*, sistem pelacakan digital, serta kebijakan *Extended Producer Responsibility (EPR)*. Namun demikian, penerapannya masih menghadapi kendala berupa rendahnya sistem pengumpulan limbah, keterbatasan infrastruktur, tingginya biaya operasional, keterbatasan teknologi, dan lemahnya koordinasi antarpemangku kepentingan. Kajian ini memberikan sintesis komprehensif serta mengidentifikasi arah penelitian untuk memperkuat sistem logistik terbalik menuju industri daur ulang plastik yang lebih efisien, sirkular, dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *logistik terbalik, daur ulang plastik, ekonomi sirkular, tinjauan naratif*

1. Pendahuluan

Meningkatnya produksi dan konsumsi plastik dalam beberapa dekade terakhir telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi global, namun di sisi lain juga menimbulkan persoalan lingkungan yang semakin kompleks [1], [2]. Sebagian besar limbah plastik masih berakhir di tempat pembuangan akhir, lingkungan darat, maupun lautan akibat rendahnya tingkat pengumpulan dan

daur ulang [3], [4]. Volume limbah plastik dunia terus meningkat, sementara proporsi plastik yang berhasil didaur ulang masih relatif rendah dibandingkan total produksi [5]. Kondisi tersebut mendorong berbagai negara untuk mengembangkan sistem pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan melalui penerapan ekonomi sirkular, yaitu pendekatan yang mempertahankan nilai material selama mungkin agar tetap berada dalam siklus produksi [6], [7]. Salah satu komponen penting dalam mewujudkan ekonomi sirkular adalah logistik terbalik (*reverse logistics*), yaitu sistem yang mengelola aliran produk dan material dari konsumen kembali ke produsen atau fasilitas pengolahan untuk digunakan kembali, diperbaiki, diproduksi ulang, atau didaur ulang [5], [8].

Dalam industri daur ulang plastik, logistik terbalik memiliki peran yang sangat strategis karena menjadi penghubung antara sumber limbah dengan proses pengolahan kembali. Sistem ini mencakup kegiatan pengumpulan, transportasi, penyortiran, penyimpanan, hingga penyaluran limbah plastik ke fasilitas daur ulang sehingga material yang telah digunakan dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku sekunder [9], [10]. Seiring berkembangnya teknologi, implementasi logistik terbalik semakin diperkuat melalui pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), sensor optik, *blockchain*, dan sistem pelacakan digital yang mampu meningkatkan efisiensi pengumpulan serta transparansi aliran material sepanjang rantai pasok. Selain itu, berbagai kebijakan seperti *Extended Producer Responsibility* (EPR) juga mendorong produsen untuk bertanggung jawab terhadap produk setelah masa pakainya berakhir sehingga memperkuat implementasi logistik terbalik dalam mendukung sistem daur ulang plastik [11], [12].

Meskipun penerapan logistik terbalik terus berkembang, implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan yang bersifat operasional, ekonomi, maupun kelembagaan [9], [13]. Rendahnya tingkat pemilahan limbah dari sumber, tingginya biaya pengumpulan dan transportasi, kualitas limbah yang tidak seragam, serta keterbatasan infrastruktur pengelolaan limbah masih menjadi hambatan utama dalam meningkatkan efektivitas sistem logistik terbalik [14]. Di samping itu, kurangnya koordinasi antar pemangku kepentingan, terbatasnya investasi pada teknologi pengelolaan limbah, dan belum optimalnya implementasi regulasi menyebabkan efisiensi sistem belum dapat dicapai secara maksimal [15], [16]. Oleh karena itu, keberhasilan logistik terbalik tidak hanya ditentukan oleh teknologi, tetapi juga dipengaruhi oleh dukungan kebijakan, kesiapan industri, serta partisipasi masyarakat dalam sistem pengelolaan limbah plastik.

Walaupun penelitian mengenai *reverse logistics* telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, sebagian besar kajian masih berfokus pada optimasi transportasi, efisiensi biaya, atau pengelolaan limbah secara parsial. Kajian yang mengintegrasikan konsep logistik terbalik, implementasi pada industri daur ulang plastik, tantangan operasional, serta peluang penelitian masa depan dalam satu sintesis komprehensif masih relatif terbatas, khususnya dalam bentuk tinjauan naratif [17], [18]. Selain itu, penelitian mengenai implementasi logistik terbalik di negara berkembang, termasuk keterkaitannya dengan ekonomi sirkular, digitalisasi, dan kolaborasi multipihak, masih memerlukan pengembangan lebih lanjut. Kesenjangan penelitian (*research gap*) ini menunjukkan perlunya suatu kajian yang mampu merangkum dan mengintegrasikan hasil-hasil penelitian terkini sehingga memberikan pemahaman yang lebih utuh mengenai arah perkembangan logistik terbalik dalam industri daur ulang plastik.

