

***Closed Loop Supply Chain* pada Industri Daur Ulang Plastik: Tantangan dan Tren Menuju Ekonomi Sirkular**

Syaifuddin Yana¹, Zulfan Yusuf^{2*}, Mawardi³, Susanti⁴, Agustina⁵, Ulil Amri⁶

^{1,2,3,4,6}Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

⁵Program Studi Analisis Keuangan, Politeknik Kutaraja, Banda Aceh

* Koresponden email : zulfanyusuf@serambimekkah.ac.id

Diterima: 1 Agustus 2026

Disetujui : 09 Agustus 2026

Abstract

The implementation of Closed Loop Supply Chain (CLSC) in the plastic recycling industry has attracted growing attention as a strategic approach to improving resource efficiency, reducing waste, and supporting the transition toward a circular economy. However, existing studies mainly focus on logistics, technological innovation, or policy issues separately, providing limited comprehensive insight into CLSC development. This study aims to analyze the concept of Closed-Loop Supply Chain, identify implementation trends, evaluate major challenges, and explore future research opportunities in the plastic recycling industry. A qualitative descriptive approach was employed using a narrative literature review, synthesizing evidence from internationally recognized publications indexed in Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, Taylor & Francis Online, and Google Scholar. The literature was analyzed using narrative and thematic approaches across five major themes. The findings indicate that CLSC development is driven by supply chain digitalization, Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), blockchain technologies, and the implementation of Extended Producer Responsibility (EPR) policies. Nevertheless, its implementation continues to face technical, economic, institutional, and stakeholder coordination challenges. This study provides a comprehensive synthesis of current knowledge and identifies future research opportunities to support the transition toward a more circular, efficient, and sustainable plastic recycling supply chain.

Keywords: *closed loop supply chain, plastic recycling, circular economy, narrative review*

Abstrak

Penerapan *Closed Loop Supply Chain* (CLSC) pada industri daur ulang plastik semakin menjadi perhatian sebagai pendekatan strategis untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, mengurangi limbah, dan mendukung implementasi ekonomi sirkular. Namun, sebagian besar penelitian masih membahas aspek logistik, teknologi, maupun kebijakan secara terpisah sehingga belum memberikan sintesis yang komprehensif mengenai perkembangan CLSC. Penelitian ini bertujuan menganalisis konsep *Closed Loop Supply Chain*, mengidentifikasi tren implementasi, mengevaluasi berbagai tantangan, serta mengkaji peluang penelitian pada industri daur ulang plastik. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode narrative literature review melalui sintesis berbagai publikasi ilmiah bereputasi internasional yang diperoleh dari Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, Taylor & Francis Online, dan Google Scholar. Analisis dilakukan secara naratif dan tematik berdasarkan lima kelompok pembahasan utama. Hasil kajian menunjukkan bahwa perkembangan CLSC didukung oleh digitalisasi rantai pasok, penerapan *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), *blockchain*, serta kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR). Namun, implementasinya masih menghadapi tantangan teknis, ekonomi, kelembagaan, dan koordinasi antarpemangku kepentingan. Penelitian ini memberikan sintesis komprehensif mengenai perkembangan CLSC sekaligus mengidentifikasi peluang penelitian yang mendukung transformasi industri daur ulang plastik menuju sistem rantai pasok yang lebih sirkular, efisien, dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *closed loop supply chain, daur ulang plastik, ekonomi sirkular, narrative review*

1. Pendahuluan

Rantai pasok memegang peranan penting dalam menentukan efisiensi pemanfaatan sumber daya, kelancaran distribusi produk, serta keberlanjutan aktivitas industri. Namun, sistem rantai pasok konvensional yang didominasi oleh pola linear (*take make dispose*) masih menghasilkan limbah dalam jumlah besar karena sebagian besar produk berakhir sebagai sampah setelah digunakan [1]. Kondisi tersebut

menjadi salah satu penyebab meningkatnya pencemaran lingkungan, terutama akibat akumulasi limbah plastik yang sulit terurai [2]. Sementara tingkat daur ulang masih relatif rendah dibandingkan volume limbah yang dihasilkan [3]. Oleh karena itu, berbagai negara mulai mengembangkan konsep *Closed Loop Supply Chain* (CLSC) sebagai pendekatan yang mengintegrasikan aliran produk, material, dan informasi dari konsumen kembali ke produsen melalui proses pengumpulan, pemilahan, penggunaan kembali, manufaktur ulang, dan daur ulang [4]. Pendekatan ini dinilai mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus mendukung implementasi ekonomi sirkular dan pengurangan emisi karbon [5], [6].

