

Model Integratif Risiko Operasional dan Risiko Pasar pada Industri Limbah Plastik: Tinjauan Sistematis Perspektif Rekayasa dan Ekonomi

Syaifuddin Yana¹, Nelly^{2*}, Ijal Fahmi³, Rahmi⁴, Radhiana⁵, Veli Ramadhani⁶

^{1,2,3,5}Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

^{4,6}Program Studi Akuntansi, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

*Koresponden email: nelly@serambimekkah.ac.id

Diterima: 8 April 2026

Disetujui: 30 April 2026

Abstract

The plastic recycling industry plays an important role in supporting the circular economy but faces various risks affecting industrial sustainability. This article aims to examine an integrative model of operational and market risks in the plastic recycling industry through a literature review and narrative analysis approach from engineering and economic perspectives. Operational risks are related to unstable raw material supply, technological limitations, and production inefficiencies, while market risks involve price fluctuations, uncertain demand, and the low competitiveness of recycled products. The findings indicate that these risks are interconnected and significantly influence overall industrial performance. Furthermore, previous studies have largely examined technical and economic aspects separately, limiting a comprehensive understanding of the integrative relationship between risks. Therefore, this article proposes an integrative approach combining engineering and economic perspectives as a basis for more adaptive and sustainable risk management in the plastic recycling industry.

Keywords: *operational risk, market risk, plastic recycling, circular economy*

Abstrak

Industri daur ulang plastik memiliki peran penting dalam mendukung ekonomi sirkular, namun menghadapi berbagai risiko yang memengaruhi keberlanjutan industri. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji model integratif risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik melalui pendekatan review literatur dan analisis naratif dari perspektif rekayasa dan ekonomi. Risiko operasional berkaitan dengan ketidakstabilan pasokan bahan baku, keterbatasan teknologi, serta inefisiensi proses produksi, sedangkan risiko pasar berkaitan dengan fluktuasi harga, ketidakpastian permintaan, dan rendahnya daya saing produk daur ulang. Hasil kajian menunjukkan bahwa kedua jenis risiko tersebut saling berhubungan dan memengaruhi kinerja industri secara keseluruhan. Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu masih membahas aspek teknis dan ekonomi secara terpisah, sehingga belum mampu menjelaskan hubungan integratif antar risiko secara komprehensif. Oleh karena itu, artikel ini menawarkan pendekatan integratif yang menghubungkan perspektif rekayasa dan ekonomi sebagai dasar dalam pengelolaan risiko industri daur ulang plastik yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *risiko operasional, risiko pasar, daur ulang plastik, ekonomi sirkular*

1. Pendahuluan

Industri daur ulang plastik semakin mendapatkan perhatian global sebagai respons terhadap meningkatnya volume limbah plastik yang berdampak signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia [1]. Produksi plastik dunia yang terus meningkat tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan limbah yang efektif, sehingga mendorong munculnya pendekatan ekonomi sirkular yang menempatkan daur ulang sebagai salah satu strategi utama dalam mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi sumber daya [2], [3]. Sebagian besar plastik yang diproduksi secara global berakhir sebagai limbah, sehingga diperlukan inovasi sistemik untuk meningkatkan tingkat daur ulang [4], [5]. Dalam konteks ini, industri daur ulang plastik tidak hanya berfungsi sebagai solusi lingkungan, tetapi juga sebagai sektor ekonomi yang berpotensi menghasilkan nilai tambah melalui pemanfaatan kembali material yang sebelumnya dianggap tidak bernilai [6].

Namun demikian, operasional industri daur ulang plastik menghadapi berbagai tantangan yang kompleks, terutama dari sisi teknis dan rekayasa [7]. Proses daur ulang melibatkan tahapan yang panjang, mulai dari pengumpulan, pemilahan, pembersihan, hingga pengolahan ulang menjadi produk baru, yang

masing-masing memiliki potensi risiko tersendiri. Keberhasilan daur ulang plastik sangat bergantung pada kualitas pemilahan dan teknologi yang digunakan dalam proses pengolahan [8]. Variasi jenis plastik, kontaminasi bahan, serta keterbatasan teknologi pemrosesan sering kali menyebabkan inefisiensi operasional dan menurunkan kualitas output [9], [10]. Selain itu, risiko operasional juga dapat muncul akibat kegagalan mesin, kesalahan manusia, serta ketidakstabilan rantai pasok bahan baku, yang secara keseluruhan dapat mengganggu kontinuitas produksi dan meningkatkan biaya operasional [11].

Di sisi lain, industri daur ulang plastik juga menghadapi risiko pasar yang tidak kalah signifikan [12]. Fluktuasi harga bahan baku plastik virgin sering kali memengaruhi daya saing produk daur ulang, terutama ketika harga plastik baru lebih murah dibandingkan hasil daur ulang [13], [14]. Harga resin plastik sangat dipengaruhi oleh harga minyak dunia, sehingga menciptakan ketidakpastian bagi pelaku industri daur ulang [15], [16]. Selain itu, permintaan pasar terhadap produk daur ulang juga dipengaruhi oleh persepsi kualitas, regulasi pemerintah, serta tren konsumsi yang terus berubah. Transisi menuju ekonomi sirkular menghadapi berbagai hambatan, termasuk hambatan pasar, teknologi, dan kelembagaan, yang saling berinteraksi dan memperumit pengambilan keputusan bisnis [17].

