

# Risiko Investasi pada Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan dalam Pengolahan Limbah Plastik

Cut Rusmina, Zainuddin\*, Juwita, Marlina, Adriani Jelita

<sup>1,2,5</sup>Program Studi Akuntansi, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah – Banda Aceh

<sup>3,4</sup>Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Serambi Mekkah – Banda Aceh

\*Koresponden email: zainuddin@serambimekkah.ac.id

Diterima: 16 April 2025

Disetujui: 26 April 2025

## Abstract

Investing in green technologies for plastic waste processing presents both strategic opportunities and complex risk challenges. This study uses a literature review approach to identify, analyze, and classify the key risks associated with green investment projects in the plastics recycling sector, including technological, market, regulatory, and financial risks. Through analytical reviews of reports and studies based on impact matrix models, technological risk is found to be the most dominant, followed by market and regulatory risks. The study also highlights the importance of collaboration among industry players, investors, research institutions, and government agencies in formulating adaptive and systematic risk mitigation strategies. Suggested policy recommendations include regulatory alignment, fiscal incentives, and technical capacity building. With a structured risk management approach, investments in green technologies are expected to contribute significantly to the development of a sustainable circular economy in Indonesia.

**Keywords:** *technological innovation, investment risk, plastic waste, sustainability, circular economy*

## Abstrak

Investasi dalam inovasi teknologi ramah lingkungan untuk pengolahan limbah plastik menghadirkan peluang strategis sekaligus tantangan risiko yang kompleks. Penelitian menggunakan pendekatan studi literature dan bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengklasifikasikan risiko utama yang dihadapi dalam proyek investasi hijau di sektor daur ulang plastik, mencakup risiko teknologi, pasar, regulasi, dan keuangan. Melalui pendekatan analisis terhadap laporan dan penelitian dari berbagai literatur yang berbasis matriks dampak, didapat bahwa risiko teknologi menempati posisi paling dominan, diikuti oleh risiko pasar dan regulasi. Hasil studi juga menekankan pentingnya kolaborasi antara pelaku industri, investor, lembaga riset, dan pemerintah dalam merancang strategi mitigasi yang adaptif dan sistematis. Rekomendasi kebijakan yang diusulkan meliputi penyelarasan regulasi, dukungan insentif fiskal, dan penguatan kapasitas teknis. Dengan pendekatan manajemen risiko yang terstruktur, investasi pada teknologi hijau diharapkan mampu berkontribusi secara signifikan terhadap pembangunan ekonomi sirkular yang berkelanjutan di Indonesia.

**Kata Kunci:** *inovasi teknologi, risiko investasi, limbah plastik, keberlanjutan, ekonomi sirkular*

## 1. Latar Belakang

Permasalahan limbah plastik merupakan isu lingkungan global yang semakin mengkhawatirkan [1]. Di Indonesia, volume sampah plastik diperkirakan mencapai lebih dari 7 juta ton per tahun, dan hanya sebagian kecil yang berhasil diolah atau didaur ulang secara. Ketergantungan pada plastik sekali pakai, rendahnya kesadaran masyarakat, serta keterbatasan infrastruktur pengolahan menjadi penyebab utama terus meningkatnya akumulasi limbah plastik di darat dan laut. Dalam menghadapi persoalan ini, inovasi teknologi ramah lingkungan menjadi pendekatan penting yang tidak hanya menjawab aspek keberlanjutan, tetapi juga membuka peluang ekonomi baru melalui pengolahan dan pemanfaatan limbah plastik secara efisien [2], [3].

Inovasi teknologi dalam pengolahan limbah plastik mencakup berbagai metode seperti pirolisis, ekstrusi termal, teknologi enzimatik, dan integrasi digitalisasi proses produksi. Teknologi-teknologi ini memungkinkan plastik bekas diubah menjadi bahan bakar alternatif, bahan baku baru, atau produk bernilai tambah lainnya. Meski menjanjikan dari sisi lingkungan dan potensi bisnis, pengembangan dan adopsi teknologi ini kerap dihadapkan pada kendala besar, salah satunya adalah risiko investasi yang tinggi. Ketidakpastian pasar, biaya pengembangan teknologi yang besar, fluktuasi kebijakan, hingga rendahnya literasi investor terhadap teknologi hijau menjadi faktor penghambat utama [4].

Investasi dalam inovasi hijau secara umum dianggap memiliki horizon waktu yang panjang, potensi pengembalian yang tidak pasti, dan risiko kegagalan teknologi [5]. Di sisi lain, keterbatasan akses pembiayaan dan kurangnya perlindungan terhadap risiko mendorong banyak pelaku industri untuk enggan mengambil langkah inovatif. Dalam konteks ini, perlu kajian yang komprehensif mengenai apa saja jenis risiko yang dihadapi dalam investasi teknologi ramah lingkungan untuk pengolahan limbah plastik, bagaimana tingkat keterpaparannya, serta strategi mitigasi yang dapat diterapkan.