Artikel mengkaji secara komprehensif konsep logistik terbalik dalam industri daur ulang plastik, menganalisis bentuk penerapannya, mengidentifikasi berbagai tantangan implementasi, serta mengeksplorasi peluang penelitian di masa depan melalui pendekatan tinjauan naratif. Kontribusi utama artikel ini adalah menyajikan sintesis literatur terbaru yang menghubungkan perspektif manajemen rantai pasok, logistik terbalik, ekonomi sirkular, inovasi teknologi, dan kebijakan publik dalam satu kerangka analisis yang terpadu. Selain mengisi *research gap* mengenai integrasi berbagai aspek tersebut, hasil kajian ini diharapkan menjadi referensi bagi akademisi dalam mengembangkan agenda penelitian berikutnya, bagi pelaku industri dalam meningkatkan efektivitas sistem pengumpulan dan pengelolaan limbah plastik, serta bagi pemerintah dalam merumuskan kebijakan yang memperkuat implementasi logistik terbalik sebagai bagian dari transformasi menuju ekonomi sirkular yang berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode review literatur dan analisis naratif (*narrative literature review*) untuk mengkaji penerapan logistik terbalik (*reverse logistics*) pada industri daur ulang plastik, khususnya yang berkaitan dengan perkembangan konsep, implementasi, berbagai tantangan, serta prospek penelitian di masa depan. Pendekatan ini dipilih karena mampu menghasilkan sintesis konseptual yang komprehensif terhadap berbagai hasil penelitian terdahulu sekaligus mengintegrasikan perspektif manajemen rantai pasok, logistik terbalik, ekonomi sirkular, teknologi digital,

keberlanjutan, dan kebijakan publik ke dalam satu kerangka analisis yang utuh. Melalui pendekatan naratif, penelitian ini tidak hanya mendeskripsikan perkembangan penerapan logistik terbalik, tetapi juga mengidentifikasi hubungan antar konsep, tren penelitian, serta berbagai kesenjangan penelitian yang masih memerlukan kajian lebih lanjut.

Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur terhadap artikel ilmiah, buku, laporan organisasi internasional, serta dokumen penelitian yang diperoleh dari berbagai basis data akademik, seperti Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, Taylor & Francis Online, dan Google Scholar. Literatur yang digunakan diprioritaskan pada publikasi bereputasi internasional yang diterbitkan dalam sepuluh tahun terakhir, dengan tetap mempertimbangkan beberapa referensi klasik yang memiliki kontribusi fundamental terhadap pengembangan konsep *reverse logistics*, *plastic recycling*, dan *circular economy*. Proses penelusuran literatur dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci, antara lain *reverse logistics*, *plastic recycling*, *plastic waste management*, *circular economy*, *waste collection*, *recycling supply chain*, *extended producer responsibility*, *digital reverse logistics*, *Artificial Intelligence*, *Internet of Things*, dan *blockchain*.

Selanjutnya, seluruh literatur yang relevan diklasifikasikan ke dalam beberapa tema utama penelitian, yaitu: (a) konsep logistik terbalik pada industri daur ulang plastik, (b) penerapan logistik terbalik dalam sistem pengelolaan limbah plastik, (c) berbagai tantangan operasional, ekonomi, teknologi, dan kelembagaan, (d) prospek penelitian dan arah pengembangan di masa depan, serta (e) implikasi manajerial, kebijakan, dan keberlanjutan terhadap pengembangan sistem logistik terbalik pada industri daur ulang plastik. Pengelompokan tematik tersebut bertujuan mempermudah proses sintesis literatur sekaligus membangun hubungan konseptual antarhasil penelitian.

Analisis data dilakukan secara naratif dan tematik (*thematic narrative analysis*) dengan membandingkan, mengintegrasikan, serta menginterpretasikan berbagai temuan penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi pola perkembangan, persamaan hasil penelitian, perbedaan pendekatan, serta peluang penelitian lanjutan. Selain itu, penelitian ini menggunakan tabel sintesis literatur untuk memperlihatkan kontribusi masing-masing referensi terhadap pengembangan konsep *reverse logistics*, sehingga menghasilkan kerangka analisis yang lebih sistematis mengenai implementasi, tantangan, dan prospek pengembangan logistik terbalik pada industri daur ulang plastik. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai transformasi sistem pengelolaan limbah plastik menuju model logistik yang lebih efisien, sirkular, adaptif, dan berkelanjutan.