Keterkaitan antara risiko operasional dan risiko pasar menjadi isu penting dalam pengelolaan industri daur ulang plastik [18]. Ketidakefisienan dalam proses operasional dapat menyebabkan peningkatan biaya produksi dan penurunan kualitas produk, yang pada akhirnya berdampak pada daya saing di pasar [19]. Sebaliknya, ketidakpastian pasar dapat memengaruhi keputusan investasi dan strategi operasional perusahaan [20]. Oleh karena itu, pendekatan manajemen risiko yang terpisah antara aspek teknis dan ekonomi tidak lagi memadai untuk menjelaskan dinamika industri yang kompleks ini. Pentingnya pendekatan terintegrasi dalam manajemen risiko rantai pasok untuk mengantisipasi berbagai sumber ketidakpastian yang saling berkaitan [21], [22]. Dalam konteks daur ulang plastik, integrasi ini menjadi semakin relevan mengingat karakteristik industri yang bergantung pada sistem reverse logistics dan dinamika pasar global.

Artikel berkontribusi pada pengembangan tinjauan sistematis berbasis analisis naratif mengenai model integratif risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik dengan menggabungkan perspektif rekayasa dan ekonomi. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai interaksi antar risiko serta implikasinya terhadap keberlanjutan industri. Selain itu, kajian ini juga berupaya mengidentifikasi celah penelitian yang masih ada serta menawarkan arah pengembangan model yang lebih adaptif dan holistik di masa depan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis dalam pengembangan manajemen risiko pada industri berbasis ekonomi sirkular.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode review literatur dan analisis naratif untuk mengkaji model integratif risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik dari perspektif rekayasa dan ekonomi. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti melakukan sintesis terhadap berbagai penelitian terdahulu yang membahas aspek teknis, ekonomi, dan manajemen risiko dalam sistem daur ulang plastik secara komprehensif. Melalui analisis naratif, penelitian tidak hanya mendeskripsikan hasil penelitian sebelumnya, tetapi juga mengidentifikasi hubungan konseptual antar risiko serta implikasinya terhadap keberlanjutan industri.

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 publikasi yang membahas risiko operasional, risiko pasar, ekonomi sirkular, manajemen rantai pasok, serta industri daur ulang plastik. Selanjutnya, literatur yang relevan diklasifikasikan ke dalam beberapa tema utama, yaitu: (a) konsep risiko dalam industri daur ulang plastik, (b) risiko operasional dalam perspektif rekayasa, (c) risiko pasar dalam perspektif ekonomi, (d) model integratif risiko operasional dan risiko pasar, serta (e) implikasi strategis dan arah penelitian masa depan.

Analisis data dilakukan secara naratif dan tematik dengan membandingkan berbagai hasil penelitian terdahulu untuk mengidentifikasi pola hubungan, kesamaan temuan, serta kesenjangan penelitian (research gap). 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 dalam industri daur ulang plastik. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai interaksi antar risiko dan mendukung pengembangan strategi mitigasi risiko yang lebih adaptif dan berkelanjutan. Tabel ini menyajikan sumber

literatur utama yang digunakan dalam analisis integratif risiko operasional dan risiko pasar pada industri daur ulang plastik.

Tabel 1. Sumber Literatur dan Kontribusi dalam Penelitian

| Sumber Literatur | Fokus Kajian | Kontribusi |
|---------------------------|---|---|
| OECD (2023) | Ekonomi sirkular dan pasar plastik | Menjelaskan hubungan kebijakan dan pasar daur ulang plastik |
| Pambudi et al. (2025) | Manajemen risiko daur ulang plastik | Menjadi dasar analisis integrasi risiko |
| Tyllianakis et al. (2025) | Risiko perilaku dan pasar | Menjelaskan pengaruh perilaku pasar |
| Milios et al. (2018) | Analisis rantai nilai plastik | Menjelaskan dinamika pasar daur ulang |
| Cioca et al. (2018) | Risiko operasional fasilitas daur ulang | Menjelaskan risiko teknis dan operasional |
| World Bank (2025) | Ekonomi dan rantai pasok plastik | Menjelaskan tantangan pasar dan investasi |

3. Konsep Risiko dalam Industri Daur Ulang Plastik

Konsep risiko dalam industri daur ulang plastik merupakan fenomena multidimensi yang mencerminkan ketidakpastian dalam sistem ekonomi sirkular yang kompleks [23]. Risiko tidak hanya berasal dari aspek teknis, tetapi juga dari dinamika pasar, kebijakan, serta interaksi antar pemangku kepentingan dalam rantai nilai [24]. Studi terbaru menunjukkan bahwa sistem pengelolaan limbah plastik melibatkan berbagai tahapan yang saling bergantung, sehingga gangguan pada satu bagian dapat memengaruhi keseluruhan [25][26]. Oleh karena itu, risiko dalam industri ini bersifat sistemik dan membutuhkan pendekatan holistik untuk memahami keterkaitan antar faktor yang memengaruhinya.

