

Integrasi Kerentanan Operasional Berbasis Teknik Proses dan Dinamika Pasar dalam Industri Pengolahan Limbah

Susanti¹, Sufitrayati^{2*}, Ulfia³, Maryam⁴, Ilyas⁵, Zakiya Rahmati⁶

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

^{2,3,4,6}Program Studi Akuntansi, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

*Koresponden email: sufitrayati@serambimekkah.ac.id

Diterima: 7 April 2026

Disetujui: 17 April 2026

Abstract

The plastic recycling industry faces complex challenges arising from the interaction between process engineering-based operational risks and market risks affecting industrial sustainability. This article aims to analyze the integration of operational and market risks in the plastic recycling industry through a literature review and narrative analysis approach. The study employs a qualitative descriptive method by examining scientific articles, international reports, and relevant empirical studies related to process engineering, market risks, and circular economy practices. The findings indicate that operational risks, such as unstable raw material supply, sorting errors, and technological limitations, are directly associated with market risks including price fluctuations, uncertain demand, and low competitiveness of recycled products. The study also reveals that previous research has largely examined technical and economic aspects separately, limiting the understanding of the integrative relationship between process efficiency and market dynamics. Therefore, this article proposes an integrative perspective combining engineering and economic approaches to strengthen risk mitigation and sustainability in the plastic recycling industry.

Keywords: *operational risk, market risk, plastic recycling, process engineering*

Abstrak

Industri daur ulang plastik menghadapi tantangan kompleks akibat interaksi antara risiko operasional berbasis teknik proses dan risiko pasar yang memengaruhi keberlanjutan industri. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis integrasi risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik melalui pendekatan review literatur dan analisis naratif. Penelitian menggunakan metode kualitatif deskriptif dengan menelaah berbagai artikel ilmiah, laporan internasional, dan studi empiris yang relevan terkait teknik proses, risiko pasar, dan ekonomi sirkular. Hasil analisis menunjukkan bahwa risiko operasional, seperti ketidakstabilan pasokan bahan baku, kesalahan pemilahan, dan keterbatasan teknologi, memiliki hubungan langsung dengan risiko pasar berupa fluktuasi harga, ketidakpastian permintaan, dan rendahnya daya saing produk daur ulang. Studi ini juga menemukan bahwa sebagian besar penelitian terdahulu masih membahas aspek teknis dan ekonomi secara terpisah, sehingga belum mampu menjelaskan hubungan integratif antara efisiensi proses dan dinamika pasar secara komprehensif. Oleh karena itu, artikel ini menawarkan perspektif integratif berbasis rekayasa dan ekonomi untuk memperkuat mitigasi risiko dan keberlanjutan industri daur ulang plastik.

Kata Kunci: *risiko operasional, risiko pasar, daur ulang plastik, teknik proses*

1. Pendahuluan

Industri daur ulang plastik semakin berkembang sebagai bagian dari upaya global dalam mengurangi dampak lingkungan sekaligus mendorong implementasi ekonomi sirkular [1]. Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan volume limbah plastik telah mendorong perlunya sistem pengelolaan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Namun demikian, keberhasilan industri ini tidak hanya ditentukan oleh aspek lingkungan, tetapi juga oleh kemampuan mengelola berbagai risiko yang muncul dalam proses operasional dan dinamika pasar [2], [3]. Studi terbaru menunjukkan bahwa sistem daur ulang plastik melibatkan interaksi kompleks antara faktor teknis, ekonomi, dan kelembagaan, sehingga memerlukan pendekatan yang terintegrasi dalam pengelolaannya [4], [5].