Tabel 1. Sumber Literatur dan Kontribusi dalam Penelitian

Sumber Literatur	Tahun	Kontribusi dalam Penelitian
Kumar et al. <i>Modeling and Managing Plastic Waste Through Reverse Logistics: A Global Systematic Review</i>	2026	Menjelaskan perkembangan penelitian global mengenai <i>reverse logistics</i> pada pengelolaan limbah plastik.
Pornarit et al. <i>Strategic Approach of Reverse Logistics Management for Recyclable Waste and Transportation</i>	2025	Memberikan kerangka strategis pengelolaan logistik terbalik untuk limbah yang dapat didaur ulang.
Mishra et al. <i>A Review of Reverse Logistics and Closed-Loop Supply Chains in the Perspective of Circular Economy</i>	2023	Menjadi landasan konseptual hubungan antara <i>reverse logistics</i> dan ekonomi sirkular.
Mbago et al. <i>Implementing Reverse Logistics Practices in the Supply Chain</i>	2025	Menjelaskan implementasi praktik logistik terbalik pada perusahaan daur ulang.
Tesfaye & Kitaw. <i>Conceptualizing Reverse Logistics to Plastics Recycling System</i>	2021	Menjelaskan konsep dasar logistik terbalik dalam sistem daur ulang plastik.
Valenzuela et al. <i>Reverse Logistics Models for the Collection of Plastic Waste</i>	2021	Menguraikan model pengumpulan limbah plastik melalui sistem logistik terbalik.
Rodrigues et al. <i>A Framework for Leveraging Digital Technologies in Reverse Logistics Actions</i>	2025	Menjelaskan pemanfaatan <i>Artificial Intelligence</i> (AI), <i>Internet of Things</i> (IoT), <i>blockchain</i> , dan digitalisasi pada logistik terbalik.
Ibitoye et al. <i>Smart Waste, Smarter World: AI, IoT, and Blockchain</i>	2026	Menggambarkan peran teknologi cerdas dalam pengelolaan limbah dan logistik terbalik.
Aryee & Adaku. <i>Current Trends and Future Directions in Reverse Logistics Research</i>	2024	Mengidentifikasi tren penelitian serta arah pengembangan <i>reverse logistics</i> .

Sumber Literatur	Tahun	Kontribusi dalam Penelitian
Almelhem et al. <i>Industry 4.0 for Sustainable Reverse Waste Collection</i>	2025	Menjelaskan integrasi teknologi Industry 4.0 dalam sistem pengumpulan limbah secara berkelanjutan.

3. Konsep Logistik Terbalik dalam Industri Daur Ulang Plastik

Logistik terbalik (*reverse logistics*) merupakan sistem pengelolaan aliran produk, material, dan informasi dari konsumen kembali ke produsen atau fasilitas pengolahan untuk memperoleh kembali nilai ekonomi maupun memastikan pembuangan limbah yang ramah lingkungan [19], [20]. Berbeda dengan logistik konvensional yang berorientasi pada distribusi produk dari produsen ke konsumen, logistik terbalik berfokus pada proses pengumpulan, pengembalian, inspeksi, pemilahan, penggunaan kembali, perbaikan, manufaktur ulang, dan daur ulang produk setelah masa pakainya berakhir [21]. Dalam konteks industri daur ulang plastik, logistik terbalik menjadi elemen utama dalam mendukung ekonomi sirkular karena memastikan limbah plastik dapat kembali memasuki siklus produksi sebagai bahan baku sekunder [22], [23].

Komponen utama logistik terbalik meliputi sistem pengumpulan limbah, transportasi atau *reverse logistics*, fasilitas pemilahan, proses daur ulang, serta distribusi kembali produk hasil daur ulang ke pasar [19], [24]. Efektivitas setiap komponen sangat menentukan keberhasilan sistem secara keseluruhan. Perkembangan teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), sensor optik, dan *blockchain* telah meningkatkan kemampuan pelacakan material, efisiensi pemilahan, serta transparansi aliran limbah plastik sepanjang rantai pasok [25], [26]. Selain itu, implementasi kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR) memperkuat keterlibatan produsen dalam pengelolaan produk pascakonsumsi sehingga sistem logistik terbalik menjadi lebih terintegrasi dan berkelanjutan [5], [27].

Tabel 2. Komponen dan Peran Logistik Terbalik pada Industri Daur Ulang Plastik

Komponen Logistik Terbalik	Fungsi Utama	Kontribusi terhadap Daur Ulang Plastik
Pengumpulan limbah	Mengumpulkan plastik pascakonsumsi	Menjamin ketersediaan bahan baku sekunder
<i>Reverse logistics</i>	Mengangkut limbah ke fasilitas pengolahan	Memperlancar aliran material
Pemilahan	Memisahkan plastik berdasarkan jenis dan kualitas	Meningkatkan kualitas hasil daur ulang
Proses daur ulang	Mengolah limbah menjadi bahan baku atau produk baru	Mengurangi penggunaan bahan baku primer
Distribusi produk daur ulang	Menyalurkan produk hasil daur ulang ke pasar	Meningkatkan nilai ekonomi dan keberlanjutan

Sumber: Diadaptasi dari [5], [19]–[21], [27]

Penerapan logistik terbalik memberikan manfaat yang signifikan bagi industri daur ulang plastik, baik dari aspek ekonomi maupun lingkungan. Sistem ini mampu meningkatkan ketersediaan bahan baku daur ulang, mengurangi penggunaan bahan baku primer, menekan biaya pengelolaan limbah, serta mengurangi emisi dan pencemaran akibat pembuangan plastik [28]. Selain itu, logistik terbalik mendorong kolaborasi antara pemerintah, industri, pengelola limbah, dan masyarakat dalam membangun sistem pengelolaan limbah yang lebih efektif. Dengan demikian, logistik terbalik tidak hanya berfungsi sebagai sistem operasional, tetapi juga menjadi fondasi penting dalam mendukung transformasi industri menuju ekonomi sirkular yang berkelanjutan.