Dalam industri daur ulang plastik, penerapan *Closed Loop Supply Chain* memiliki peran strategis karena memungkinkan limbah plastik dikembalikan ke dalam siklus produksi sebagai bahan baku sekunder [7], [8]. Sistem ini tidak hanya melibatkan proses daur ulang, tetapi juga mencakup pengumpulan limbah, logistik balik (*reverse logistics*), pemilahan material, pengolahan kembali, hingga distribusi produk hasil daur ulang kepada konsumen. Seiring berkembangnya teknologi, implementasi CLSC semakin diperkuat melalui pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), sensor optik, *blockchain*, serta sistem pelacakan digital yang mampu meningkatkan transparansi dan efisiensi rantai pasok [9]. Selain itu, penerapan kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR), target penggunaan plastik daur ulang, dan berbagai insentif hijau telah mendorong industri untuk membangun sistem rantai pasok yang lebih berkelanjutan [10], [11]. Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa CLSC telah menjadi salah satu elemen utama dalam transformasi industri plastik menuju ekonomi sirkular.

Meskipun demikian, implementasi *Closed Loop Supply Chain* pada industri daur ulang plastik masih menghadapi berbagai permasalahan yang kompleks. Tantangan tersebut meliputi rendahnya tingkat pengumpulan limbah plastik, kualitas material yang tidak seragam akibat kontaminasi, keterbatasan infrastruktur pemilahan, tingginya biaya logistik balik, serta fluktuasi harga bahan baku daur ulang yang memengaruhi keberlanjutan investasi [12], [13]. Selain itu, koordinasi antar pelaku rantai pasok, mulai dari konsumen, pemerintah, industri, hingga perusahaan pengelola limbah, masih belum berjalan secara optimal [14], [15]. Perbedaan regulasi antarwilayah, keterbatasan insentif ekonomi, dan rendahnya partisipasi masyarakat dalam pemilahan sampah dari sumbernya juga menjadi faktor yang menghambat efektivitas penerapan CLSC [16], [17]. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberhasilan sistem rantai pasok tertutup tidak hanya ditentukan oleh inovasi teknologi, tetapi juga memerlukan dukungan kelembagaan, kebijakan publik, dan kolaborasi multipihak [18], [19].

Meskipun penelitian mengenai *Closed Loop Supply Chain* dan daur ulang plastik berkembang sangat pesat dalam lima tahun terakhir, sebagian besar kajian masih berfokus pada aspek tertentu, seperti optimasi logistik, pengembangan teknologi daur ulang, analisis biaya, atau evaluasi kebijakan secara terpisah [20], [21]. Kajian yang mengintegrasikan konsep CLSC, perkembangan implementasi, berbagai tantangan, serta peluang penelitian dalam satu sintesis komprehensif masih relatif terbatas, khususnya dalam bentuk tinjauan naratif. Kesenjangan penelitian (*research gap*) tersebut menyebabkan belum tersedianya gambaran menyeluruh mengenai bagaimana sistem CLSC dapat diimplementasikan secara efektif dalam industri daur ulang plastik, terutama pada negara berkembang yang memiliki karakteristik infrastruktur dan kebijakan yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian naratif yang mampu mengintegrasikan berbagai hasil penelitian terbaru sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perkembangan dan arah penelitian CLSC pada industri daur ulang plastik.

Artikel ini mengkaji secara komprehensif konsep *Closed Loop Supply Chain* dalam industri daur ulang plastik, menganalisis tren implementasi yang berkembang, mengidentifikasi berbagai permasalahan dan tantangan yang dihadapi, serta mengeksplorasi peluang penelitian di masa depan melalui pendekatan *narrative review*. Kontribusi utama artikel ini adalah menyajikan sintesis literatur terkini yang mengintegrasikan perspektif manajemen rantai pasok, ekonomi sirkular, teknologi, dan kebijakan sehingga memberikan pemahaman yang lebih utuh mengenai implementasi CLSC pada industri daur ulang plastik. Selain itu, artikel ini diharapkan dapat mengisi *research gap* dengan mengidentifikasi tema-tema penelitian yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, sekaligus menjadi referensi bagi akademisi dalam menyusun agenda penelitian berikutnya, bagi pelaku industri dalam meningkatkan efisiensi sistem rantai pasok tertutup, dan bagi pemerintah dalam merancang kebijakan yang mendukung percepatan implementasi ekonomi sirkular. Selanjutnya, pembahasan artikel diawali dengan konsep dasar *Closed Loop Supply Chain*, dilanjutkan dengan analisis tren implementasi, berbagai tantangan yang dihadapi, peluang penelitian di masa depan, dan diakhiri dengan kesimpulan sebagai sintesis utama hasil kajian.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode review literatur dan analisis naratif (*narrative literature review*) untuk mengkaji penerapan *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC)