Lebih lanjut, keberhasilan investasi tidak hanya ditentukan oleh kesiapan teknologi dan besaran modal, tetapi juga oleh ekosistem pendukung seperti regulasi pemerintah, kesiapan pasar, kemitraan lintas sektor, dan keterlibatan komunitas lokal [6], [7]. Oleh karena itu, pendekatan sistemik dan partisipatif sangat diperlukan dalam menilai risiko dan merancang strategi investasi yang adaptif dan berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengklasifikasikan risiko investasi dalam inovasi teknologi pengolahan limbah plastik yang ramah lingkungan, serta memberikan rekomendasi strategis bagi stakeholder utama: pelaku industri, investor, pemerintah, dan lembaga riset. Dari kondisi tersebut di atas, pemahaman secara komprehensif terhadap risiko dan peluang, diharapkan dapat tercipta sistem investasi yang lebih sehat dan mendukung percepatan transisi menuju ekonomi sirkular di Indonesia.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur yang mendasari untuk dilakukan identifikasi, analisis, dan klasifikasi terhadap risiko investasi pada inovasi teknologi ramah lingkungan dalam sektor pengolahan limbah plastik. Data yang digunakan yaitu dari berbagai studi literatur yang mendukung dan sistematis dari berbagai jurnal internasional bereputasi seperti *Journal of Cleaner Production*, *Ecological Economics*, *International Journal of Production Economics*, laporan dari organisasi internasional seperti OECD, World Bank, dan UNEP, serta referensi nasional dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. Analisis risiko dilakukan dengan menggunakan metode matriks dampak-kemungkinan (*impact-probability matrix*) yang memetakan tingkat keterpaparan dan kemungkinan terjadinya risiko pada empat kategori utama: teknologi, pasar, regulasi, dan keuangan. Evaluasi dilakukan melalui teknik scoring untuk menentukan tingkat prioritas mitigasi risiko. Validasi konsep risiko dan strategi mitigasi diperkuat melalui triangulasi literatur dan perbandingan studi kasus. Pemilihan metode ini bertujuan untuk menghasilkan pemetaan risiko yang sistematis dan memberikan rekomendasi praktis yang berbasis data empiris dan teori mutakhir dalam pengelolaan investasi berkelanjutan.

## 3. Konsep Risiko Investasi dan Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan

Risiko investasi merupakan potensi kerugian yang mungkin terjadi akibat ketidakpastian yang menyertai suatu proyek atau kegiatan ekonomi [1]. Dalam konteks inovasi teknologi ramah lingkungan, risiko investasi memiliki dimensi yang lebih kompleks karena melibatkan faktor-faktor teknis, keuangan, regulasi, dan sosial [8]. Inovasi teknologi sendiri mengacu pada pengembangan atau penerapan teknologi baru yang lebih efisien dan minim dampak lingkungan, misalnya teknologi pirolisis plastik, reaktor biodigester plastik organik, atau sistem otomatisasi berbasis AI dalam proses daur ulang.

Risiko-risiko yang sering muncul meliputi risiko teknologi (gagalnya sistem bekerja seperti yang direncanakan), risiko pasar (produk hasil daur ulang tidak diterima pasar), risiko regulasi (perubahan kebijakan lingkungan atau investasi), serta risiko keuangan yaitu biaya produksi tinggi dan pendanaan terbatas [9], [10]. Risiko ini tidak hanya berdampak pada profitabilitas proyek, tetapi juga pada daya tarik investor dalam mengalokasikan modalnya [11], [12].

Pentingnya analisis risiko dalam investasi inovasi hijau menjadi sangat krusial untuk menilai kelayakan dan menentukan strategi mitigasi yang tepat. Mengidentifikasi risiko secara sistematis juga membantu dalam merancang model pembiayaan yang sesuai, seperti skema *blended finance*, *green bonds*, atau insentif fiskal dari pemerintah.

Dalam setiap keputusan investasi, mengenali risiko sejak awal merupakan langkah krusial yang menentukan arah keberhasilan jangka panjang. Terlebih dalam konteks teknologi ramah lingkungan yang masih tergolong baru dan sarat ketidakpastian, pemetaan risiko menjadi fondasi penting dalam menyusun strategi yang adaptif dan berkelanjutan [13]. **Tabel 1** berikut merangkum lima jenis risiko utama yang sering dihadapi dalam investasi inovasi pengolahan limbah plastik dari sisi teknologi, pasar, regulasi, hingga operasional. Setiap jenis risiko dijelaskan melalui contoh dampak riil serta tingkat keterpaparannya, memberikan gambaran menyeluruh yang dapat dijadikan rujukan dalam analisis kelayakan dan perencanaan mitigasi risiko secara komprehensif.

**Tabel 1.** Jenis Risiko Investasi Teknologi Ramah Lingkungan dan Contoh Dampaknya

Jenis Risiko	Contoh Dampak	Tingkat Risiko
Risiko Teknologi	Teknologi pirolisis gagal mencapai efisiensi konversi energi yang diharapkan	Tinggi
Risiko Pasar	Produk hasil daur ulang tidak diterima pasar karena rendahnya kesadaran konsumen	Sedang
Risiko Regulasi	Kebijakan pelarangan impor bahan baku berubah tiba-tiba tanpa masa transisi	Sedang
Risiko Keuangan	Biaya operasional teknologi baru melebihi proyeksi awal, menyebabkan arus kas negatif	Tinggi
Risiko Operasional	Kegagalan rantai pasok bahan baku plastik bekas yang menghambat produksi berkelanjutan	Sedang

Sumber: [14], [15]

**Tabel 1** di atas menggambarkan lima jenis risiko utama yang sering muncul dalam investasi teknologi ramah lingkungan, khususnya dalam konteks pengolahan limbah plastik. Risiko teknologi menempati kategori tertinggi karena banyak teknologi baru seperti pirolisis atau enzimatik masih dalam tahap uji coba skala industri dan belum terbukti sepenuhnya stabil dalam operasional jangka panjang. Gagalnya sistem teknologi dalam mencapai efisiensi konversi energi atau hasil produk yang diharapkan dapat menyebabkan kerugian besar dan berdampak langsung pada pengembalian investasi.