4. Penerapan Logistik Terbalik

Penerapan logistik terbalik (*reverse logistics*) dalam industri daur ulang plastik diawali dengan sistem pengumpulan dan pengembalian limbah plastik dari konsumen menuju fasilitas pengelolaan [29]. Keberhasilan sistem ini sangat dipengaruhi oleh efektivitas mekanisme pengumpulan, ketersediaan titik pengembalian (*collection points*), serta partisipasi masyarakat dalam melakukan pemilahan limbah sejak sumbernya [9]. Berbagai negara mulai mengembangkan sistem berbasis *Extended Producer Responsibility* (EPR), skema *deposit return system*, serta teknologi digital untuk meningkatkan tingkat pengumpulan limbah plastik. Sistem pengumpulan yang terintegrasi mampu meningkatkan ketersediaan bahan baku sekunder sekaligus mengurangi kebocoran limbah plastik ke lingkungan. Selain itu, pemanfaatan *Artificial*

Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT) mulai diterapkan untuk mengoptimalkan rute pengangkutan, pemantauan volume limbah, dan efisiensi operasional logistik terbalik.

Setelah limbah terkumpul, tahap berikutnya adalah pengelolaan dan pemrosesan melalui kegiatan pemilahan, pembersihan, pencacahan, serta proses daur ulang secara mekanis (*mechanical recycling*) maupun kimia (*chemical recycling*). Tahapan tersebut bertujuan menghasilkan bahan baku sekunder yang memiliki kualitas sesuai kebutuhan industri. Efektivitas logistik terbalik tidak hanya ditentukan oleh proses transportasi, tetapi juga oleh kemampuan sistem dalam menjaga kualitas material sepanjang proses pengolahan [30]. Oleh karena itu, integrasi teknologi sensor optik, otomatisasi pemilahan, dan sistem pelacakan digital menjadi semakin penting untuk meningkatkan efisiensi proses dan kualitas hasil daur ulang [31].

Tabel 3. Penerapan Logistik Terbalik pada Industri Daur Ulang Plastik

Tahapan Penerapan	Aktivitas Utama	Manfaat terhadap Industri
Pengumpulan dan pengembalian limbah	Pengumpulan, collection point, deposit-return system, EPR	Meningkatkan ketersediaan bahan baku sekunder
Pengelolaan dan pemrosesan	Pemilahan, pembersihan, mechanical recycling, chemical recycling	Meningkatkan kualitas dan nilai tambah material
Teknologi pendukung	AI, IoT, sensor optik, digital tracking	Meningkatkan efisiensi dan transparansi proses
Kolaborasi multipihak	Kerja sama pemerintah, industri, pengelola limbah, masyarakat	Memperkuat efektivitas sistem logistik terbalik
Distribusi hasil daur ulang	Penyaluran produk atau bahan baku daur ulang ke industri	Mendukung ekonomi sirkular dan keberlanjutan

Sumber: Diadaptasi dari [5], [9], [29], [30]

Keberhasilan penerapan logistik terbalik juga bergantung pada kolaborasi antara industri, pemerintah, dan masyarakat. Pemerintah berperan dalam menyusun regulasi, menyediakan insentif, serta membangun infrastruktur pengelolaan limbah, sedangkan industri bertanggung jawab mengembangkan sistem pengumpulan dan penggunaan kembali material hasil daur ulang [32]. Di sisi lain, masyarakat memiliki peran penting melalui pemilahan limbah dan partisipasi dalam program pengumpulan plastik. Kolaborasi multipihak merupakan faktor utama dalam meningkatkan efektivitas logistik terbalik sekaligus mempercepat implementasi ekonomi sirkular pada industri daur ulang plastik.

5. Tantangan dalam Penerapan Logistik Terbalik

Penerapan logistik terbalik (*reverse logistics*) pada industri daur ulang plastik masih menghadapi berbagai tantangan operasional yang memengaruhi efektivitas sistem pengelolaan limbah [24], [33]. Permasalahan utama meliputi rendahnya tingkat pengumpulan limbah plastik dari sumber, kualitas limbah yang tidak seragam akibat kontaminasi, serta keterbatasan fasilitas pemilahan dan transportasi. Selain itu, koordinasi antar pelaku rantai pasok sering kali belum berjalan optimal sehingga menyebabkan keterlambatan aliran material dan meningkatnya biaya operasional. Efektivitas logistik terbalik sangat ditentukan oleh integrasi antara sistem pengumpulan, transportasi, dan pengolahan limbah agar material dapat kembali ke proses produksi secara efisien [19]. Oleh karena itu, peningkatan infrastruktur dan digitalisasi sistem logistik menjadi kebutuhan utama dalam mendukung keberhasilan implementasi logistik terbalik.