Secara umum, risiko dalam industri daur ulang plastik dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama, yaitu risiko operasional, risiko pasar, dan risiko kebijakan [27]. Risiko operasional berkaitan dengan ketidakpastian dalam proses teknis seperti pengumpulan, pemilahan, dan pengolahan limbah plastik, yang sering dipengaruhi oleh kualitas bahan baku dan keterbatasan teknologi [28]. Sementara itu, risiko pasar mencakup fluktuasi harga, ketidakpastian permintaan, serta daya saing produk daur ulang terhadap plastik baru. Risiko dalam rantai pasok daur ulang muncul pada berbagai tahap dan saling terhubung, sehingga memerlukan manajemen yang terintegrasi [18]. Di sisi lain, risiko kebijakan seperti perubahan regulasi dan insentif juga dapat memengaruhi keberlanjutan industri secara signifikan.

Konsep risiko dalam industri daur ulang plastik mencakup berbagai dimensi yang saling terkait, mulai dari aspek operasional hingga sosial. Tabel berikut menyajikan klasifikasi utama risiko beserta sumber dan dampaknya.

Tabel 2. Klasifikasi Risiko dalam Industri Daur Ulang Plastik

| Jenis Risiko | Deskripsi | Sumber Risiko | Dampak Utama |
|--------------------|---|--|---------------------------|
| Risiko Operasional | Gangguan proses produksi dan teknis | Kualitas limbah, teknologi, SDM | Inefisiensi, biaya tinggi |
| Risiko Pasar | Ketidakpastian harga dan permintaan | Fluktuasi harga plastik, preferensi konsumen | Penurunan profitabilitas |
| Risiko Kebijakan | Perubahan regulasi dan insentif | Kebijakan pemerintah, pajak, subsidi | Ketidakpastian investasi |
| Risiko Lingkungan | Dampak ekologis dari proses daur ulang | Emisi, limbah sekunder | Kerusakan lingkungan |
| Risiko Sosial | Persepsi masyarakat dan perilaku pelaku | Kesadaran lingkungan, budaya | Rendahnya partisipasi |

Sumber: [18], [25], [26], [29]

Tabel 2 di atas, menyajikan klasifikasi utama risiko dalam industri daur ulang plastik yang mencakup lima kategori, yaitu risiko operasional, pasar, kebijakan, lingkungan, dan sosial. Risiko operasional berkaitan dengan gangguan proses teknis akibat kualitas limbah, teknologi, dan sumber daya manusia, yang berdampak pada inefisiensi dan peningkatan biaya. Risiko pasar muncul dari ketidakpastian harga dan permintaan, sehingga memengaruhi profitabilitas usaha. Risiko kebijakan berkaitan dengan perubahan regulasi dan insentif pemerintah yang dapat menciptakan ketidakpastian investasi. Sementara itu, risiko lingkungan mencerminkan potensi dampak ekologis dari proses daur ulang, seperti emisi dan

limbah sekunder, sedangkan risiko sosial berkaitan dengan persepsi dan tingkat partisipasi masyarakat. Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan bahwa risiko dalam industri daur ulang plastik bersifat multidimensi dan saling terkait, sehingga memerlukan pendekatan pengelolaan yang terintegrasi.

Lebih lanjut, literatur terkini menekankan bahwa interaksi antar risiko menjadi faktor kunci dalam menentukan kinerja industri daur ulang plastik. Risiko operasional yang tinggi dapat meningkatkan biaya produksi dan menurunkan kualitas produk, yang pada akhirnya memperbesar risiko pasar. Sebaliknya, tekanan pasar dapat membatasi investasi teknologi dan memperburuk efisiensi operasional. Persepsi risiko oleh pelaku industri juga memengaruhi tingkat adopsi praktik ekonomi sirkular. Dengan demikian, pemahaman terhadap konsep risiko secara terintegrasi menjadi penting untuk merancang strategi mitigasi yang adaptif dan mendukung keberlanjutan industri daur ulang plastik.

4. Risiko Operasional dalam Perspektif Rekayasa

Risiko operasional dalam industri daur ulang plastik dari perspektif rekayasa berkaitan erat dengan kompleksitas proses teknis yang melibatkan berbagai tahapan, mulai dari pengumpulan, pemilahan, hingga pengolahan ulang material [27]. Setiap tahapan memiliki potensi kegagalan teknis yang dapat mengganggu efisiensi sistem secara keseluruhan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa dalam rantai daur ulang plastik, risiko operasional sering muncul akibat kualitas bahan baku yang tidak seragam, keterbatasan teknologi pemrosesan, serta kurangnya standar operasional yang konsisten [30]. Selain itu, keberagaman jenis plastik dan tingkat kontaminasi material juga meningkatkan kompleksitas proses rekayasa, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya kegagalan sistem.