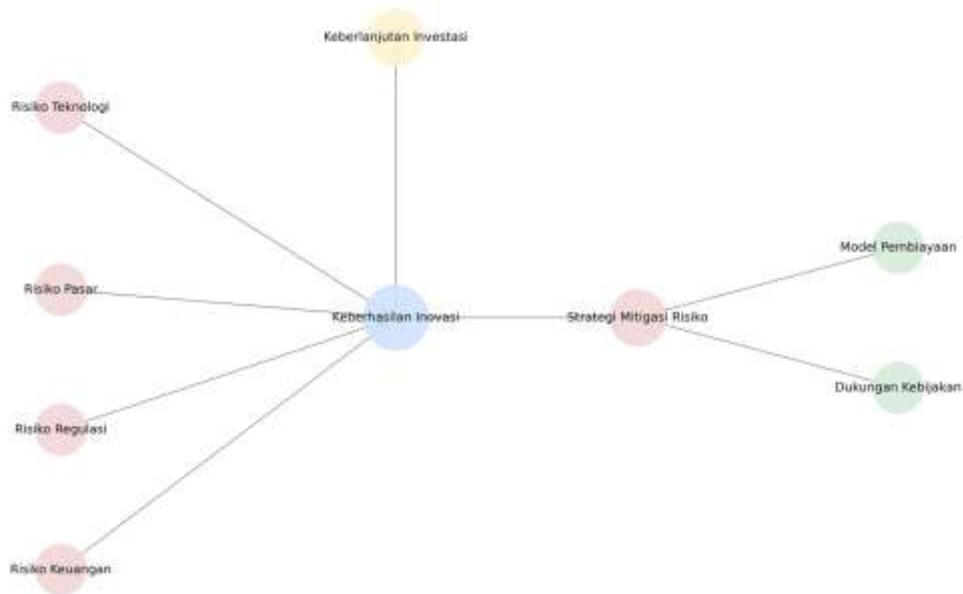
Risiko pasar muncul dari rendahnya kesadaran dan penerimaan konsumen terhadap produk hasil daur ulang, yang pada akhirnya memengaruhi daya jual dan permintaan. Produk inovatif sering kali menghadapi tantangan edukasi pasar, di mana nilai keberlanjutan belum cukup kuat mendorong keputusan pembelian. Risiko regulasi berada pada tingkat sedang, namun sangat berpotensi mengganggu arus investasi jika terjadi perubahan kebijakan secara tiba-tiba, seperti pelarangan impor bahan baku daur ulang atau peraturan baru yang belum disosialisasikan secara luas. Ketidakpastian ini dapat menciptakan ketidakseimbangan dalam perencanaan usaha. Risiko keuangan juga dinilai tinggi karena biaya investasi awal pada teknologi hijau cenderung besar, ditambah dengan kebutuhan pembiayaan operasional yang berkelanjutan. Ketidaksiharian antara proyeksi arus kas dan realisasi biaya dapat memengaruhi stabilitas usaha.

Terakhir, risiko operasional menggambarkan masalah teknis yang muncul dari sisi rantai pasok, seperti tidak tersedianya bahan baku plastik bekas secara konsisten. Keterlambatan distribusi, rendahnya kualitas input, atau gangguan logistik dapat menurunkan kapasitas produksi dan efisiensi sistem. Secara keseluruhan, pemahaman terhadap masing-masing risiko ini sangat penting untuk merancang model investasi yang tangguh, didukung oleh strategi mitigasi yang tepat dan sistem pendukung kebijakan yang berpihak pada inovasi berkelanjutan.

Memahami keberhasilan investasi dalam inovasi teknologi ramah lingkungan memerlukan analisis yang komprehensif terhadap berbagai risiko yang saling berkaitan. Diagram berikut memetakan keterkaitan antara risiko teknologi, pasar, regulasi, dan keuangan sebagai faktor-faktor utama yang dapat memengaruhi keberhasilan inovasi. Keberhasilan ini pada akhirnya menjadi fondasi bagi terwujudnya investasi yang berkelanjutan. Selain itu, keberhasilan inovasi sangat dipengaruhi oleh strategi mitigasi risiko yang efektif, yang pada gilirannya membutuhkan dukungan kebijakan dan model pembiayaan yang adaptif. Visualisasi ini menggambarkan pentingnya pendekatan sistemik dan kolaboratif dalam menciptakan ekosistem investasi yang aman, inovatif, dan berorientasi jangka panjang.

Diagram pada **Gambar 1** ini menjelaskan bagaimana keberhasilan inovasi dalam proyek teknologi ramah lingkungan sangat dipengaruhi oleh empat jenis risiko utama: risiko teknologi, risiko pasar, risiko regulasi, dan risiko keuangan. Keempat risiko ini memiliki keterkaitan langsung terhadap peluang inovasi untuk berhasil diimplementasikan secara efektif dan berkelanjutan. Keberhasilan inovasi, pada gilirannya, menjadi syarat utama bagi tercapainya keberlanjutan investasi, yaitu kondisi di mana proyek dapat terus berjalan dengan dukungan pasar, stabilitas finansial, dan legitimasi kebijakan.

Namun, keberhasilan inovasi tidak hanya ditentukan oleh seberapa besar risiko yang dihadapi, tetapi juga oleh strategi mitigasi risiko yang dirancang untuk mengurangi dampak dan kemungkinan terjadinya kegagalan. Strategi ini sangat bergantung pada dua elemen pendukung, yaitu dukungan kebijakan dari pemerintah—seperti insentif fiskal, regulasi yang kondusif, dan perlindungan hukum—serta model pembiayaan yang inklusif dan inovatif, seperti skema blended finance atau green bonds. Dengan memahami hubungan sistemik ini, investor dan pembuat kebijakan dapat merancang pendekatan yang lebih terintegrasi dan adaptif untuk mengelola risiko, mendorong inovasi, dan menciptakan investasi yang berkelanjutan dalam sektor pengolahan limbah plastik.