pada industri daur ulang plastik, khususnya yang berkaitan dengan perkembangan konsep, tren implementasi, berbagai tantangan, serta peluang 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, ekonomi sirkular, teknologi, logistik balik (*reverse logistics*), keberlanjutan, dan kebijakan publik ke dalam satu kerangka analisis yang utuh. Melalui pendekatan naratif, penelitian ini tidak hanya mendeskripsikan perkembangan implementasi CLSC, tetapi juga mengidentifikasi hubungan antar konsep, perkembangan tren penelitian, serta berbagai kesenjangan penelitian (*research gaps*) 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 *Closed Loop Supply Chain* dan ekonomi sirkular. Proses penelusuran literatur dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci, antara lain *closed-loop supply chain*, *plastic recycling*, *reverse logistics*, *circular economy*, *plastic waste management*, *sustainable supply chain*, *extended producer responsibility*, *digital supply chain*, *blockchain*, *Artificial Intelligence*, dan *Internet of Things*.

Selanjutnya, seluruh literatur yang relevan diklasifikasikan ke dalam beberapa tema utama penelitian, yaitu: (a) konsep *Closed Loop Supply Chain* pada industri daur ulang plastik, (b) tren penerapan CLSC, (c) berbagai permasalahan dan tantangan implementasi, (d) peluang penelitian dan arah pengembangan di masa depan, serta (e) implikasi manajerial, kebijakan, dan keberlanjutan terhadap pengembangan sistem rantai pasok tertutup dalam industri daur ulang plastik. Pengelompokan tematik tersebut dilakukan untuk 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 guna 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 *Closed Loop Supply Chain*, sehingga menghasilkan kerangka analisis yang lebih sistematis mengenai tren, tantangan, dan peluang implementasi CLSC dalam industri daur ulang plastik. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai transformasi sistem rantai pasok menuju model yang lebih efisien, sirkular, berdaya saing, dan berkelanjutan.

Tabel 1. Sumber Literatur dan Kontribusi dalam Penelitian

Sumber Literatur	Tahun	Kontribusi dalam Penelitian
Mishra et al. <i>A Review of Reverse Logistics and Closed-Loop Supply Chains in the Perspective of Circular Economy</i>	2023	Menjelaskan konsep dasar Closed-Loop Supply Chain (CLSC) dan integrasinya dengan ekonomi sirkular.
OECD. <i>Improving Plastics Management: Trends, Policy Responses, and the Role of International Co-operation and Trade</i>	2022	Memberikan gambaran kebijakan pengelolaan plastik serta penguatan implementasi CLSC.
King & Locock. <i>A Circular Economy Framework for Plastics: A Semi-Systematic Review</i>	2022	Menjadi dasar pengembangan kerangka konseptual CLSC pada industri plastik.
Ramli et al. <i>Advancing Circular Economy Approaches in Plastic Waste Management</i>	2024	Menjelaskan implementasi ekonomi sirkular pada pengelolaan limbah plastik di negara berkembang.
Morshedi et al. <i>The Adoption of Digital Technologies in Circular Supply Chains</i>	2026	Menguraikan pemanfaatan Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), blockchain, dan digitalisasi rantai pasok.
Azadnia et al. <i>A Systematic Literature Review of Closed-Loop Supply Chain Network Design</i>	2026	Menjelaskan desain jaringan CLSC serta tantangan implementasinya.
Bulkowska et al. <i>Blockchain-Based Management of Recyclable Plastic Waste</i>	2024	Menjelaskan peran blockchain dalam meningkatkan transparansi dan ketertelusuran rantai pasok.
Taleizadeh et al. <i>Decision-Making Strategy in a Two-Period Closed-Loop Supply Chain</i>	2025	Memberikan perspektif optimasi ekonomi, efisiensi operasional, dan profitabilitas CLSC.

Sumber Literatur	Tahun	Kontribusi dalam Penelitian
Sebti et al. <i>Traceability and Anti-Counterfeiting in Supply Chains</i>	2026	Menjelaskan teknologi traceability, RFID, IoT, blockchain, dan AI dalam sistem rantai pasok.
Kirchherr et al. <i>Conceptualizing the Circular Economy (Revisited)</i>	2023	Memberikan landasan teoritis mengenai hubungan ekonomi sirkular dengan sistem Closed-Loop Supply Chain.

3. Rantai Pasok Tertutup dalam Daur Ulang Plastik

Rantai pasok tertutup (*Closed Loop Supply Chain* - CLSC) merupakan sistem manajemen rantai pasok yang mengintegrasikan aliran produk, material, dan informasi mulai dari produsen hingga konsumen, kemudian mengembalikannya ke proses produksi melalui pengumpulan, pemilahan, penggunaan kembali, manufaktur ulang, dan daur ulang [22]. Berbeda dengan rantai pasok tradisional yang berakhir pada konsumsi, CLSC bertujuan mempertahankan nilai material selama mungkin sehingga limbah dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber daya yang bernilai ekonomi. CLSC menjadi salah satu strategi utama dalam mendukung implementasi ekonomi sirkular karena mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus mengurangi dampak lingkungan [20]. Dalam industri daur ulang plastik, sistem ini berfungsi sebagai penghubung antara pengelolaan limbah dan proses produksi sehingga menciptakan siklus material yang lebih berkelanjutan [23]–[25].