Selain tantangan operasional, aspek ekonomi juga menjadi kendala penting dalam penerapan logistik terbalik [34]. Tingginya biaya investasi infrastruktur, biaya pengumpulan dan transportasi limbah, serta fluktuasi harga bahan baku daur ulang menyebabkan sistem logistik terbalik belum mampu bersaing secara optimal dengan penggunaan bahan baku primer. Di samping itu, rendahnya kepastian pasar terhadap produk hasil daur ulang mengurangi minat investasi pada sektor ini. Keberhasilan logistik terbalik memerlukan insentif ekonomi, peningkatan efisiensi operasional, serta pengembangan model bisnis yang mampu menciptakan nilai tambah dari limbah plastik sehingga sistem menjadi layak secara finansial [35].

Tantangan lainnya berkaitan dengan kebijakan dan infrastruktur pendukung. Meskipun berbagai negara telah menerapkan kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR) dan strategi ekonomi sirkular, implementasinya masih menghadapi keterbatasan koordinasi antarinstansi, lemahnya pengawasan, serta belum meratanya infrastruktur pengelolaan limbah, khususnya di negara berkembang. Rendahnya kesadaran masyarakat dalam melakukan pemilahan limbah sejak sumbernya juga turut memengaruhi efektivitas sistem logistik terbalik. Keberhasilan implementasi logistik terbalik memerlukan sinergi antara

pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat melalui kebijakan yang konsisten, investasi infrastruktur, serta peningkatan edukasi publik mengenai pentingnya pengelolaan limbah plastik secara berkelanjutan.

Tabel 4. Tantangan dalam Penerapan Logistik Terbalik pada Industri Daur Ulang Plastik

Aspek Tantangan	Permasalahan Utama	Dampak Implementasi terhadap
Operasional	Pengumpulan limbah rendah, kontaminasi, fasilitas pemilahan terbatas	Menurunkan efisiensi logistik dan kualitas bahan baku
Ekonomi	Investasi tinggi, biaya transportasi besar, harga plastik daur ulang tidak stabil	Mengurangi daya saing dan minat investasi
Teknologi	Keterbatasan otomatisasi, AI, dan sistem pelacakan	Efisiensi proses belum optimal
Kebijakan dan Regulasi	Implementasi EPR belum optimal, koordinasi kebijakan lemah	Menghambat pengembangan sistem logistik terbalik
Infrastruktur dan Kolaborasi	Infrastruktur pengelolaan limbah belum memadai, kolaborasi multipihak belum optimal	Implementasi ekonomi sirkular berjalan lebih lambat

Sumber: Diadaptasi dari [5], [24], [27], [33]

6. Prospek dan Arah Penelitian

Perkembangan teknologi diperkirakan akan menjadi pendorong utama dalam meningkatkan efektivitas sistem logistik terbalik (*reverse logistics*) pada industri daur ulang plastik [9]. Pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), *blockchain*, *Digital Product Passport* (DPP), robotika, dan sistem *digital tracking* memungkinkan proses pengumpulan, pemilahan, transportasi, serta pelacakan material dilakukan secara lebih efisien dan transparan. Selain itu, integrasi teknologi dengan *Life Cycle Assessment* (LCA), *big data analytics*, dan *predictive analytics* memberikan peluang untuk meningkatkan kualitas pengambilan keputusan serta mengoptimalkan pemanfaatan bahan baku sekunder [36]. Digitalisasi rantai pasok akan menjadi salah satu faktor kunci dalam memperkuat implementasi logistik terbalik dan mendukung transformasi menuju ekonomi sirkular [37].

Meskipun penelitian mengenai logistik terbalik berkembang cukup pesat, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian (*research gaps*) [38]. Sebagian besar kajian masih berfokus pada optimasi transportasi atau efisiensi operasional, sedangkan penelitian yang mengintegrasikan aspek teknologi digital, kebijakan, perilaku konsumen, ekonomi sirkular, dan keberlanjutan dalam satu kerangka analisis masih relatif terbatas [17], [39]. Selain itu, implementasi logistik terbalik pada usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), pengembangan indikator kinerja sistem logistik terbalik, serta evaluasi efektivitas kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR) di negara berkembang masih memerlukan kajian yang lebih mendalam. Kesenjangan tersebut membuka peluang bagi penelitian multidisiplin yang mampu menghasilkan model implementasi yang lebih komprehensif.