Dari perspektif teknik proses, risiko operasional dalam industri daur ulang plastik berkaitan dengan ketidakpastian dalam setiap tahapan produksi, mulai dari pengumpulan, pemilahan, hingga pengolahan material [6]. Variasi kualitas limbah, keterbatasan teknologi, serta inefisiensi proses menjadi tantangan utama yang dapat mengganggu kinerja sistem. Risiko operasional dalam rantai daur ulang bersifat terdistribusi dan saling terkait antar tahapan proses [7]. Di sisi lain, pendekatan rekayasa menekankan pentingnya optimasi sistem, pengendalian kualitas, serta penerapan teknologi yang tepat untuk meminimalkan potensi kegagalan.

Selain risiko operasional, industri daur ulang plastik juga menghadapi risiko pasar yang signifikan. Ketidakpastian harga, fluktuasi permintaan, serta rendahnya daya saing produk daur ulang dibandingkan plastik virgin menjadi tantangan utama dalam perspektif ekonomi. Pasar daur ulang plastik di negara berkembang masih menghadapi hambatan struktural, seperti keterbatasan investasi dan kurangnya insentif ekonomi [8], [9]. Selain itu, persepsi konsumen terhadap kualitas produk daur ulang juga memengaruhi tingkat permintaan, sehingga menambah kompleksitas dalam pengelolaan risiko pasar [10], [11].

Meskipun berbagai penelitian telah membahas risiko operasional maupun risiko pasar secara terpisah, masih terdapat kesenjangan dalam literatur terkait integrasi kedua jenis risiko tersebut dalam satu kerangka analisis yang komprehensif. Sebagian besar studi cenderung berfokus pada aspek teknis atau ekonomi secara parsial, sehingga belum mampu menjelaskan interaksi dinamis antara efisiensi proses dan kinerja pasar secara simultan. Oleh karena itu, artikel ini berkontribusi dengan menawarkan pendekatan integratif berbasis analisis naratif yang menghubungkan risiko operasional berbasis teknik proses dengan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik. Kontribusi ini diharapkan dapat memperkaya literatur dengan perspektif lintas disiplin, sekaligus memberikan dasar konseptual bagi pengembangan model manajemen risiko yang lebih holistik dan aplikatif, khususnya dalam konteks negara berkembang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode review literatur dan analisis naratif untuk mengkaji integrasi risiko operasional berbasis teknik proses dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti melakukan interpretasi dan sintesis terhadap berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan aspek teknik produksi, ekonomi pasar, dan manajemen risiko dalam industri daur ulang plastik. Melalui pendekatan analisis naratif, penelitian tidak hanya mendeskripsikan hasil penelitian sebelumnya, tetapi juga mengidentifikasi hubungan konseptual dan keterkaitan antar dimensi risiko dalam sistem industri daur ulang plastik.

Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur terhadap artikel ilmiah, laporan internasional, dan dokumen penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber akademik seperti Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan SpringerLink. Literatur yang digunakan difokuskan pada penelitian yang membahas risiko operasional berbasis teknik proses, risiko pasar, ekonomi sirkular, efisiensi produksi, serta manajemen risiko dalam industri daur ulang plastik. Selanjutnya, literatur yang relevan diklasifikasikan ke dalam beberapa tema utama, yaitu: (a) risiko operasional berbasis teknik proses, (b) risiko pasar dalam industri daur ulang plastik, (c) integrasi risiko operasional dan risiko pasar, serta (d) implikasi strategis dalam mitigasi risiko industri.

Analisis data dilakukan secara naratif dan tematik dengan membandingkan berbagai hasil penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi pola hubungan, kesamaan temuan, serta kesenjangan penelitian (research gap). Pendekatan ini digunakan untuk membangun pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara efisiensi proses teknik dan dinamika pasar dalam industri daur ulang plastik. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan tabel sintesis literatur untuk memperjelas kontribusi masing-masing referensi terhadap pengembangan kerangka analisis integratif mengenai risiko operasional dan risiko pasar.