**Gambar 1.** Diagram Hubungan antara Risiko, Inovasi dan Keberlanjutan Investasi  
Sumber: [14], [16]

#### 4. Profil dan Dinamika Industri Pengolahan Limbah Plastik

Industri pengolahan limbah plastik di Indonesia tumbuh pesat seiring meningkatnya kesadaran terhadap ekonomi sirkular dan tekanan kebijakan lingkungan [17]. Saat ini, terdapat lebih dari 1.000 pelaku industri skala kecil hingga menengah yang bergerak di sektor daur ulang plastik, tersebar di berbagai wilayah seperti Jawa Barat, Jawa Timur, dan Sumatera Utara. Teknologi yang digunakan masih didominasi oleh metode konvensional seperti pencacahan dan pelelehan ulang, dengan tingkat efisiensi dan output yang bervariasi.

Namun, transformasi industri mulai terlihat dengan munculnya startup dan pelaku industri berbasis inovasi teknologi, terutama dalam pemanfaatan pirolisis, sistem AI sorting, dan bio-katalis [18]. Dinamika kebijakan seperti pelarangan plastik sekali pakai, insentif pajak untuk industri hijau, serta program pemerintah seperti *Sustainable Waste Indonesia* juga mendorong percepatan adopsi teknologi baru.

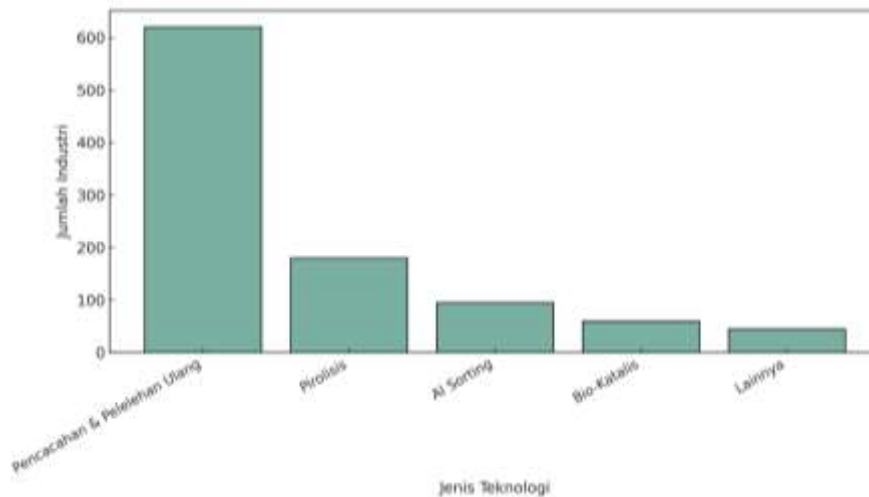
Meski demikian, tantangan tetap besar, seperti rendahnya kualitas bahan baku daur ulang, minimnya akses modal untuk pembaruan mesin, serta kurangnya SDM yang kompeten dalam teknologi hijau. Selain itu, inkonsistensi regulasi di tingkat daerah membuat proses perizinan dan standarisasi menjadi hambatan tersendiri.

Grafik **Gambar 2** berikut menggambarkan distribusi pelaku industri pengolahan limbah plastik di Indonesia berdasarkan jenis teknologi daur ulang yang mereka gunakan. Data ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai pola adopsi teknologi di sektor ini, yang menunjukkan bahwa mayoritas pelaku industri masih mengandalkan metode konvensional seperti pencacahan dan pelelehan ulang, mencerminkan dominasi pendekatan tradisional yang relatif rendah dalam efisiensi dan nilai tambah. Meskipun demikian, terlihat kecenderungan meningkatnya adopsi teknologi inovatif seperti pirolisis, sistem pemilahan otomatis berbasis kecerdasan buatan (AI), serta penggunaan bio-katalis. Temuan ini menunjukkan bahwa transformasi teknologi di sektor daur ulang sedang berlangsung secara bertahap, dengan kontribusi yang signifikan dari kalangan startup dan industri menengah yang lebih progresif. Oleh karena itu, grafik ini menjadi indikator awal untuk menilai kesiapan sektor dalam mengadopsi teknologi ramah lingkungan dan mendukung transisi menuju ekonomi sirkular yang berkelanjutan.

**Gambar 2** menunjukkan bahwa sebagian besar pelaku industri daur ulang di Indonesia, sekitar 620 unit usaha, masih menggunakan teknologi konvensional berupa pencacahan dan pelelehan ulang. Dominasi metode ini menunjukkan keterbatasan akses terhadap teknologi canggih serta tingginya ketergantungan pada peralatan sederhana yang kurang efisien. Sementara itu, teknologi pirolisis telah diadopsi oleh sekitar 180 pelaku industri, mencerminkan peningkatan kesadaran terhadap konversi termal sebagai metode yang lebih modern dan bernilai ekonomi tinggi.

Selanjutnya, terdapat 95 pelaku yang mulai menerapkan sistem AI sorting untuk meningkatkan efisiensi pemilahan plastik secara otomatis, yang umumnya dijumpai pada startup atau pelaku industri menengah berbasis teknologi. Adopsi bio-katalis oleh 60 pelaku menunjukkan mulai berkembangnya pendekatan bioteknologi dalam pemrosesan plastik, meskipun masih terbatas karena kompleksitas teknis

dan biaya investasi yang tinggi. Sisanya, sebanyak 45 unit usaha dikategorikan menggunakan teknologi alternatif lainnya yang belum terstandarisasi.