Kombinasi metode ini mampu mengidentifikasi risiko kritis pada tahap pengumpulan, pemilahan, dan proses daur ulang, serta menilai tingkat keparahan dan probabilitasnya [31]. Selain itu, tidak ada satu teknologi daur ulang yang cocok untuk semua jenis plastik, sehingga diperlukan integrasi berbagai teknologi seperti mechanical recycling dan chemical recycling untuk meningkatkan efisiensi sistem [7]. Hal ini menunjukkan bahwa desain sistem rekayasa yang adaptif dan fleksibel menjadi kunci dalam meminimalkan risiko operasional. Berikut tabel yang menggambarkan sumber utama risiko operasional dalam proses daur ulang plastik berdasarkan tahapan rekayasa.

Tabel 3. Risiko Operasional dalam Perspektif Rekayasa

| Tahap Proses | Jenis Risiko Operasional | Penyebab Utama | Dampak |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Pengumpulan | Ketidakteraturan pasokan limbah | Sistem logistik lemah | Kekurangan bahan baku |
| Pemilahan | Kesalahan sortasi material | Kontaminasi, teknologi terbatas | Penurunan kualitas output |
| Pengolahan | Kegagalan mesin / proses | Teknologi tidak optimal | Inefisiensi produksi |
| Distribusi | Keterlambatan distribusi | Koordinasi rantai pasok | Gangguan pasar |

Sumber: [18], [27], [31]

Tabel 3 di atas, menggambarkan sumber utama risiko operasional dalam industri daur ulang plastik berdasarkan tahapan proses rekayasa, yaitu pengumpulan, pemilahan, pengolahan, dan distribusi. Setiap tahap memiliki karakteristik risiko yang berbeda, mulai dari ketidakteraturan pasokan bahan baku hingga kegagalan proses teknologi dan hambatan distribusi. Penyebab utama risiko didominasi oleh kelemahan sistem logistik, keterbatasan teknologi, serta kurangnya koordinasi dalam rantai pasok. Dampak yang ditimbulkan bersifat langsung terhadap kinerja operasional, seperti penurunan kualitas output, inefisiensi produksi, hingga gangguan pasar. Secara keseluruhan, tabel ini menegaskan bahwa risiko operasional dalam industri daur ulang plastik bersifat berlapis dan saling berkaitan antar proses, sehingga memerlukan pendekatan rekayasa sistem yang terintegrasi untuk meminimalkan potensi kegagalan.

Risiko operasional juga berkaitan dengan aspek manajemen rantai pasok dan koordinasi antar pelaku industri. Penelitian terbaru menegaskan bahwa penerapan green supply chain management dapat meningkatkan efisiensi operasional dan kinerja industri daur ulang plastik, terutama melalui koordinasi yang lebih baik antar aktor dan penggunaan teknologi yang lebih ramah lingkungan. Namun demikian, keterbatasan infrastruktur, kurangnya investasi teknologi, serta rendahnya kapasitas sumber daya manusia masih menjadi tantangan utama dalam pengelolaan risiko operasional. Oleh karena itu, pendekatan rekayasa yang terintegrasi dengan manajemen risiko menjadi penting untuk memastikan keberlanjutan dan efisiensi industri daur ulang plastik.

5. Risiko Pasar dalam Perspektif Ekonomi

Risiko pasar dalam industri daur ulang plastik berkaitan dengan ketidakpastian nilai ekonomi produk daur ulang yang dipengaruhi oleh dinamika harga, permintaan, serta struktur pasar [14]. Dalam perspektif ekonomi, keberlanjutan industri ini sangat ditentukan oleh kemampuan pelaku usaha dalam bersaing dengan plastik virgin yang harganya cenderung lebih stabil dan sering kali lebih murah. Studi terbaru menunjukkan bahwa fluktuasi harga minyak global memiliki korelasi langsung dengan harga plastik baru, sehingga berdampak pada daya saing produk daur ulang di pasar [26]. Selain itu, ketidakpastian permintaan terhadap produk berbasis daur ulang juga dipengaruhi oleh persepsi kualitas dan preferensi konsumen yang belum sepenuhnya mendukung produk ramah lingkungan [29].

Dari sudut pandang ekonomi industri, risiko pasar juga dipengaruhi oleh struktur rantai nilai dan mekanisme distribusi yang belum efisien. Ketergantungan pada sektor informal dalam pengumpulan limbah serta keterbatasan integrasi pasar menyebabkan ketidakstabilan pasokan dan harga. Pasar daur ulang plastik di negara berkembang menghadapi tantangan berupa rendahnya investasi, keterbatasan akses pembiayaan, serta kurangnya insentif ekonomi yang memadai [32]. Selain itu, biaya logistik dan proses yang relatif tinggi dibandingkan nilai jual produk menjadi faktor utama yang menekan margin keuntungan. Kondisi ini menunjukkan bahwa risiko pasar tidak hanya berasal dari sisi permintaan, tetapi juga dari struktur biaya dan efisiensi sistem distribusi. Berikut tabel terkait klasifikasi risiko pasar dalam industri daur ulang plastik dari perspektif ekonomi.