Komponen utama CLSC pada industri daur ulang plastik meliputi pengumpulan limbah, logistik balik (*reverse logistics*), pemilahan berdasarkan jenis polimer, proses daur ulang mekanis maupun kimia, serta distribusi kembali produk hasil daur ulang ke pasar. Seluruh komponen tersebut saling terintegrasi untuk memastikan material tetap berada dalam siklus produksi dan tidak berakhir sebagai limbah. Perkembangan teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), sensor optik, dan blockchain semakin meningkatkan efisiensi pengumpulan, pelacakan material, serta transparansi rantai pasok [26]. Selain itu, kebijakan Extended Producer Responsibility (EPR) mendorong produsen untuk bertanggung jawab terhadap pengelolaan produk setelah masa pakainya berakhir sehingga memperkuat implementasi CLSC [27], [28].

Tabel 2. Komponen dan Manfaat Rantai Pasok Tertutup pada Industri Daur Ulang Plastik

Komponen CLSC	Fungsi Utama	Manfaat yang Dihasilkan
Pengumpulan limbah	Mengumpulkan plastik pascakonsumsi	Menjamin ketersediaan bahan baku sekunder
Reverse logistics	Mengembalikan limbah ke fasilitas pengolahan	Efisiensi aliran material
Pemilahan	Memisahkan plastik berdasarkan jenis	Meningkatkan kualitas hasil daur ulang
Daur ulang (mechanical & chemical recycling)	Mengolah limbah menjadi bahan baku baru	Mengurangi penggunaan bahan baku primer
Distribusi produk daur ulang	Menyalurkan produk ke pasar	Meningkatkan nilai ekonomi dan keberlanjutan

Sumber: Diadaptasi dari [3], [23], [24], [26].

Penerapan CLSC memberikan berbagai manfaat bagi industri, antara lain meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku, mengurangi biaya pengadaan material primer, menekan emisi karbon, serta memperkuat daya saing melalui pemanfaatan bahan baku sekunder. Dari perspektif lingkungan, CLSC mampu mengurangi volume limbah plastik yang berakhir di tempat pembuangan akhir maupun lingkungan perairan. Sementara itu, dari perspektif ekonomi, sistem ini mendorong terciptanya peluang bisnis baru, peningkatan nilai tambah limbah, serta penguatan kolaborasi antara pemerintah, industri, dan masyarakat. Dengan demikian, CLSC menjadi fondasi penting dalam mewujudkan industri daur ulang plastik yang lebih efisien, kompetitif, dan berkelanjutan.

4. Tren Terkini dalam Rantai Pasok Daur Ulang Plastik

Perkembangan *Closed Loop Supply Chain* (CLSC) pada industri daur ulang plastik menunjukkan kemajuan yang signifikan seiring meningkatnya perhatian terhadap efisiensi sumber daya dan keberlanjutan lingkungan. Perusahaan tidak lagi hanya berfokus pada distribusi produk, tetapi juga mengintegrasikan proses pengumpulan, pemilahan, logistik balik (*reverse logistics*), dan pemanfaatan kembali limbah plastik ke dalam rantai pasok. Transformasi tersebut didukung oleh perkembangan teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), sensor optik, dan *blockchain* yang meningkatkan akurasi

pemilahan, transparansi aliran material, serta efisiensi operasional [29]. Digitalisasi rantai pasok menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas CLSC karena mampu mempercepat pengambilan keputusan dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya [30]. Sementara itu, inovasi teknologi telah meningkatkan kualitas material hasil daur ulang sehingga mampu memperluas pemanfaatannya pada berbagai sektor industri [14], [31].

Selain didukung oleh kemajuan teknologi, tren CLSC juga semakin terintegrasi dengan konsep ekonomi sirkular melalui penerapan strategi *closed-loop recycling*, penggunaan bahan baku sekunder, serta pengembangan model bisnis berbasis keberlanjutan [32]. Perusahaan mulai menerapkan desain produk yang mudah didaur ulang (*design for recycling*), memperkuat kolaborasi dengan perusahaan pengelola limbah, dan mengembangkan sistem pelacakan material sepanjang siklus hidup produk. Integrasi CLSC dengan ekonomi sirkular mampu meningkatkan efisiensi penggunaan material sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku primer. Di sisi lain, penerapan kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR) juga mendorong produsen untuk bertanggung jawab terhadap pengelolaan produk setelah masa pakainya berakhir sehingga memperkuat implementasi rantai pasok tertutup [3].