Tabel 1. Sumber Literatur dan Kontribusi dalam Penelitian

Sumber Literatur	Tahun	Kontribusi dalam Penelitian
OECD. Trade Policies to Promote the Circular Economy	2023	Menjelaskan hubungan kebijakan ekonomi sirkular dengan stabilitas industri daur ulang plastik
Pambudi et al. Risk Management for the Circular Economy Business Model Sustainability	2025	Menjadi dasar analisis integrasi risiko operasional dan risiko pasar
Tyllianakis et al. A Behavioural Risk Perspective to Plastic Waste Management	2025	Menjelaskan pengaruh perilaku pasar terhadap risiko industri daur ulang
Mazzi. Environmental and Safety Risk Assessment for Sustainable Circular Production	2023	Memberikan perspektif risiko operasional berbasis proses produksi
Raffak et al. Continuous Integration of Risk Management in Business Process Reengineering	2024	Menjelaskan integrasi manajemen risiko dalam optimasi proses industri
World Bank. Exploring Feedstock Opportunities to Advance Domestic Circularity	2025	Menjelaskan tantangan pasar dan rantai pasok industri daur ulang plastik
Milios et al. Plastic Recycling in the Nordics: A Value Chain Market Analysis	2018	Memberikan analisis hubungan rantai nilai dan dinamika pasar daur ulang plastik

3. Risiko Operasional Berbasis Teknik Proses

Risiko operasional berbasis teknik proses dalam industri daur ulang plastik muncul dari kompleksitas tahapan produksi yang melibatkan pengumpulan, pemilahan, pencucian, hingga pengolahan ulang material [12]. Setiap tahap memiliki potensi kegagalan yang dapat memengaruhi efisiensi dan kualitas output. Variasi jenis plastik, tingkat kontaminasi, serta keterbatasan teknologi menjadi faktor utama yang meningkatkan ketidakpastian operasional. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa proses daur ulang mekanis sangat sensitif terhadap kualitas bahan baku, sehingga kesalahan pada tahap awal seperti pemilahan dapat berdampak signifikan terhadap keseluruhan system [13]. Selain itu, risiko operasional dalam industri daur ulang bersifat terdistribusi sepanjang rantai proses dan saling berkaitan antar tahap [7].

Dari perspektif teknik proses, pengelolaan risiko operasional memerlukan pendekatan rekayasa sistem yang terintegrasi, seperti optimasi proses, standarisasi kualitas bahan baku, serta penerapan teknologi yang sesuai [14], [15]. Metode seperti Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) dan pendekatan lean manufacturing sering digunakan untuk mengidentifikasi titik kritis dalam proses produksi dan mengurangi potensi kegagalan [16]. Selain itu, inovasi teknologi seperti sensor berbasis AI untuk pemilahan material mulai dikembangkan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi proses [17], [18]. Studi menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi operasional melalui teknologi dapat secara langsung menurunkan biaya produksi dan meningkatkan kualitas produk daur ulang [19]–[21]. Namun demikian, keterbatasan investasi dan infrastruktur masih menjadi tantangan utama dalam implementasi teknologi tersebut, khususnya di negara berkembang. Tabel berikut menyajikan identifikasi risiko operasional berbasis teknik proses dalam industri daur ulang plastik.

Tabel 2. Risiko Operasional Berbasis Teknik Proses

Tahap Proses	Jenis Risiko	Penyebab Utama	Dampak
Pengumpulan	Pasokan tidak stabil	Sistem logistik lemah	Kekurangan bahan baku
Pemilahan	Kesalahan sortasi	Kontaminasi, teknologi terbatas	Penurunan kualitas
Pengolahan	Kegagalan proses	Teknologi tidak optimal	Inefisiensi produksi
Pencucian	Kontaminasi tersisa	Proses tidak standar	Produk tidak layak

Sumber: [7], [14], [16], [21]

Tabel 2 di atas, menunjukkan bahwa risiko operasional dalam industri daur ulang plastik terjadi pada setiap tahapan proses teknik, mulai dari pengumpulan hingga pengolahan. Penyebab utama risiko didominasi oleh faktor teknis seperti kualitas bahan baku dan keterbatasan teknologi, yang berdampak

langsung pada efisiensi dan kualitas output. Hal ini menegaskan pentingnya pendekatan rekayasa sistem yang terintegrasi untuk meminimalkan potensi kegagalan proses.