Tabel 4. Risiko Pasar dalam Perspektif Ekonomi

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

Sumber: [14], [26], [29], [32]

Tabel 4 menunjukkan bahwa risiko pasar dalam industri daur ulang plastik berasal dari berbagai aspek ekonomi yang saling berkaitan, yaitu harga, permintaan, struktur biaya, dan distribusi. Fluktuasi harga plastik yang dipengaruhi oleh harga minyak global menjadi faktor utama yang memengaruhi stabilitas pendapatan. Selain itu, ketidakpastian permintaan akibat preferensi konsumen terhadap produk non-daur ulang memperbesar tekanan pasar. Di sisi lain, tingginya biaya produksi dan logistik menyebabkan margin keuntungan menjadi rendah, sementara inefisiensi distribusi memperburuk keseimbangan pasar. Secara keseluruhan, tabel ini menegaskan bahwa risiko pasar bersifat kompleks dan membutuhkan strategi ekonomi yang adaptif serta dukungan kebijakan untuk menjaga keberlanjutan industri.

Interaksi antara risiko pasar dan faktor kebijakan menjadi elemen penting dalam analisis ekonomi industri daur ulang plastik. Kebijakan seperti pajak plastik, subsidi, serta regulasi penggunaan material daur ulang dapat memengaruhi keseimbangan pasar secara signifikan. Keberhasilan implementasi ekonomi sirkular sangat bergantung pada dukungan kebijakan yang mampu menciptakan pasar yang kondusif bagi produk daur ulang. Tanpa intervensi kebijakan yang tepat, pelaku industri akan menghadapi tekanan pasar yang tinggi dan cenderung enggan melakukan investasi jangka panjang. Oleh karena itu, pendekatan ekonomi dalam mengelola risiko pasar perlu mempertimbangkan interaksi antara harga, permintaan, biaya, serta regulasi dalam satu kerangka analisis yang terintegrasi.

6. Model Integratif Risiko Operasional dan Risiko Pasar

Model integratif risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik diperlukan untuk memahami keterkaitan antar sumber ketidakpastian yang memengaruhi kinerja industri secara menyeluruh. Dalam praktiknya, risiko operasional seperti inefisiensi proses, kualitas output yang rendah, dan gangguan teknologi memiliki implikasi langsung terhadap risiko pasar, terutama dalam hal daya saing harga dan penerimaan produk [33]. Sebaliknya, tekanan pasar seperti fluktuasi harga dan ketidakpastian permintaan dapat membatasi investasi pada teknologi dan perbaikan proses, sehingga memperburuk risiko

operasional [21]. Penelitian terbaru menegaskan bahwa dalam sistem ekonomi sirkular, interaksi antar risiko bersifat dinamis dan membentuk suatu siklus yang saling memengaruhi [18], [26].

Dari perspektif rekayasa dan ekonomi, model integratif dapat dibangun dengan menghubungkan tahapan proses operasional dengan variabel pasar dalam satu kerangka system [34]. Pendekatan ini menempatkan proses pengumpulan, pemilahan, pengolahan, dan distribusi sebagai komponen utama risiko operasional, yang kemudian dihubungkan dengan variabel pasar seperti harga, permintaan, dan biaya. Integrasi faktor teknis dan ekonomi dalam manajemen risiko dapat meningkatkan ketahanan sistem terhadap gangguan eksternal [29]. Selain itu, pendekatan sistem dinamis (*system dynamics*) dan *supply chain risk management* sering digunakan untuk memodelkan hubungan sebab-akibat antara risiko operasional dan risiko pasar, sehingga memungkinkan simulasi dampak kebijakan atau perubahan pasar terhadap kinerja industri. Berikut tabel yang menyajikan hubungan integratif antara risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik.

Tabel 5. Model Integratif Risiko Operasional dan Risiko Pasar

| Komponen | Risiko Operasional | Risiko Pasar | Hubungan Integratif |
|-------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Pengumpulan | Pasokan tidak stabil | Ketidakpastian harga bahan | Mempengaruhi biaya produksi |
| Pemilahan | Kesalahan sortasi | Penurunan kualitas produk | Menurunkan daya saing |
| Pengolahan | Inefisiensi teknologi | Harga produk tidak kompetitif | Margin keuntungan rendah |
| Distribusi | Gangguan logistik | Ketidakseimbangan permintaan | Fluktuasi pasar |

Sumber: [18], [26], [29], [33]

Tabel 5 di atas, menunjukkan hubungan integratif antara risiko operasional dan risiko pasar pada setiap tahapan proses daur ulang plastik. Risiko operasional yang terjadi pada tahap pengumpulan hingga distribusi memiliki implikasi langsung terhadap variabel pasar, seperti harga, kualitas produk, dan permintaan. Sebaliknya, tekanan pasar juga dapat memperburuk kondisi operasional melalui keterbatasan investasi dan efisiensi. Tabel ini menegaskan bahwa kedua jenis risiko tidak dapat dipisahkan, melainkan harus dianalisis secara simultan dalam satu kerangka sistem untuk menghasilkan strategi mitigasi yang efektif.