Tabel 3. Tren Terkini dalam Rantai Pasok Daur Ulang Plastik

Aspek	Perkembangan Terkini	Dampak terhadap Rantai Pasok
Teknologi	AI, IoT, sensor optik, <i>blockchain</i> , <i>digital tracking</i>	Meningkatkan efisiensi, akurasi pemilahan, dan transparansi
Integrasi Ekonomi Sirkular	<i>Closed-loop recycling</i> , penggunaan bahan baku sekunder, <i>design for recycling</i>	Memperpanjang siklus hidup material dan mengurangi limbah
Inisiatif Industri	Investasi teknologi, target penggunaan plastik daur ulang, kolaborasi multipihak	Meningkatkan daya saing dan keberlanjutan industri
Kebijakan Pemerintah	Implementasi EPR, insentif hijau, regulasi plastik sekali pakai	Memperkuat implementasi CLSC dan investasi
Kolaborasi Pemangku Kepentingan	Kerja sama pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat	Mempercepat transisi menuju ekonomi sirkular

Sumber: Diadaptasi dari [3], [29], [32].

Perkembangan tersebut semakin didukung oleh berbagai inisiatif pemerintah dan sektor industri melalui penyusunan regulasi, pemberian insentif investasi hijau, serta pengembangan kemitraan lintas pemangku kepentingan. Berbagai perusahaan multinasional mulai menetapkan target peningkatan kandungan plastik daur ulang dalam produknya sebagai bagian dari strategi keberlanjutan perusahaan [33]. Kolaborasi antara pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat menjadi faktor kunci dalam mempercepat implementasi CLSC, khususnya di negara berkembang yang masih menghadapi keterbatasan infrastruktur dan teknologi. Oleh karena itu, tren terkini menunjukkan bahwa keberhasilan rantai pasok daur ulang plastik tidak hanya bergantung pada inovasi teknologi, tetapi juga pada sinergi kebijakan, model bisnis, dan partisipasi seluruh pemangku kepentingan [19].

4. Permasalahan dan Tantangan

Implementasi *Closed Loop Supply Chain* (CLSC) pada industri daur ulang plastik masih menghadapi berbagai permasalahan, terutama pada tahap pengumpulan dan pemilahan limbah [21]. Rendahnya tingkat pemilahan sampah dari sumber, tingginya kontaminasi material, serta keterbatasan infrastruktur pengumpulan menyebabkan kualitas bahan baku daur ulang sering kali tidak memenuhi standar industri [34]. Selain itu, keberagaman jenis polimer dan penggunaan material komposit memperumit proses identifikasi serta pemisahan plastik sehingga menurunkan efisiensi proses daur ulang [35]. Keberhasilan CLSC sangat bergantung pada sistem logistik balik (*reverse logistics*) yang terintegrasi dengan baik agar aliran material dapat berlangsung secara efisien sepanjang siklus rantai pasok [36].

Selain tantangan teknis, aspek ekonomi dan pasar juga menjadi kendala utama dalam pengembangan rantai pasok tertutup. Tingginya biaya investasi teknologi, biaya pengumpulan dan transportasi limbah, serta fluktuasi harga plastik daur ulang menyebabkan daya saing produk hasil daur ulang masih relatif rendah dibandingkan plastik berbahan baku primer. Ketidakpastian permintaan pasar terhadap produk berbahan daur ulang juga memengaruhi keberlanjutan investasi pada sektor ini. Keberhasilan CLSC memerlukan keseimbangan antara efisiensi operasional, inovasi teknologi, dan mekanisme pasar yang mampu memberikan insentif ekonomi bagi seluruh pelaku rantai pasok [37].

Tabel 4. Permasalahan dan Tantangan dalam Rantai Pasok Daur Ulang Plastik

Aspek Tantangan	Permasalahan Utama	Dampak terhadap Rantai Pasok
Pengumpulan dan Pemilahan	Rendahnya pemilahan dari sumber, kontaminasi limbah, infrastruktur terbatas	Menurunkan kualitas bahan baku dan efisiensi daur ulang
Ekonomi dan Pasar	Investasi tinggi, biaya logistik besar, harga plastik daur ulang tidak stabil	Menurunkan daya saing dan minat investasi
Teknologi	Keterbatasan teknologi pemilahan dan chemical recycling	Efisiensi proses belum optimal
Kebijakan dan Regulasi	Implementasi EPR belum optimal, koordinasi kebijakan lemah	Menghambat pengembangan CLSC
Kolaborasi Pemangku Kepentingan	Sinergi pemerintah, industri, dan masyarakat belum maksimal	Implementasi ekonomi sirkular berjalan lambat