4. Risiko Pasar dalam Industri Daur Ulang Plastik

Risiko pasar dalam industri daur ulang plastik berkaitan dengan ketidakpastian nilai ekonomi produk yang dipengaruhi oleh fluktuasi harga, perubahan permintaan, serta struktur pasar yang belum stabil [22]. Salah satu faktor utama adalah keterkaitan harga plastik virgin dengan harga minyak global, yang sering membuat produk daur ulang kurang kompetitif di pasar. Ketika harga minyak turun, biaya produksi plastik baru menjadi lebih murah, sehingga menekan permintaan terhadap produk daur ulang. Selain itu, preferensi konsumen yang masih meragukan kualitas produk daur ulang juga turut memperbesar ketidakpastian permintaan. Studi terbaru menunjukkan bahwa dinamika harga dan persepsi pasar menjadi determinan penting dalam keberlanjutan industri daur ulang plastic [4], [21].

Dari perspektif ekonomi industri, risiko pasar juga dipengaruhi oleh struktur biaya dan efisiensi distribusi. Biaya produksi yang relatif tinggi, terutama akibat penggunaan teknologi dan logistik yang belum optimal, menyebabkan margin keuntungan menjadi rendah [23]. Selain itu, ketergantungan pada rantai pasok yang tidak terintegrasi memperburuk ketidakseimbangan antara penawaran dan permintaan [24]. Pasar daur ulang plastik di negara berkembang menghadapi hambatan berupa keterbatasan investasi, akses pembiayaan, serta kurangnya insentif ekonomi yang mendukung [8]. Kondisi ini menunjukkan bahwa risiko pasar tidak hanya berasal dari faktor eksternal, tetapi juga dari struktur internal industri itu sendiri. Tabel berikut menyajikan klasifikasi risiko pasar dalam industri daur ulang plastik berdasarkan aspek ekonomi utama.

Tabel 3. Risiko Pasar dalam Industri Daur Ulang Plastik

Aspek Pasar	Jenis Risiko	Penyebab Utama	Dampak
Harga	Fluktuasi harga plastik	Harga minyak global	Ketidakstabilan pendapatan
Permintaan	Ketidakpastian permintaan	Preferensi konsumen	Penurunan penjualan
Biaya	Biaya produksi tinggi	Teknologi & logistik mahal	Margin rendah
Distribusi	Inefisiensi pasar	Rantai pasok tidak terintegrasi	Ketidakseimbangan pasokan

Sumber: [4], [8], [21]

Tabel 3 di atas, menunjukkan bahwa risiko pasar dalam industri daur ulang plastik berasal dari berbagai aspek ekonomi yang saling terkait, yaitu harga, permintaan, biaya, dan distribusi. Fluktuasi harga dan ketidakpastian permintaan menjadi faktor dominan yang memengaruhi pendapatan dan penjualan, sementara tingginya biaya produksi dan inefisiensi distribusi memperburuk margin keuntungan serta keseimbangan pasar.

5. Integrasi Risiko Operasional dan Risiko Pasar

Integrasi risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik menjadi penting karena kedua jenis risiko tersebut saling memengaruhi dalam menentukan kinerja dan keberlanjutan industri [6]. Risiko operasional yang muncul dari proses teknis, seperti inefisiensi produksi, kualitas bahan baku yang tidak konsisten, dan keterbatasan teknologi, dapat berdampak langsung pada aspek pasar, terutama dalam hal harga dan daya saing produk [25]. Sebagai contoh, produk daur ulang dengan kualitas rendah akibat kesalahan proses akan sulit bersaing di pasar, sehingga menurunkan permintaan. Sebaliknya, tekanan pasar seperti fluktuasi harga dan ketidakpastian permintaan dapat membatasi kemampuan perusahaan dalam berinvestasi pada teknologi dan perbaikan proses, sehingga memperbesar risiko operasional [4], [7].