Tabel 5. Prospek Penelitian Logistik Terbalik pada Industri Daur Ulang Plastik

Fokus Penelitian	Arah Pengembangan	Kontribusi yang Diharapkan
Teknologi	AI, IoT, <i>blockchain</i> , <i>Digital Product Passport</i> , <i>digital tracking</i>	Meningkatkan efisiensi, transparansi, dan akurasi sistem logistik
Research Gaps	Integrasi teknologi, ekonomi sirkular, kebijakan, dan perilaku konsumen	Menghasilkan model logistik terbalik yang lebih komprehensif
Model Logistik Terbalik	Optimasi pengumpulan, <i>reverse logistics</i> , indikator kinerja, LCA	Meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan sistem
Kebijakan	Evaluasi EPR, insentif investasi, harmonisasi regulasi	Memperkuat implementasi logistik terbalik
Negara Berkembang	Implementasi pada UMKM, penguatan infrastruktur dan kelembagaan	Mendukung transisi menuju industri daur ulang yang berkelanjutan

Sumber: Diadaptasi dari [9], [17], [37], [39]

Berdasarkan hasil sintesis literatur, penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada pengembangan model logistik terbalik yang adaptif terhadap karakteristik negara berkembang, integrasi teknologi digital dengan sistem pengumpulan dan daur ulang, evaluasi kebijakan EPR, serta penguatan kolaborasi antara pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat. Penelitian juga perlu mengembangkan indikator kinerja

yang mampu mengukur keberhasilan logistik terbalik dari aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial secara bersamaan. Hasil penelitian tersebut diharapkan tidak hanya memperkaya pengembangan teori manajemen rantai pasok berkelanjutan, tetapi juga memberikan rekomendasi praktis bagi industri dan pemerintah dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah plastik melalui sistem logistik terbalik yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

7. Kesimpulan

Logistik terbalik (*reverse logistics*) merupakan salah satu komponen fundamental dalam mendukung sistem pengelolaan limbah plastik yang berkelanjutan melalui pengembalian material pascakonsumsi ke dalam siklus produksi. Berdasarkan hasil sintesis literatur, logistik terbalik tidak hanya berfungsi sebagai sistem pengumpulan dan distribusi limbah, tetapi juga sebagai mekanisme yang menghubungkan proses pengumpulan, pemilahan, pengolahan, dan pemanfaatan kembali material sehingga mendukung implementasi ekonomi sirkular. Melalui sistem ini, limbah plastik dapat diolah menjadi bahan baku sekunder yang memiliki nilai ekonomi, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku primer, menekan timbulan limbah, dan meminimalkan dampak lingkungan. Dengan demikian, logistik terbalik telah berkembang menjadi bagian penting dari strategi keberlanjutan industri daur ulang plastik.

Kajian ini menunjukkan bahwa keberhasilan penerapan logistik terbalik sangat dipengaruhi oleh efektivitas sistem pengumpulan limbah, kualitas proses pemilahan dan daur ulang, pemanfaatan teknologi digital, serta kolaborasi antara pemerintah, industri, pengelola limbah, dan masyarakat. Perkembangan teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), blockchain, Digital Product Passport (DPP), dan sistem digital tracking memberikan peluang besar untuk meningkatkan efisiensi operasional, transparansi aliran material, serta kualitas produk hasil daur ulang. Namun demikian, implementasi logistik terbalik masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain rendahnya tingkat pengumpulan limbah, keterbatasan infrastruktur, tingginya biaya investasi dan transportasi, fluktuasi pasar bahan baku daur ulang, serta belum optimalnya implementasi kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR) dan koordinasi antar pemangku kepentingan.

Hasil kajian juga mengidentifikasi bahwa penelitian mengenai logistik terbalik pada industri daur ulang plastik masih memiliki ruang pengembangan yang luas. Penelitian mendatang perlu diarahkan pada integrasi teknologi digital dengan sistem logistik terbalik, pengembangan model pengumpulan dan distribusi yang lebih efisien, penyusunan indikator kinerja yang mengukur aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial secara terpadu, serta evaluasi efektivitas kebijakan EPR di berbagai konteks negara. Selain itu, implementasi logistik terbalik pada usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), penguatan kelembagaan, dan peningkatan partisipasi masyarakat dalam pemilahan limbah sejak sumbernya merupakan topik yang masih memerlukan kajian lebih mendalam, terutama di negara berkembang.

Bahasan pada artikel ini, memberikan sintesis komprehensif mengenai konsep, penerapan, tantangan, dan arah pengembangan logistik terbalik dalam industri daur ulang plastik. Kontribusi utama artikel ini adalah mengintegrasikan temuan-temuan penelitian terkini ke dalam satu kerangka analisis yang utuh, sehingga mampu memperjelas hubungan antara logistik terbalik, ekonomi sirkular, inovasi teknologi, dan kebijakan publik. Selain mengidentifikasi kesenjangan penelitian, artikel ini juga memberikan rekomendasi bagi akademisi, pelaku industri, dan pemerintah dalam mengembangkan sistem logistik terbalik yang lebih efektif dan berkelanjutan. Dengan dukungan inovasi teknologi, kebijakan yang konsisten, investasi infrastruktur, serta kolaborasi multipihak, logistik terbalik berpotensi menjadi pilar utama dalam mempercepat transformasi industri daur ulang plastik menuju sistem ekonomi sirkular yang efisien, tangguh, dan berkelanjutan.