Sumber: Diadaptasi dari [3], [21], [34], [35], [37]

Tantangan berikutnya berkaitan dengan kebijakan dan regulasi yang belum sepenuhnya mendukung implementasi CLSC. Meskipun berbagai negara telah menerapkan kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR) dan target pengurangan limbah plastik, implementasinya masih menghadapi kendala berupa lemahnya koordinasi antarlembaga, perbedaan regulasi antarwilayah, serta keterbatasan pengawasan. Di negara berkembang, rendahnya kapasitas kelembagaan dan keterbatasan investasi publik turut memperlambat pengembangan sistem rantai pasok tertutup. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan yang lebih terintegrasi, penguatan kolaborasi antara pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat, serta peningkatan investasi pada infrastruktur dan inovasi teknologi untuk mempercepat implementasi CLSC secara berkelanjutan.

5. Peluang di Masa Depan

Perkembangan *Closed Loop Supply Chain* (CLSC) pada industri daur ulang plastik diperkirakan akan semakin dipengaruhi oleh kemajuan teknologi digital dan inovasi proses daur ulang. Teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), *blockchain*, *Digital Product Passport* (DPP), robotika, dan *advanced chemical recycling* mulai diterapkan untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan, pemilahan, pelacakan material, serta pengambilan keputusan dalam rantai pasok [38]. Selain itu, integrasi *Life Cycle Assessment* (LCA) dan analisis jejak karbon memungkinkan perusahaan mengevaluasi dampak lingkungan secara lebih komprehensif sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis keberlanjutan [39]. Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa transformasi digital akan menjadi faktor utama dalam memperkuat implementasi CLSC di masa depan.

Meskipun penelitian mengenai CLSC berkembang cukup pesat, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian (*research gaps*) yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Sebagian besar penelitian masih berfokus pada optimasi logistik, efisiensi operasional, atau teknologi daur ulang secara terpisah, sementara kajian yang mengintegrasikan aspek teknologi, ekonomi, lingkungan, kebijakan, dan perilaku konsumen dalam satu kerangka analisis masih relatif terbatas [40], [41]. Selain itu, penelitian mengenai implementasi CLSC pada usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), pengembangan indikator kinerja rantai pasok sirkular, serta penerapan teknologi digital di negara berkembang masih belum banyak dieksplorasi.

Tabel 5. Peluang Penelitian *Closed-Loop Supply Chain* pada Industri Daur Ulang Plastik

Fokus Penelitian	Arah Pengembangan	Kontribusi yang Diharapkan
Teknologi	AI, IoT, <i>blockchain</i> , <i>Digital Product Passport</i> , <i>advanced recycling</i>	Meningkatkan efisiensi, transparansi, dan kualitas proses
Research Gaps	Integrasi teknologi, ekonomi, kebijakan, dan perilaku konsumen	Menghasilkan model CLSC yang lebih komprehensif
Model Rantai Pasok	Optimasi reverse logistics, closed-loop network, indikator kinerja	Meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan rantai pasok
Kebijakan	Evaluasi EPR, insentif investasi, harmonisasi regulasi	Memperkuat implementasi ekonomi sirkular
Negara Berkembang	Implementasi CLSC pada UMKM dan penguatan kelembagaan	Mendukung transisi menuju industri yang berkelanjutan

Sumber: Diadaptasi dari [38]–[40], [42]

Berdasarkan hasil sintesis literatur, penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada pengembangan model CLSC yang lebih adaptif terhadap karakteristik negara berkembang, evaluasi efektivitas kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR), integrasi teknologi digital dengan sistem logistik balik, serta pengembangan indikator keberhasilan ekonomi sirkular yang mencakup aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Selain memberikan kontribusi terhadap pengembangan teori, penelitian tersebut diharapkan mampu menghasilkan rekomendasi praktis bagi industri dalam meningkatkan efisiensi rantai pasok dan bagi pemerintah dalam menyusun kebijakan yang lebih efektif untuk mempercepat transisi menuju ekonomi sirkular yang berkelanjutan [42].

6. Kesimpulan

Closed Loop Supply Chain (CLSC) telah menjadi salah satu pendekatan strategis dalam mendukung pengelolaan limbah plastik yang lebih berkelanjutan melalui integrasi proses pengumpulan, logistik balik (*reverse logistics*), pemilahan, daur ulang, dan distribusi kembali material ke dalam siklus produksi. Berdasarkan hasil sintesis literatur, penerapan CLSC mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku primer, memperpanjang siklus hidup material, serta mendukung implementasi ekonomi sirkular. Selain memberikan manfaat ekonomi melalui peningkatan nilai tambah limbah plastik, sistem ini juga berkontribusi terhadap pengurangan pencemaran lingkungan dan emisi karbon sehingga menjadi bagian penting dalam upaya mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Dengan demikian, CLSC tidak lagi dipandang sebagai sistem logistik semata, tetapi telah berkembang menjadi kerangka pengelolaan rantai pasok yang mengintegrasikan aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial secara berkelanjutan.