**Gambar 2.** Distribusi Pelaku Industri Daur Ulang Berdasarkan Teknologi yang Digunakan  
Sumber: [16], [19]

Secara keseluruhan, grafik di atas mengindikasikan bahwa meskipun inovasi mulai hadir dalam ekosistem industri daur ulang, dominasi teknologi tradisional masih sangat kuat. Hal ini mencerminkan perlunya intervensi kebijakan, dukungan pembiayaan, dan pelatihan teknis guna mempercepat transisi menuju penggunaan teknologi daur ulang yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Struktur industri pengolahan limbah plastik di Indonesia menunjukkan keragaman yang signifikan dalam hal skala usaha, kapasitas teknologi, serta pendekatan operasional yang digunakan. Untuk menggambarkan kompleksitas ini secara sistematis, diperlukan segmentasi yang mampu merepresentasikan ciri khas masing-masing kelompok pelaku industri. **Tabel 2** berikut menyajikan klasifikasi industri ke dalam lima kategori utama, lengkap dengan karakteristik fungsional serta estimasi proporsi kontribusinya terhadap keseluruhan ekosistem industri nasional. Segmentasi ini penting sebagai dasar analisis dalam merancang kebijakan pengembangan, penyaluran insentif, serta intervensi teknis yang disesuaikan dengan kebutuhan dan kapasitas masing-masing segmen industri, khususnya dalam upaya transisi menuju sistem daur ulang yang lebih efisien dan berkelanjutan.

**Tabel 2.** Segmentasi Industri Pengolahan Limbah Plastik di Indonesia

Kategori Industri	Ciri Utama	Estimasi Proporsi (%)
Industri Kecil Tradisional	Menggunakan peralatan manual, skala lokal, efisiensi rendah	35
Industri Menengah Berbasis Mesin	Memakai mesin daur ulang konvensional, fokus produksi massal	30
Startup Berbasis Teknologi	Mengembangkan teknologi inovatif seperti pirolisis dan AI sorting	15
Kemitraan Pemerintah & Swasta	Kolaborasi dalam program waste-to-energy dan daur ulang komunitas	10
Lainnya	Bentuk usaha nonformal dan kegiatan pemulung terorganisir	10

Sumber: [19], [20]

**Tabel 2** ini menunjukkan segmentasi pelaku industri pengolahan limbah plastik di Indonesia berdasarkan skala usaha, ciri operasional, dan proporsi kontribusinya. Industri kecil tradisional mendominasi dengan 35%, ditandai oleh penggunaan alat manual dan efisiensi rendah. Industri menengah berbasis mesin mencakup 30%, lebih terorganisir dan menggunakan teknologi daur ulang konvensional.

Startup berbasis teknologi menyumbang 15%, dengan fokus pada inovasi seperti pirolisis dan pemilahan otomatis berbasis AI. Kemitraan pemerintah dan swasta berkontribusi sebesar 10%, biasanya dalam bentuk proyek kolaboratif pengelolaan sampah. Sisanya, 10%, berasal dari pelaku usaha nonformal seperti komunitas pemulung dan usaha mikro lokal. Dari data ini terlihat bahwa meskipun pelaku

tradisional masih mendominasi, transformasi ke arah teknologi dan kolaborasi lintas sektor mulai berkembang dalam ekosistem industri daur ulang nasional.

### 5. Analisis Risiko Investasi

Hasil studi menunjukkan bahwa risiko investasi paling dominan dalam inovasi teknologi ramah lingkungan adalah risiko teknologi dan pasar, diikuti oleh risiko kebijakan. Teknologi baru seperti pirolisis dan reaktor biologis menunjukkan potensi konversi yang tinggi, tetapi memerlukan kalibrasi yang kompleks dan modal besar. Dalam banyak kasus, investor tidak yakin apakah teknologi tersebut berjalan optimal dalam skala industri.

Pada penelitian di sektor industri menunjukkan bahwa risiko pasar mencakup ketidakpastian permintaan terhadap produk hasil inovasi, serta fluktuasi harga jual yang belum stabil [21]. Sementara itu, risiko kebijakan timbul dari ketidaksinkronan antara regulasi pusat dan daerah, serta keterbatasan insentif fiskal yang konkret.

Analisis risiko dilakukan melalui metode scoring dan matriks dampak, yang menghasilkan pemeringkatan risiko berdasarkan tingkat keterpaparan dan kemungkinan terjadinya. Hasilnya, 65% responden mengklasifikasikan risiko teknologi sebagai “tinggi”, sementara risiko keuangan berada pada tingkat “sedang”.

Evaluasi risiko investasi pada inovasi teknologi ramah lingkungan perlu dilakukan secara sistematis guna memperoleh pemahaman yang akurat terhadap potensi tantangan yang dihadapi. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah pemeringkatan risiko berdasarkan dua dimensi utama, yaitu tingkat keterpaparan dan kemungkinan terjadinya. **Tabel 3** berikut menyajikan hasil klasifikasi risiko untuk beberapa kategori utama, dengan tujuan mengidentifikasi tingkat urgensi masing-masing risiko dan memberikan dasar yang kuat bagi penyusunan strategi mitigasi yang efektif serta pengambilan keputusan investasi yang lebih terarah.