Referensi

- [1] M. Shen, W. Huang, M. Chen, B. Song, G. Zeng, and Y. Zhang, “(Micro) plastic crisis: un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change,” *J. Clean. Prod.*, vol. 254, p. 120138, 2020.
- [2] R. Radhiana, M. Mukhdasir, J. Surya, N. Syamsuddin, M. Maryam, and A. Syafitri, “Pengaruh Sistem Produksi Lean terhadap Pengurangan Biaya Produksi dan Peningkatan Profitabilitas di Industri Pengolahan Limbah Plastik,” *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 1, 2025.
- [3] S. Yana, C. Rusmina, M. Maksalmina, M. Maryam, R. Nengsih, and A. Nurfiqi, “Model Rekayasa Sistem Pembiayaan Industri Alternatif dalam Mendukung Industri Pengolahan Limbah Plastik,” *J. Serambi Eng.*, vol. 11, no. 1, 2026.
- [4] C. Hamdiah, M. Marlina, Z. Zainuddin, R. Rahmi, and S. Nabila, “Inovasi Teknologi Daur Ulang Plastik untuk Meningkatkan Efisiensi dan Profitabilitas Usaha Mikro,” *J. Serambi Eng.*, vol. 11, no.

- 1, 2026.
- [5] OECD, "Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options," *Glob. Plast. Outlook*, p. 201, 2022, [Online]. Available: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/global-plastics-outlook_de747aef-en
- [6] S. Yana and B. Badaruddin, "Pengelolaan Limbah Plastik Sebagai Upaya Pengurangan Pencemaran Lingkungan Melalui Transformasi Yang Memiliki Nilai Tambah Ekonomi," *J. Serambi Eng.*, vol. 2, no. 4, pp. 157–164, 2017.
- [7] R. Yulianti, R. Nengsih, and R. Alifia, "Pengaruh Inovasi Produk Terhadap Kinerja Keuangan dan Profitabilitas Industri Plastik Daur Ulang," *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 2, 2025.
- [8] S. Amir, N. Salehi, M. Roci, S. Sweet, and A. Rashid, "Towards circular economy: A guiding framework for circular supply chain implementation," *Bus. Strateg. Environ.*, vol. 32, no. 6, pp. 2684–2701, 2023.
- [9] M. Mbago, J. M. Ntayi, M. Mkansi, S. Namagembe, B. R. Tukamuhabwa, and N. Mwelu, "Implementing reverse logistics practices in the supply chain: a case study analysis of recycling firms," *Mod. Supply Chain Res. Appl.*, vol. 7, no. 2, pp. 200–227, 2025.
- [10] S. Ikhbar, R. Yulianti, M. Maksalmina, U. Ulfia, and S. Malisi, "Strategi Inovatif dalam Mengelola Risiko Pasokan Bahan Baku Limbah Plastik," *J. Serambi Eng.*, vol. 11, no. 1, 2026.
- [11] M. Kripalani, H. Gajjar, and B. Kumar, "Implementing extended producer responsibility in organizations: A bibliometric review," *Bus. Strateg. Environ.*, vol. 34, no. 3, pp. 3141–3176, 2025.
- [12] Y.-J. Cai and T.-M. Choi, "Extended producer responsibility: A systematic review and innovative proposals for improving sustainability," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 68, no. 1, pp. 272–288, 2019.
- [13] M. Waqas, Q. Dong, N. Ahmad, Y. Zhu, and M. Nadeem, "Critical barriers to implementation of reverse logistics in the manufacturing industry: a case study of a developing country," *Sustainability*, vol. 10, no. 11, p. 4202, 2018.
- [14] K. Gdowska and W. Pham, "Optimizing E-Waste Collection for Sustainable Recovery of Critical Metals in Urban Collection Systems," *Sustainability*, vol. 18, no. 5, p. 2231, 2026.
- [15] J. Kirchherr and K. Hartley, "Circular economy as a magic concept: the rise and (possible) fall of a sustainability buzzword," *J. Ind. Ecol.*, pp. 1–12, 2026.
- [16] C. Rusmina, Z. Zainuddin, J. Juwita, M. Marlina, and A. Jelita, "Risiko Investasi pada Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan dalam Pengolahan Limbah Plastik," *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 2, 2025.
- [17] S. Kumar, S. Sinha, R. Ranjan, and S. Saurav, "Modeling and managing plastic waste through reverse logistics: a global systematic review," *Innov. Infrastruct. Solut.*, vol. 11, no. 1, p. 5, 2026.
- [18] C. Pornarit *et al.*, "Strategic Approach of Reverse Logistics Management for Recyclable Waste and Transportation: A Systematic Review," *Sustainability*, vol. 18, no. 1, p. 283, 2025.
- [19] M. Zatrochová, M. Kuperová, and J. Golej, "Analysis of the principles of reverse logistics in waste management," *Acta Logist.*, vol. 8, no. 2, pp. 95–106, 2021.
- [20] A. Mishra, P. Dutta, S. Jayasankar, P. Jain, and K. Mathiyazhagan, "A review of reverse logistics and closed-loop supply chains in the perspective of circular economy," *Benchmarking an Int. J.*, vol. 30, no. 3, pp. 975–1020, 2023.
- [21] J. A. Plaza-Úbeda, E. Abad-Segura, J. de Burgos-Jiménez, A. Boteva-Asenova, and L. J. Belmonte-Ureña, "Trends and new challenges in the green supply chain: The reverse logistics," *Sustainability*, vol. 13, no. 1, p. 331, 2020.
- [22] D. Bustamante, A. Londoño-Pineda, J. A. Cano, and S. Weyers, "Overcoming Barriers to Circular Economy in Plastic Packaging: Enablers and Integrated Strategies in Multinational Companies," *Sustainability*, vol. 17, no. 21, p. 9757, 2025.
- [23] A. Costa, A. C. Ferreira, Â. M. E. Silva, J. Ramos, and B. Ramos, "Integration of Reverse Logistics and Continuous Improvement in Portuguese Industry: Perspectives from a Qualitative Survey," *Sustainability*, vol. 17, no. 9, p. 4056, 2025.
- [24] W. Tesfaye and D. Kitaw, "Conceptualizing reverse logistics to plastics recycling system," *Soc. Responsib. J.*, vol. 17, no. 5, pp. 686–702, 2021.
- [25] S. E. Ibitoye *et al.*, "Smart waste, smarter world: exploring waste types, trends, and tech-driven valorization through artificial intelligence, internet of things, and blockchain," *Sustain. Dev.*, vol. 34, pp. 132–153, 2026.
- [26] K. Bułkowska, M. Zielińska, and M. Bułkowski, "Blockchain-based management of recyclable plastic waste," *Energies*, vol. 17, no. 12, p. 2937, 2024.