Dari perspektif sistem, integrasi kedua risiko ini dapat dipahami melalui pendekatan rantai nilai dan manajemen risiko terpadu. Setiap tahapan proses pengumpulan, pemilahan, pengolahan, hingga distribusi tidak hanya memiliki risiko operasional, tetapi juga implikasi ekonomi yang memengaruhi pasar. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pendekatan integratif yang menghubungkan dimensi teknis dan ekonomi dapat meningkatkan ketahanan industri terhadap ketidakpastian eksternal [21]. Selain itu, faktor moderasi seperti kebijakan pemerintah, inovasi teknologi, dan koordinasi rantai pasok memainkan peran

penting dalam memperkuat hubungan antara efisiensi operasional dan kinerja pasar. Dengan demikian, integrasi risiko tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga strategis dalam pengambilan keputusan industri. Tabel berikut menggambarkan hubungan integratif antara risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik.

Tabel 4. Integrasi Risiko Operasional dan Risiko Pasar

Tahap Proses	Risiko Operasional	Risiko Pasar	Dampak Integratif
Pengumpulan	Pasokan tidak stabil	Harga bahan tidak pasti	Biaya produksi meningkat
Pemilahan	Kesalahan sortasi	Penurunan kualitas produk	Daya saing menurun
Pengolahan	Inefisiensi proses	Harga tidak kompetitif	Margin rendah
Distribusi	Gangguan logistik	Ketidakseimbangan permintaan	Fluktuasi pasar

Sumber: [4], [6], [21], [25]

Tabel 4 di atas, menunjukkan bahwa setiap risiko operasional memiliki implikasi langsung terhadap kondisi pasar. Interaksi antara keduanya menciptakan dampak integratif yang memengaruhi biaya, kualitas, dan profitabilitas industri secara keseluruhan. Risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik merupakan dua dimensi yang tidak dapat dipisahkan dan harus dikelola secara simultan. Integrasi kedua risiko ini memungkinkan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap dinamika industri, sekaligus menjadi dasar dalam merancang strategi mitigasi yang lebih efektif. Oleh karena itu, pendekatan manajemen risiko yang terintegrasi, didukung oleh inovasi teknologi dan kebijakan yang tepat, menjadi kunci dalam meningkatkan efisiensi, daya saing, dan keberlanjutan industri daur ulang plastik.

6. Analisis Naratif dan Sintesis Literatur

Analisis naratif terhadap literatur terbaru menunjukkan bahwa kajian mengenai industri daur ulang plastik masih cenderung terfragmentasi antara perspektif teknik proses dan ekonomi pasar [22]. Sebagian besar penelitian berfokus pada peningkatan efisiensi teknologi daur ulang, seperti optimalisasi proses pemilahan dan pengolahan, tanpa mengaitkannya secara langsung dengan dinamika pasar [26]. Di sisi lain, studi ekonomi lebih banyak menyoroti aspek harga, permintaan, dan kebijakan, namun belum mempertimbangkan keterbatasan teknis dalam proses produksi. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan dalam literatur, di mana hubungan antara risiko operasional dan risiko pasar belum dianalisis secara komprehensif [4].

Lebih lanjut, sintesis literatur menunjukkan bahwa pendekatan ekonomi sirkular telah menjadi kerangka dominan dalam pengelolaan limbah plastik, tetapi implementasinya masih menghadapi berbagai hambatan. Faktor seperti keterbatasan teknologi, rendahnya investasi, serta perilaku konsumen menjadi tantangan utama dalam pengembangan industri daur ulang. Penelitian [7], menegaskan bahwa risiko dalam industri ini bersifat sistemik dan terjadi di seluruh rantai proses, sedangkan [21] menunjukkan bahwa persepsi risiko oleh pelaku industri dan konsumen turut memengaruhi keberhasilan implementasi ekonomi sirkular. Hal ini menandakan bahwa pendekatan lintas disiplin sangat diperlukan untuk memahami kompleksitas risiko dalam industri daur ulang plastik. Tabel berikut menyajikan ringkasan sintesis literatur terkait risiko dalam industri daur ulang plastik berdasarkan berbagai pendekatan penelitian.