Model integratif juga perlu mempertimbangkan peran variabel moderasi seperti kebijakan pemerintah, inovasi teknologi, dan kapasitas sumber daya manusia. Kebijakan seperti subsidi, regulasi penggunaan material daur ulang, serta insentif pajak dapat memperkuat hubungan positif antara efisiensi operasional dan kinerja pasar. Sementara itu, inovasi teknologi dapat mengurangi risiko operasional sekaligus meningkatkan nilai ekonomi produk. Keberhasilan pengembangan industri daur ulang sangat bergantung pada dukungan kebijakan dan investasi yang mampu mengurangi ketidakpastian pasar. Dengan demikian, model integratif tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis, tetapi juga sebagai dasar dalam perumusan strategi pengelolaan risiko yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

7. Analisis Naratif dan Sintesis Literatur

Analisis naratif terhadap literatur terkini menunjukkan bahwa penelitian mengenai industri daur ulang plastik masih didominasi oleh pendekatan parsial, baik dari sisi teknis maupun ekonomi. Sebagian besar studi berfokus pada peningkatan efisiensi teknologi daur ulang, seperti mechanical dan chemical recycling, tanpa secara eksplisit mengaitkannya dengan dinamika pasar. Di sisi lain, penelitian berbasis ekonomi lebih banyak membahas aspek harga, kebijakan, dan permintaan tanpa mempertimbangkan keterbatasan teknis dalam proses produksi. Temuan ini menunjukkan adanya kesenjangan konseptual dalam literatur, di mana hubungan antara risiko operasional dan risiko pasar belum dianalisis secara terintegrasi [26]. Akibatnya, banyak model yang dihasilkan belum mampu menjelaskan kompleksitas sistem daur ulang plastik secara menyeluruh.

Lebih lanjut, sintesis literatur mengindikasikan bahwa pendekatan ekonomi sirkular telah menjadi kerangka dominan dalam memahami pengelolaan limbah plastik, namun implementasinya masih menghadapi berbagai hambatan struktural. Faktor perilaku, kelembagaan, dan pasar memainkan peran penting dalam menentukan keberhasilan sistem daur ulang [29]. Selain itu, Risiko dalam industri daur ulang tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga melibatkan interaksi kompleks antara rantai pasok, kebijakan, dan preferensi pasar [18]. Dengan demikian, diperlukan pendekatan lintas disiplin yang menggabungkan

perspektif rekayasa, ekonomi, dan manajemen risiko untuk menghasilkan model yang lebih komprehensif. Tabel berikut merangkum sintesis literatur terbaru terkait risiko pada industri daur ulang plastik dari berbagai pendekatan.

Tabel 6. Sintesis Literatur Penelitian Risiko Industri Daur Ulang Plastik

| Peneliti | Fokus Penelitian | Pendekatan | Temuan Utama |
|---------------------------|----------------------------|------------|--|
| Todorova (2023) | Manajemen limbah plastik | Teknis | Fokus pada efisiensi proses |
| OECD (2023) | Kebijakan ekonomi sirkular | Ekonomi | Peran regulasi sangat dominan |
| Kirchherr et al. (2022) | Ekonomi sirkular | Konseptual | Hambatan implementasi sistem |
| Pambudi et al. (2025) | Manajemen risiko | Integratif | Risiko terjadi di seluruh rantai pasok |
| Tyllianakis et al. (2025) | Perilaku pelaku industri | Perilaku | Persepsi risiko memengaruhi keputusan |

Sumber: [18], [26], [29]

Tabel 6 menunjukkan bahwa penelitian terkait industri daur ulang plastik masih terfragmentasi berdasarkan pendekatan masing-masing, baik teknis, ekonomi, maupun perilaku. Sebagian besar studi belum mengintegrasikan berbagai dimensi risiko dalam satu kerangka analisis yang utuh. Hal ini mengindikasikan adanya kebutuhan untuk mengembangkan model integratif yang mampu menggabungkan berbagai perspektif guna meningkatkan pemahaman terhadap kompleksitas industri daur ulang plastik.

Berdasarkan hasil sintesis tersebut, dapat diidentifikasi beberapa celah penelitian yang masih terbuka. Pertama, masih terbatasnya model integratif yang mampu menghubungkan risiko operasional dan risiko pasar dalam satu kerangka analisis yang sistematis. Kedua, kurangnya penggunaan pendekatan kuantitatif berbasis sistem dinamis atau simulasi untuk memodelkan interaksi antar risiko. Ketiga, minimnya kajian empiris yang menguji model integratif dalam konteks negara berkembang, khususnya Indonesia. Karakteristik pasar dan infrastruktur di negara berkembang memerlukan pendekatan yang berbeda dibandingkan dengan negara maju. Oleh karena itu, penelitian ini berkontribusi dengan menawarkan pendekatan naratif integratif yang menghubungkan dimensi teknis dan ekonomi, serta membuka peluang untuk pengembangan model berbasis data dan simulasi di masa depan.