- [27] X. Tong, T. Wang, J. Li, and X. Wang, "Extended producer responsibility to reconstruct the circular value chain," *Circ. Econ.*, vol. 3, no. 1, p. 100076, 2024.
- [28] U. Ulfia, R. Rahmi, Z. Yusuf, R. Radhiana, M. Mukhdasir, and A. Humaira, "Strategi Pemilihan Bahan Baku Daur Ulang untuk Meningkatkan Profitabilitas di Industri Pengolahan Limbah Plastik," *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 1, 2025.
- [29] J. Valenzuela, M. Alfaro, G. Fuertes, M. Vargas, and C. Sáez-Navarrete, "Reverse logistics models for the collection of plastic waste: A literature review," *Waste Manag. Res.*, vol. 39, no. 9, pp. 1116–1134, 2021.
- [30] H. Yu and W. D. Solvang, "A general reverse logistics network design model for product reuse and recycling with environmental considerations," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 87, no. 9, pp. 2693–2711, 2016.
- [31] M. Marlina, S. Sufitrayati, S. Amri, N. Syamsuddin, R. Radhiana, and R. M. Akbar, "Inovasi Operasional untuk Efisiensi Biaya dan Peningkatan Profit di Industri Pengolahan Limbah Plastik," *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 1, 2025.
- [32] M. Mahdi, J. Surya, R. Rahmi, I. Fahmi, and N. Shakira, "Integrasi Inovasi Digital dalam Manajemen Keuangan dan Rantai Pasok Industri Daur Ulang Plastik," *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 3, 2025.
- [33] D. Sumrit and J. Keeratibhubordee, "Risk assessment framework for reverse logistics in waste plastic recycle industry: a hybrid approach incorporating FMEA decision model with AHP-LOPCOW-ARAS under trapezoidal fuzzy set," *Decis. Mak. Appl. Manag. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 42–81, 2025.
- [34] D. Lamba, D. K. Yadav, A. Barve, and G. Panda, "Prioritizing barriers in reverse logistics of E-commerce supply chain using fuzzy-analytic hierarchy process: D. Lamba et al.," *Electron. Commer. Res.*, vol. 20, no. 2, pp. 381–403, 2020.
- [35] O. Kolade, M. Oyinlola, O. Ogunde, C. Ilo, and O. Ajala, "Digitally enabled business models for a circular plastic economy in Africa," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 35, p. 103657, 2024.
- [36] R. G. Mugion, G. C. Elmo, V. Ungaro, L. Di Pietro, and O. Martucci, "A systematic literature review of selected aspects of life cycle assessment of rare Earth elements: integration of digital technologies for sustainable production and recycling," *Sustainability*, vol. 17, no. 13, p. 5825, 2025.
- [37] S. P. Rodrigues, L. de C. Gomes, F. A. P. Peres, R. G. de F. Correa, and I. C. Baierle, "A framework for leveraging digital technologies in reverse logistics actions: a systematic literature review," *Logistics*, vol. 9, no. 2, p. 54, 2025.
- [38] R. Aryee and E. Adaku, "A review of current trends and future directions in reverse logistics research.," *Flex. Serv. Manuf. J.*, vol. 36, no. 2, p. 379, 2024.
- [39] M. Almelhem, L. Buics, E. Süle, and R. Simoes, "Industry 4.0 for sustainable reverse waste collection: A systematic literature review," *J. Transp. Supply Chain Manag.*, vol. 19, p. 1179, 2025.