Tabel 5. Sintesis Literatur Risiko Industri Daur Ulang Plastik

Peneliti	Fokus Penelitian	Pendekatan	Temuan Utama
Milios et al., 2018	Manajemen limbah plastik	Teknis	Fokus pada efisiensi proses
OECD (2023)	Kebijakan ekonomi sirkular	Ekonomi	Peran regulasi dominan
Pambudi et al. (2025)	Manajemen risiko	Integratif	Risiko di seluruh rantai proses
Tyllianakis et al. (2025)	Perilaku pasar	Perilaku	Persepsi risiko memengaruhi keputusan

Sumber: [4], [7], [21], [22]

Tabel 5 di atas, menunjukkan bahwa penelitian terkait risiko industri daur ulang plastik masih terbagi berdasarkan pendekatan masing-masing. Sebagian besar studi belum mengintegrasikan aspek teknis dan ekonomi secara bersamaan, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif untuk memahami dinamika risiko secara utuh.

Literatur yang banyak digunakan saat ini, masih belum banyak mengintegrasikan dimensi teknis dan ekonomi dalam satu kerangka yang utuh. Kesenjangan ini membuka peluang penelitian untuk mengembangkan model integratif yang menghubungkan risiko operasional berbasis teknik proses dengan risiko pasar secara simultan. Dengan demikian, pendekatan naratif dalam studi ini memberikan kontribusi awal dalam menjembatani kesenjangan tersebut, sekaligus menjadi dasar bagi pengembangan penelitian lanjutan yang lebih komprehensif dan aplikatif.

7. Implikasi Strategis

Implikasi strategis dari integrasi risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik menekankan pentingnya pendekatan terpadu dalam pengelolaan sistem produksi dan pemasaran [27]. Dari sisi operasional, pelaku industri perlu meningkatkan efisiensi proses melalui penerapan teknologi yang lebih adaptif, standarisasi kualitas bahan baku, serta penguatan sistem logistik [28]. Upaya ini bertujuan untuk mengurangi ketidakpastian dalam proses produksi yang selama ini menjadi sumber utama risiko. Selain itu, penerapan prinsip lean manufacturing dan pengendalian kualitas berbasis teknik proses dapat membantu meminimalkan kegagalan operasional serta meningkatkan konsistensi output [7].

Di sisi pasar, strategi yang perlu dikembangkan adalah peningkatan daya saing produk daur ulang melalui inovasi, diferensiasi produk, serta edukasi konsumen. Persepsi pasar terhadap kualitas produk daur ulang menjadi faktor penting yang memengaruhi permintaan, sehingga perlu didukung dengan sertifikasi kualitas dan kampanye kesadaran lingkungan. Selain itu, dukungan kebijakan pemerintah seperti insentif pajak, subsidi teknologi, serta regulasi penggunaan material daur ulang dapat membantu menciptakan pasar yang lebih stabil dan kompetitif [4]. Integrasi antara strategi operasional dan pasar ini akan memperkuat posisi industri dalam menghadapi ketidakpastian eksternal. Tabel berikut merangkum implikasi strategis utama dalam industri daur ulang plastik.