Kajian ini juga menunjukkan bahwa perkembangan CLSC dipengaruhi oleh kemajuan teknologi digital, inovasi model bisnis, serta dukungan kebijakan pemerintah. Pemanfaatan teknologi seperti Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), *blockchain*, Digital Product Passport (DPP), dan teknologi daur ulang lanjutan (*advanced recycling*) telah meningkatkan efisiensi operasional, transparansi aliran material, dan kualitas produk hasil daur ulang. Namun demikian, implementasi CLSC masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain rendahnya kualitas pengumpulan dan pemilahan limbah, tingginya biaya investasi, keterbatasan teknologi, fluktuasi pasar plastik daur ulang, serta belum optimalnya implementasi kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR) dan koordinasi antar pemangku kepentingan. Oleh karena itu, keberhasilan CLSC memerlukan sinergi antara inovasi teknologi, penguatan kelembagaan, dukungan regulasi, serta partisipasi aktif pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat.

Hasil kajian ini juga mengidentifikasi bahwa penelitian mengenai CLSC pada industri daur ulang plastik masih memiliki peluang yang sangat luas untuk dikembangkan. Penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada pengembangan model rantai pasok tertutup yang lebih adaptif terhadap karakteristik negara berkembang, integrasi teknologi digital dengan sistem *reverse logistics*, pengembangan indikator kinerja rantai pasok sirkular, serta evaluasi efektivitas kebijakan EPR dan strategi kolaborasi multipihak. Selain itu, penelitian mengenai implementasi CLSC pada usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), perilaku konsumen terhadap produk daur ulang, serta penerapan teknologi digital dalam meningkatkan efisiensi rantai pasok masih relatif terbatas sehingga menjadi agenda penelitian yang penting pada masa mendatang.

Referensi

- [1] H. Burke, A. Zhang, and J. X. Wang, "Integrating product design and supply chain management for a circular economy," *Prod. Plan. Control*, vol. 34, no. 11, pp. 1097–1113, 2023.
- [2] 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.
- [3] OECD, *Improving Plastics Management: Trends, Policy Responses, and the Role of International Co-operation and Trade*, vol. 60, no. 1. 2022.
- [4] 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.
- [5] J. Kirchherr, N.-H. N. Yang, F. Schulze-Spüntrup, M. J. Heerink, and K. Hartley, "Conceptualizing the circular economy (revisited): an analysis of 221 definitions," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 194, p. 107001, 2023.
- [6] OECD, "Trade Policies to Promote the Circular Economy :," 2023.
- [7] 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.
- [8] J. Lozano-Oviedo, C. E. Cortés, P. Maya-Duque, P. A. Rey, and J. G. Villegas, “Sustainable closed-loop supply chain of returnable packaging considering circular transition indicators,” *Environ. Dev. Sustain.*, pp. 1–38, 2026.
 - [9] M. Morshedi, V. Hargaden, N. Papakostas, and P. Ghadimi, “The Adoption of Digital Technologies in Circular Supply Chains: From Theoretical Developments to Practical Applications,” *Logistics*, vol. 10, no. 1, p. 18, 2026.
 - [10] 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.
 - [11] K. Tumu, K. Vorst, and G. Curtzwiler, “Global plastic waste recycling and extended producer responsibility laws,” *J. Environ. Manage.*, vol. 348, p. 119242, 2023.
 - [12] W. Ali, “Optimizing the e-waste management in India: A sustainable mathematical modeling approach to circular economy,” *Qual. Quant.*, vol. 59, no. 5, pp. 4647–4678, 2025.
 - [13] Z. Boz, V. Korhonen, and C. Koelsch Sand, “Consumer considerations for the implementation of sustainable packaging: A review,” *Sustainability*, vol. 12, no. 6, p. 2192, 2020.
 - [14] 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.
 - [15] 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.
 - [16] F. B. Awino and S. E. Apitz, “Solid waste management in the context of the waste hierarchy and circular economy frameworks: An international critical review,” *Integr. Environ. Assess. Manag.*, vol. 20, no. 1, pp. 9–35, 2024.
 - [17] A. Zhang, S. Xie, Y. Gong, C. Li, and Y. Liu, “Barriers to compulsory waste sorting for a circular economy in China,” *J. Environ. Manage.*, vol. 342, p. 118180, 2023.
 - [18] 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.
 - [19] 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.
 - [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] A. H. Azadnia, C. Wang, A. Anjomshoe, R. Banomyong, M. K. Lim, and P. Ghadimi, “A systematic literature review of closed-loop supply chain network design: practical real case applications,” *Int. J. Logist. Res. Appl.*, pp. 1–40, 2026.
 - [22] D. Battini, M. Bogataj, and A. Choudhary, “Closed loop supply chain (CLSC): economics, modelling, management and control,” *International journal of production economics*, vol. 183. Elsevier, pp. 319–321, 2017.
 - [23] J.-P. Lange, “Managing plastic waste; sorting, recycling, disposal, and product redesign,” *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 47, pp. 15722–15738, 2021.
 - [24] F. Gu, J. Guo, W. Zhang, P. A. Summers, and P. Hall, “From waste plastics to industrial raw materials: A life cycle assessment of mechanical plastic recycling practice based on a real-world case study,” *Sci. Total Environ.*, vol. 601, pp. 1192–1207, 2017.
 - [25] 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.
 - [26] M. R. Sebti, U. McCarthy, A. Ktenioudaki, M. Russo, and M. Merenda, “Traceability and anti-counterfeiting in agri-food supply chains: A review of RFID, IoT, blockchain, and AI technologies,” *Sensors*, vol. 26, no. 5, p. 1685, 2026.
 - [27] Y. Yan, J. Cao, Y. Zhou, G. Zhou, and J. Chen, “Decisions for power battery closed-loop supply chain: Cascade utilization and extended producer responsibility,” *Ann. Oper. Res.*, pp. 1–41, 2024.
 - [28] N. Kunz, K. Mayers, and L. N. Van Wassenhove, “Stakeholder views on extended producer responsibility and the circular economy,” *Calif. Manage. Rev.*, vol. 60, no. 3, pp. 45–70, 2018.
 - [29] S. Handoyo and M. Sueb, “Integrating Digital Technologies Into the Circular Economy: A