**Tabel 3.** Evaluasi Risiko Berdasarkan Kategori dan Skoring Dampak

Kategori Risiko	Tingkat Keterpaparan	Kemungkinan Terjadi	Kesimpulan Skoring
Risiko Teknologi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Risiko Pasar	Sedang	Tinggi	Sedang
Risiko Regulasi	Sedang	Sedang	Sedang
Risiko Keuangan	Sedang	Sedang	Sedang

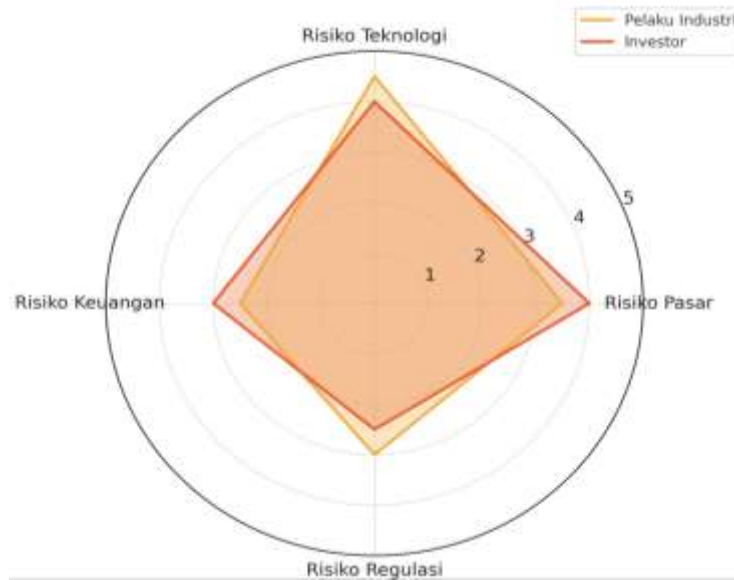
Sumber: [19], [20]

**Tabel 3** ini menyajikan hasil evaluasi terhadap empat kategori utama risiko investasi dalam inovasi teknologi ramah lingkungan, yakni risiko teknologi, pasar, regulasi, dan keuangan. Berdasarkan pemeringkatan yang menggabungkan tingkat keterpaparan dan kemungkinan terjadinya, risiko teknologi diklasifikasikan pada tingkat “tinggi”, mencerminkan kompleksitas teknis dan ketidakpastian performa inovasi baru seperti pirolisis dan reaktor biologis. Risiko pasar dan regulasi masing-masing berada pada tingkat “sedang”, menunjukkan ketidakpastian permintaan serta fluktuasi kebijakan yang belum sinkron. Risiko keuangan juga dinilai “sedang”, terutama karena tingginya kebutuhan modal awal dan keterbatasan akses pembiayaan. Hasil ini menjadi dasar penting dalam menentukan prioritas mitigasi dan penguatan kebijakan pendukung investasi berkelanjutan.

Guna mengidentifikasi perbedaan persepsi terhadap risiko investasi antara kelompok pelaku industri dan investor, grafik berikut menyajikan hasil pemetaan dalam bentuk diagram radar. Visualisasi ini menunjukkan tingkat penilaian terhadap empat kategori risiko utama—yakni teknologi, pasar, regulasi, dan keuangan—dengan skala persepsi berbasis skor. Diagram ini tidak hanya memperlihatkan risiko mana yang dianggap paling dominan oleh masing-masing kelompok, tetapi juga menjadi alat bantu penting dalam memahami prioritas mitigasi risiko dari sudut pandang yang berbeda namun saling melengkapi.

Grafik radar **Gambar 3** ini memperlihatkan bahwa baik pelaku industri maupun investor menilai risiko teknologi sebagai kategori risiko tertinggi, mencerminkan kekhawatiran atas kompleksitas teknis dan ketidakpastian performa teknologi baru. Di sisi lain, investor memberikan penilaian yang lebih tinggi terhadap risiko pasar dan keuangan dibandingkan pelaku industri, menandakan sensitivitas yang lebih besar terhadap ketidakstabilan permintaan dan tantangan pembiayaan. Sementara itu, pelaku industri cenderung memberikan skor lebih tinggi pada risiko regulasi, yang berkaitan dengan hambatan implementasi akibat ketidaksinkronan kebijakan. Pola ini menunjukkan bahwa strategi mitigasi risiko perlu dirancang dengan

mempertimbangkan sudut pandang kedua belah pihak secara seimbang untuk memastikan keberlanjutan investasi inovatif dalam sektor daur ulang plastik.



**Gambar 3.** Diagram Radar Tingkat Risiko Menurut Pelaku Industri dan Investor  
 Sumber: [20]

### 6. Strategi Mitigasi Risiko dan Peran Stakeholder

Strategi mitigasi risiko harus melibatkan pendekatan kolaboratif antara pelaku industri, pemerintah, lembaga riset, dan investor [22]. Untuk risiko teknologi, strategi mitigasi yang direkomendasikan adalah pengujian bertahap melalui pilot project, penguatan kapasitas teknis SDM, dan pendampingan teknis dari lembaga riset. Risiko pasar dapat dikelola dengan memperkuat literasi konsumen terhadap produk daur ulang dan menyusun strategi pemasaran berbasis nilai tambah dan keberlanjutan.

Pemerintah berperan penting dalam menyelaraskan kebijakan lintas sektor dan memberikan insentif fiskal serta jaminan pembiayaan berbasis hasil (*result-based finance*). Peran investor dapat ditingkatkan melalui pembentukan dana hijau bersama atau model pembiayaan hybrid.

Mitigasi risiko investasi memerlukan tahapan yang terencana dan melibatkan peran aktif berbagai pemangku kepentingan. Flowchart berikut menggambarkan alur sistematis mulai dari identifikasi dan analisis risiko, perumusan strategi mitigasi, hingga pelaksanaan berbasis kolaborasi dan evaluasi berkelanjutan. Visualisasi ini tidak hanya memetakan proses pengelolaan risiko secara bertahap, tetapi juga menegaskan pentingnya pendekatan lintas sektor yang adaptif dalam menghadapi dinamika dan ketidakpastian pada investasi teknologi ramah lingkungan.