Tabel 6. Implikasi Strategis Industri Daur Ulang Plastik

Aspek	Strategi Utama	Tujuan
Operasional	Efisiensi proses & teknologi	Mengurangi risiko produksi
Pasar	Inovasi & edukasi konsumen	Meningkatkan permintaan
Kebijakan	Insentif & regulasi	Stabilitas industri
Integrasi	Manajemen risiko terpadu	Keberlanjutan usaha

Sumber: [4], [7], [8]

Tabel 6 di atas, menunjukkan bahwa implikasi strategis dalam industri daur ulang plastik mencakup empat aspek utama, yaitu operasional, pasar, kebijakan, dan integrasi. Setiap aspek memiliki peran penting dalam mendukung pengelolaan risiko secara terpadu dan meningkatkan keberlanjutan industri.

Implikasi strategis dari kajian ini menunjukkan bahwa keberhasilan industri daur ulang plastik sangat bergantung pada kemampuan mengelola risiko secara terintegrasi. Pendekatan lintas disiplin yang menggabungkan teknik proses dan analisis ekonomi menjadi kunci dalam meningkatkan efisiensi, daya saing, dan keberlanjutan industri. Oleh karena itu, pelaku industri, pemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya perlu berkolaborasi dalam menciptakan sistem yang adaptif dan resilien terhadap berbagai bentuk risiko yang muncul.

7. Kesimpulan

Analisis literatur dalam artikel ini menunjukkan bahwa industri daur ulang plastik menghadapi tantangan yang kompleks akibat interaksi antara risiko operasional berbasis teknik proses dan risiko pasar. Risiko operasional muncul pada setiap tahapan produksi, seperti pengumpulan, pemilahan, pencucian, dan pengolahan material, yang dipengaruhi oleh kualitas bahan baku, keterbatasan teknologi, serta efisiensi sistem produksi. Sementara itu, risiko pasar berkaitan dengan fluktuasi harga, ketidakpastian

permintaan, tingginya biaya produksi, dan rendahnya daya saing produk daur ulang dibandingkan plastik virgin. Kedua jenis risiko tersebut saling berhubungan dan memengaruhi keberlanjutan industri secara keseluruhan.

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian terdahulu masih membahas aspek teknik proses dan aspek ekonomi pasar secara terpisah. Padahal, hubungan antara efisiensi operasional dan dinamika pasar memiliki pengaruh yang signifikan terhadap stabilitas industri daur ulang plastik. Oleh karena itu, artikel ini memberikan kontribusi konseptual melalui pendekatan integratif yang menghubungkan perspektif rekayasa teknik dan ekonomi dalam memahami pengelolaan risiko industri daur ulang plastik secara lebih komprehensif.

Selain memberikan kontribusi teoritis, artikel ini juga menegaskan pentingnya strategi mitigasi risiko yang terpadu melalui peningkatan efisiensi teknologi, penguatan sistem logistik, inovasi produk, serta dukungan kebijakan dan insentif ekonomi. Dengan demikian, integrasi risiko operasional dan risiko pasar dapat menjadi dasar dalam membangun sistem industri daur ulang plastik yang lebih resilien, adaptif, dan berkelanjutan. Ke depan, penelitian lanjutan perlu diarahkan pada pengembangan model empiris dan kuantitatif untuk menguji hubungan integratif antar risiko secara lebih aplikatif, khususnya pada konteks industri daur ulang plastik di negara berkembang.