8. Implikasi Strategis dan Arah Penelitian Masa Depan

Implikasi strategis dari model integratif risiko operasional dan risiko pasar dalam industri daur ulang plastik menekankan pentingnya pendekatan lintas disiplin yang menggabungkan perspektif rekayasa dan ekonomi dalam pengambilan keputusan [35]. Pelaku industri perlu mengembangkan sistem operasional yang lebih adaptif melalui investasi pada teknologi pemilahan dan pengolahan yang efisien, serta memperkuat manajemen rantai pasok untuk mengurangi ketidakpastian bahan baku [36]. Di sisi lain, strategi pasar harus diarahkan pada peningkatan nilai tambah produk daur ulang melalui inovasi, sertifikasi kualitas, dan edukasi konsumen. Studi terbaru menunjukkan bahwa keberhasilan ekonomi sirkular sangat bergantung pada integrasi antara efisiensi operasional dan dukungan pasar, termasuk kebijakan insentif dan regulasi yang kondusif.

Selain itu, peran pemerintah dan pemangku kepentingan menjadi faktor kunci dalam menciptakan ekosistem industri yang stabil dan berkelanjutan. Kebijakan seperti subsidi teknologi, pajak plastik virgin, serta kewajiban penggunaan material daur ulang dapat membantu mengurangi kesenjangan daya saing antara produk daur ulang dan plastik baru. Faktor kelembagaan dan perilaku memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan implementasi ekonomi sirkular. Oleh karena itu, kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat diperlukan untuk mengurangi risiko sistemik serta meningkatkan efisiensi dan daya saing industri daur ulang plastik. Tabel berikut merangkum implikasi strategis dan arah penelitian masa depan dalam industri daur ulang plastik.

Tabel 7. Implikasi Strategis dan Arah Penelitian Masa Depan

| Aspek | Implikasi Strategis | Arah Penelitian |
|------------------|--|------------------------------------|
| Operasional | Peningkatan efisiensi teknologi dan proses | Pengembangan model rekayasa sistem |
| Pasar | Inovasi produk dan peningkatan daya saing | Analisis perilaku konsumen |
| Kebijakan | Insentif dan regulasi ekonomi sirkular | Evaluasi kebijakan publik |
| Integrasi Risiko | Pendekatan manajemen risiko terpadu | Model integratif berbasis sistem |

Sumber: [18], [26], [29], [32]

Tabel 7 di atas, menunjukkan bahwa implikasi strategis dan arah penelitian masa depan dalam industri daur ulang plastik mencakup berbagai aspek yang saling terkait, yaitu operasional, pasar, kebijakan, dan integrasi risiko. Setiap aspek memerlukan strategi yang spesifik sekaligus membuka peluang penelitian lanjutan untuk memperkuat pemahaman dan implementasi model integratif. Hal ini menegaskan bahwa pengembangan industri daur ulang plastik membutuhkan sinergi antara praktik bisnis dan penelitian akademik.

Arah penelitian berikutnya perlu fokus pada pengembangan model integratif berbasis kuantitatif yang mampu menangkap dinamika interaksi antara risiko operasional dan risiko pasar. Pendekatan seperti *system dynamics*, *agent-based modeling*, dan analisis berbasis data besar (*big data*) dapat digunakan untuk mensimulasikan berbagai skenario risiko dan dampaknya terhadap kinerja industri. Selain itu, penelitian empiris di negara berkembang, khususnya Indonesia, masih sangat terbatas dan perlu diperluas untuk memahami konteks lokal yang unik. Pambudi et al. (2025) menunjukkan bahwa karakteristik rantai pasok dan struktur pasar di negara berkembang memiliki tingkat kompleksitas yang berbeda dibandingkan negara maju. Dengan demikian, penelitian ke depan diharapkan dapat menghasilkan model yang lebih aplikatif dan kontekstual, serta memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan industri daur ulang plastik yang berkelanjutan.

9. Kesimpulan

Industri daur ulang plastik menghadapi risiko yang kompleks dan saling berkaitan antara risiko operasional dan risiko pasar. Risiko operasional muncul dari ketidakstabilan pasokan bahan baku, keterbatasan teknologi, serta inefisiensi proses produksi, sedangkan risiko pasar berkaitan dengan fluktuasi harga, ketidakpastian permintaan, dan rendahnya daya saing produk daur ulang. Kedua jenis risiko tersebut saling memengaruhi dan menentukan keberlanjutan industri daur ulang plastik secara keseluruhan.

Kajian ini menunjukkan bahwa pendekatan pengelolaan risiko yang terpisah antara aspek teknis dan ekonomi belum mampu menjelaskan kompleksitas industri daur ulang plastik secara menyeluruh. Oleh karena itu, diperlukan model integratif yang menghubungkan perspektif rekayasa dan ekonomi dalam satu kerangka pengelolaan risiko yang lebih komprehensif. Pendekatan integratif tersebut penting untuk meningkatkan efisiensi operasional, memperkuat stabilitas pasar, dan mendukung pengembangan industri berbasis ekonomi sirkular.

Keberhasilan industri daur ulang plastik sangat bergantung pada kemampuan pelaku industri dan pemangku kebijakan dalam mengelola risiko secara terpadu. Penguatan teknologi, efisiensi rantai pasok, inovasi produk, serta dukungan kebijakan ekonomi sirkular menjadi faktor utama dalam meningkatkan daya saing dan keberlanjutan industri. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan model empiris dan kuantitatif yang lebih aplikatif untuk menguji hubungan integratif antara risiko operasional dan risiko pasar dalam konteks industri daur ulang plastik di negara berkembang.