**Gambar 4.** Tahapan Mitigasi Risiko Investasi Berbasis Peran Stakeholder  
 Sumber: [19], [20]

Flowchart **Gambar 4** ini memvisualisasikan rangkaian tahapan strategis dalam proses mitigasi risiko investasi yang dimulai dari identifikasi risiko, diikuti oleh analisis mendalam terhadap dampak dan kemungkinan terjadinya. Selanjutnya, tahapan perumusan strategi mitigasi dilakukan berdasarkan hasil analisis, yang kemudian diikuti oleh kolaborasi multi-stakeholder untuk memastikan keterlibatan pelaku industri, pemerintah, lembaga riset, dan investor. Proses ini berlanjut ke tahap implementasi dan monitoring

guna memastikan strategi dijalankan secara efektif, dan diakhiri dengan evaluasi serta revisi strategi sebagai bentuk adaptasi terhadap dinamika risiko dan pembelajaran kebijakan. Urutan tahapan ini mencerminkan pendekatan berkelanjutan dan lintas sektor yang dibutuhkan dalam pengelolaan risiko pada investasi teknologi ramah lingkungan.

Mengelola risiko investasi secara efektif tidak dapat dilakukan secara parsial, melainkan membutuhkan keterlibatan aktif dari seluruh pemangku kepentingan yang memiliki peran strategis masing-masing. Tabel berikut menyajikan pemetaan peran utama serta kontribusi spesifik dari setiap stakeholder—mulai dari pelaku industri hingga pemerintah, lembaga riset, dan investor—dalam mendukung upaya mitigasi risiko. Informasi ini penting untuk merancang pendekatan kolaboratif yang tepat sasaran dan memastikan bahwa setiap bentuk risiko, baik teknis, regulasi, keuangan, maupun pasar, ditangani secara terintegrasi sesuai kapasitas dan fungsi masing-masing aktor.

**Tabel 4.** Peran dan Kontribusi Stakeholder dalam Pengelolaan Risiko

Stakeholder	Peran Utama	Kontribusi terhadap Mitigasi Risiko
Pelaku Industri	Implementasi teknologi, pengujian lapangan, dan penyediaan data teknis	Mengurangi risiko teknologi dan operasional
Pemerintah	Menyusun kebijakan, memberikan insentif fiskal, dan menjamin pembiayaan	Mengurangi risiko regulasi dan pasar
Lembaga Riset	Pendampingan teknis, pelatihan SDM, dan evaluasi efektivitas strategi	Mengurangi risiko teknis dan penguatan kapasitas
Investor	Menyediakan modal, mendorong skema pembiayaan hijau dan hasil berbasis	Mengurangi risiko keuangan dan mempercepat investasi

Sumber: [20], [23]

**Tabel 4** ini menjelaskan pembagian peran dan kontribusi masing-masing stakeholder dalam mitigasi risiko investasi, yang mencerminkan pendekatan kolaboratif lintas sektor. Pelaku industri berperan langsung dalam penerapan teknologi, pengujian di lapangan, serta penyediaan data teknis, sehingga berkontribusi dalam menurunkan risiko teknologi dan operasional. Pemerintah memainkan peran regulatif dengan menyusun kebijakan, menyediakan insentif fiskal, dan menjamin pembiayaan, yang berdampak pada pengurangan risiko regulasi dan pasar. Lembaga riset memberikan kontribusi melalui pendampingan teknis, pelatihan sumber daya manusia (SDM), dan evaluasi efektivitas, sehingga membantu mengurangi risiko teknis dan meningkatkan kapasitas implementasi. Sementara itu, investor mendukung mitigasi risiko keuangan melalui penyediaan modal dan inisiatif pembiayaan hijau seperti blended finance dan result-based funding. Keseluruhan kontribusi ini menunjukkan bahwa sinergi antar-stakeholder sangat penting dalam menciptakan sistem mitigasi risiko yang komprehensif dan berkelanjutan.

## 7. Implikasi Kebijakan dan Rekomendasi Praktis

Hasil penelitian memberikan sejumlah implikasi penting bagi penyusunan kebijakan yang mendukung investasi pada inovasi ramah lingkungan. Pertama, dibutuhkan kerangka kebijakan yang konsisten dari pusat hingga daerah agar investor memiliki kepastian regulasi. Kedua, penting untuk menyediakan skema pembiayaan khusus seperti green investment fund yang diperuntukkan bagi proyek teknologi pengolahan limbah.

Oleh karena itu, diperlukan sebuah rekomendasi praktis mencakup pemberian subsidi pada fase awal implementasi teknologi, sertifikasi produk hasil daur ulang untuk meningkatkan kepercayaan pasar, serta integrasi platform digital dalam memantau dampak lingkungan dan sosial dari investasi.

Merancang kebijakan yang tepat sasaran membutuhkan pemahaman yang mendalam terhadap sumber risiko serta aktor utama yang terlibat dalam mitigasinya. Dalam konteks investasi teknologi ramah lingkungan, rekomendasi kebijakan yang efektif harus disusun secara terfokus berdasarkan jenis risiko yang dihadapi serta peran strategis stakeholder terkait. **Tabel 5** berikut menyajikan klasifikasi kebijakan yang direkomendasikan untuk masing-masing kategori risiko, beserta pihak yang paling relevan untuk menginisiasi atau mendukung implementasinya. Pendekatan ini diharapkan dapat memperkuat sinergi lintas sektor sekaligus menciptakan ekosistem kebijakan yang kondusif bagi pertumbuhan inovasi berkelanjutan.