- Systematic Literature Review of Trends, Challenges, and Opportunities,” *Circ. Econ. Sustain.*, vol. 6, no. 2, p. 111, 2026.
- [30] M. Akbari, “Revolutionizing supply chain and circular economy with edge computing: Systematic review, research themes and future directions,” *Manag. Decis.*, vol. 62, no. 9, pp. 2875–2899, 2024.
- [31] M. Alaghemandi, “Sustainable solutions through innovative plastic waste recycling technologies,” *Sustainability*, vol. 16, no. 23, p. 10401, 2024.
- [32] A. Tajbakhsh, M. Nematollahi, and A. Shamsi Zamenjani, “Migration to the quadruple bottom line framework for achieving sustainable development goals: the 4Ps of sustainability,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 356, no. 2, pp. 1191–1229, 2026.
- [33] 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.
- [34] Z. Ait-Touchente, M. Khellaf, G. Raffin, N. Lebaz, and A. Elaissari, “Recent advances in polyvinyl chloride (PVC) recycling,” *Polym. Adv. Technol.*, vol. 35, no. 1, p. e6228, 2024.
- [35] B. D. Vogt, K. K. Stokes, and S. K. Kumar, “Why is recycling of postconsumer plastics so challenging?,” *ACS Appl. Polym. Mater.*, vol. 3, no. 9, pp. 4325–4346, 2021.
- [36] G. A. Tennakoon, R. Rameezdeen, and N. Chileshe, “Diverting demolition waste toward secondary markets through integrated reverse logistics supply chains: A systematic literature review,” *Waste Manag. Res.*, vol. 40, no. 3, pp. 274–293, 2022.
- [37] A. A. Taleizadeh, Z. Tahmasbifar, R. Moradi, B. R. Sarker, and A. Hafezalkotob, “An optimum decision-making strategy to maximize total profit in a two-period closed-loop supply chain dealing with greenhouse gases,” *Ann. Oper. Res.*, pp. 1–35, 2025.
- [38] K. Bułkowska, M. Zielińska, and M. Bułkowski, “Blockchain-based management of recyclable plastic waste,” *Energies*, vol. 17, no. 12, p. 2937, 2024.
- [39] J. Pinedo-López, R. Baena-Navarro, Y. Carriazo-Regino, A. Urrea-Ortiz, and D. Reyes-Guevara, “Sustainability strategies: A proposal for food sector SMEs, based on the integration of life cycle assessment and ESG strategies,” *J. Infrastructure, Policy Dev.*, vol. 8, no. 12, p. 8934, 2024.
- [40] S. Fernández, U. Bodin, and K. Synnes, “On the interplay between behavior dynamics, environmental impacts, and fairness in the digitalized circular economy with associated business models and supply chain management,” *Sustainability*, vol. 17, no. 8, p. 3437, 2025.
- [41] 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.
- [42] S. King and K. E. S. Locock, “A circular economy framework for plastics: A semi-systematic review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 364, p. 132503, 2022.