Referensi

- [1] M. A. Fayshal, "Current practices of plastic waste management, environmental impacts, and potential alternatives for reducing pollution and improving management," *Heliyon*, vol. 10, no. 23, 2024.
- [2] D. Sajwan, A. Sharma, M. Sharma, and V. Krishnan, "Upcycling of plastic waste using photo-, electro-, and photoelectrocatalytic approaches: a way toward circular economy," *ACS Catal.*, vol. 14, no. 7, pp. 4865–4926, 2024.
- [3] S. Ardra and M. K. Barua, "Inclusion of circular economy practices in the food supply chain: Challenges and possibilities for reducing food wastage in emerging economies like India," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 25, no. 12, pp. 13825–13858, 2023.

- [4] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made," *Sci. Adv.*, vol. 3, no. 7, p. e1700782, 2017.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] M. Alaghemandi, "Sustainable solutions through innovative plastic waste recycling technologies," *Sustainability*, vol. 16, no. 23, p. 10401, 2024.
- [8] K. Bernat, "Post-consumer plastic waste management: from collection and sortation to mechanical recycling," *Energies*, vol. 16, no. 8, p. 3504, 2023.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] O. Smith and A. Brisman, "Plastic waste and the environmental crisis industry," *Crit. Criminol.*, vol. 29, pp. 289–309, 2021.
- [13] L. Peragin, "Recycled and Virgin Plastics Prices Dynamics: Towards Substitution Effects?," *Environ. Model. Assess.*, pp. 1–28, 2025.
- [14] 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.
- [15] N. Ebner and E. Iacovidou, "The challenges of Covid-19 pandemic on improving plastic waste recycling rates," *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 28, pp. 726–735, 2021.
- [16] L. E. P. Real, "Plastics statistics: production, recycling, and market data," in *Recycled materials for construction applications: plastic products and composites*, Springer, 2022, pp. 103–113.
- [17] G. Försterling, R. Orth, and B. Gellert, "Transition to a circular economy in europe through new business models: barriers, drivers, and policy making," *Sustainability*, vol. 15, no. 10, p. 8212, 2023.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] J. Tao, M. Aamir, M. Shoaib, N. Yasir, and M. Babar, "Bridging the gap between supply chain risk and organizational performance conditioning to demand uncertainty," *Sustainability*, vol. 17, no. 6, p. 2462, 2025.
- [22] 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.
- [23] S. AlMashaqbeh and J. E. Munive-Hernandez, "Risk analysis under a circular economy context using a systems thinking approach," *Sustainability*, vol. 15, no. 5, p. 4141, 2023.
- [24] J. Swinnen and R. Kuijpers, "Value chain innovations for technology transfer in developing and emerging economies: Conceptual issues, typology, and policy implications," *Food Policy*, vol. 83, pp. 298–309, 2019.
- [25] C. Vlachokostas, "Closing the loop between energy production and waste management: A conceptual approach towards sustainable development," *Sustainability*, vol. 12, no. 15, p. 5995, 2020.

- [26] Johansen, Mathilde Rosenberg, et al. "A review of the plastic value chain from a circular economy perspective." *Journal of Environmental Management* 302 (2022): 113975.
- [27] L. I. Cioca *et al.*, "Risk assessment in a materials recycling facility: Perspectives for reducing operational issues," *Resources*, vol. 7, no. 4, p. 85, 2018.
- [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] 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.
- [30] B. Gazeau, R. Minunno, A. Zaman, and F. Shaikh, "Elevating recycling standards: global requirements for plastic traceability and quality testing," *Sustainability*, vol. 16, no. 12, p. 5122, 2024.
- [31] M. A. Ibrahim, "Modeling of risk for improper sorting of waste at Recycling Centers," *Waste Manag.*, vol. 102, pp. 550–560, 2020.
- [32] World Bank, "Exploring Feedstock Opportunities to Advance Domestic Circularity in Malaysia ' s Plastic Recycling," 2025.
- [33] H. Q. Truong and Y. Hara, "Supply chain risk management: manufacturing-and service-oriented firms," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 29, no. 2, pp. 218–239, 2018.
- [34] P. P.-Y. Wu, C. Fookes, J. Pitchforth, and K. Mengersen, "A framework for model integration and holistic modelling of socio-technical systems," *Decis. Support Syst.*, vol. 71, pp. 14–27, 2015.
- [35] A. Setyadi, S. Pawirosumarto, and A. Damaris, "Embedding Circular Operations in Manufacturing: A Conceptual Model for Operational Sustainability and Resource Efficiency," *Sustainability*, vol. 17, no. 15, p. 6737, 2025.
- [36] H. Wu, G. Li, and H. Zheng, "How does digital intelligence technology enhance supply chain resilience? Sustainable framework and agenda," *Ann. Oper. Res.*, vol. 355, no. 1, pp. 901–923, 2025.