8. Referensi

- [1] Z. Fadeeva and R. Van Berkel, "Unlocking circular economy for prevention of marine plastic pollution: An exploration of G20 policy and initiatives," *J. Environ. Manage.*, vol. 277, p. 111457, 2021.
- [2] 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.
- [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] Johansen, Mathilde Rosenberg, et al. "A review of the plastic value chain from a circular economy perspective." *Journal of Environmental Management* 302 (2022): 113975.
- [5] M. Fuss, R. T. V Barros, and W.-R. Poganietz, "The role of a socio-integrated recycling system in implementing a circular economy—The case of Belo Horizonte, Brazil," *Waste Manag.*, vol. 121, pp. 215–225, 2021.
- [6] A. Mazzi, "Environmental and safety risk assessment for sustainable circular production: Case study in plastic processing for fashion products," *Heliyon*, vol. 9, no. 11, 2023.
- [7] N. F. Pambudi, S. M. S. M. K. Samarakoon, T. M. Simatupang, R. M. C. Ratnayake, and N. B. Mulyono, "Risk management for the circular economy business model sustainability of reduce, reuse, and recycling in plastic waste management," *Discov. Sustain.*, vol. 6, no. 1, p. 1330, 2025.
- [8] World Bank, "Exploring Feedstock Opportunities to Advance Domestic Circularity in Malaysia ' s Plastic Recycling," 2025.
- [9] 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.
- [10] L. He and H. Yuan, "Investigation of construction waste recycling decisions by considering consumers' quality perceptions," *J. Clean. Prod.*, vol. 259, p. 120928, 2020.
- [11] J. Ma, H. Ren, M. Yu, and M. Zhu, "Research on the complexity and chaos control about a closed-loop supply chain with dual-channel recycling and uncertain consumer perception," *Complexity*, vol. 2018, no. 1, p. 9853635, 2018.
- [12] J.-P. Lange, "Managing plastic waste— sorting, recycling, disposal, and product redesign," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 47, pp. 15722–15738, 2021.
- [13] K. Bernat, "Post-consumer plastic waste management: from collection and sortation to mechanical recycling," *Energies*, vol. 16, no. 8, p. 3504, 2023.
- [14] H. Raffak, A. Lakhouili, and M. Mansouri, "Continuous integration of risk management in a business process reengineering: towards optimization through machine learning," *Emerg. Sci. J.*, vol. 8, no. 3, pp. 1118–1135, 2024.

- [15] S. Ikhbar, N. Nelly, M. Maksalmina, C. Amni, A. Arsyad, and A. A. Fansuri, "Strategi Pengelolaan Operasional untuk Meningkatkan Keuntungan dan Mengurangi Pengeluaran dalam Industri Daur Ulang Plastik," *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 1, 2025.
- [16] D. A. Maisano, F. Franceschini, and D. Antonelli, "dP-FMEA: An innovative failure mode and effects analysis for distributed manufacturing processes," *Qual. Eng.*, vol. 32, no. 3, pp. 267–285, 2020.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] B. Liu and P. De Giovanni, "Green process innovation through Industry 4.0 technologies and supply chain coordination," *Ann. Oper. Res.*, vol. 349, no. 2, pp. 767–802, 2025.
- [20] B. Priskilla, G. S. Mahapatra, M. V. A. R. Bahubalendruni, D. Balasubramanian, U. Kale, and A. Kilikevicius, "Enhancing product quality incorporating additive manufacturing on recycled inventory system with deterioration and delayed payment," *Sci. Rep.*, 2026.
- [21] E. Tyllianakis, O. Kolade, A. Ambituuni, O. Ogunde, M. Oyinlola, and S. Abolfathi, "A behavioural risk perspective to plastic waste management: insights from Nigerian SMEs," *J. Clean. Prod.*, vol. 534, p. 147086, 2025.
- [22] L. Milios, L. H. Christensen, D. McKinnon, C. Christensen, M. K. Rasch, and M. H. Eriksen, "Plastic recycling in the Nordics: A value chain market analysis," *Waste Manag.*, vol. 76, pp. 180–189, 2018.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] H. S. Birkel, J. W. Veile, J. M. Müller, E. Hartmann, and K.-I. Voigt, "Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers," *Sustainability*, vol. 11, no. 2, p. 384, 2019.
- [26] A. Lakhout, "Revolutionizing urban solid waste management with AI and IoT: A review of smart solutions for waste collection, sorting, and recycling," *Results Eng.*, vol. 25, p. 104018, 2025.
- [27] F. Ramadhani Samantha, "Scenario Planning On Sustainable Competitive Advantage With Market-Based Assets And Marketing Capabilities As Source, In Pt Plastic Bank Indonesia." Institut IPMI, 2025.
- [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.