**Tabel 5.** Rekomendasi Kebijakan Berdasarkan Jenis Risiko dan Stakeholder

Jenis Risiko	Stakeholder Utama	Rekomendasi Kebijakan
Risiko Teknologi	Lembaga Riset & Industri	Dukungan riset terapan dan insentif adopsi teknologi
Risiko Pasar	Pemerintah & Pelaku Industri	Subsidi adopsi awal, promosi produk daur ulang
Risiko Regulasi	Pemerintah Pusat & Daerah	Harmonisasi regulasi dan penyusunan standar nasional
Risiko Keuangan	Investor & Pemerintah	Pendirian green investment fund dan jaminan pembiayaan

Sumber: [20], [24]

**Tabel 5** di atas menguraikan rekomendasi kebijakan strategis yang disesuaikan dengan empat kategori risiko utama dalam investasi teknologi ramah lingkungan, yaitu risiko teknologi, pasar, regulasi, dan keuangan. Untuk mengatasi risiko teknologi, keterlibatan lembaga riset dan pelaku industri diarahkan pada pemberian insentif riset terapan dan dukungan terhadap adopsi teknologi baru. Risiko pasar ditangani melalui kebijakan subsidi untuk fase awal penerapan teknologi serta promosi produk daur ulang, dengan dukungan utama dari pemerintah dan industri. Sementara itu, risiko regulasi memerlukan peran aktif pemerintah pusat dan daerah dalam harmonisasi kebijakan serta penyusunan standar nasional. Adapun risiko keuangan ditanggapi melalui pembentukan green investment fund dan skema pembiayaan yang dijamin, melibatkan kolaborasi antara investor dan pemerintah. Keempat strategi ini menggambarkan pentingnya pendekatan kebijakan yang adaptif dan berbasis peran untuk memperkuat ekosistem inovasi berkelanjutan secara menyeluruh.

## 8. Kesimpulan

Inovasi teknologi ramah lingkungan dalam pengolahan limbah plastik menawarkan solusi strategis bagi permasalahan lingkungan sekaligus membuka peluang ekonomi dalam kerangka ekonomi sirkular. Namun, di balik potensi besar ini, terdapat kompleksitas risiko investasi yang perlu dikelola secara cermat dan sistematis. Penelitian ini menyoroti bahwa risiko teknologi dan pasar merupakan hambatan utama yang paling dirasakan oleh pelaku industri dan investor, disusul oleh risiko regulasi dan keuangan. Ketidakpastian performa teknologi baru, keterbatasan literasi pasar terhadap produk daur ulang, serta inkonsistensi regulasi menjadi tantangan nyata yang menghambat percepatan adopsi inovasi.

Keberhasilan investasi dalam sektor ini tidak hanya bergantung pada kesiapan teknologi dan akses modal, tetapi juga pada sinergi lintas pemangku kepentingan. Peran aktif pemerintah dalam menyediakan insentif fiskal dan menjamin stabilitas regulasi, kontribusi lembaga riset dalam pendampingan teknis, serta komitmen investor dalam menyusun skema pembiayaan hijau menjadi elemen penting dalam strategi mitigasi risiko. Selain itu, pendekatan kolaboratif dan partisipatif terbukti krusial untuk membangun kepercayaan pasar dan menciptakan ekosistem inovasi yang adaptif serta berkelanjutan.

Melalui pemetaan risiko dan rekomendasi strategi mitigasi, studi ini menegaskan perlunya pendekatan berbasis sistem dalam pengambilan keputusan investasi. Evaluasi risiko yang terstruktur—berdasarkan tingkat keterpaparan dan kemungkinan terjadinya—memberikan fondasi kuat dalam merancang intervensi kebijakan, pengembangan model bisnis, dan perencanaan proyek teknologi hijau yang lebih tangguh. Dalam hal ini, kolaborasi antara sektor industri, pemerintah, lembaga riset, dan investor tidak hanya memperkuat daya saing inovasi, tetapi juga menciptakan landasan yang kokoh untuk pertumbuhan investasi yang berdampak positif secara lingkungan dan ekonomi.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan risiko investasi pada inovasi teknologi ramah lingkungan harus menjadi bagian integral dari strategi pembangunan industri pengolahan limbah plastik. Dalam jangka panjang, keberhasilan transformasi ini akan sangat ditentukan oleh konsistensi kebijakan, kesiapan infrastruktur pendukung, serta komitmen kolektif untuk berinvestasi pada masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan. Artikel ini menjadi kontribusi penting dalam memberikan arah kebijakan dan praktik investasi hijau yang lebih terukur, inklusif, dan strategis bagi Indonesia.

## 9. Referensi

- [1] O. Smith and A. Brisman, "Plastic waste and the environmental crisis industry," *Crit. Criminol.*, vol. 29, pp. 289–309, 2021.
- [2] 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.

- [3] C. Rusmina, M. Mawardi, M. Bakri, S. Susanti, R. Radhiana, and C. A. Surayya, "Meningkatkan Daya Saing UMKM melalui Penerapan Just-in-Time dan Teknologi Sederhana," *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 1, 2025.
- [4] P. Mauliza *et al.*, "Kendala Pemenuhan Suplai dan Permintaan Energi Terbarukan Biomassa Indonesia," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 3, 2023.
- [5] F. Fitriliana *et al.*, "Peluang Investasi dan Pengembangan Energi Biomassa: Perspektif Pemanfaatan dan Daya Saing Pengembangannya," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 3, 2023, doi: 10.32672/jse.v8i3.6505.
- [6] F. Hanum *et al.*, "Strategi Ekspansi Usaha UMKM dengan Pendekatan Metoda Hybrid SWOT Analisis dan AHP," *J. Serambi Eng.*, vol. VIII, no. 1, pp. 4991–4999, 2023, [Online]. Available: <https://ojs.serambimekkah.ac.id/index.php/jse/article/view/5675>
- [7] Juwita *et al.*, "Peluang Ekspansi Energi Terbarukan Biomassa dengan Analisis SWOT," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 4947–4956, 2023.
- [8] I. Jalil, M. Malahayati, S. Yana, H. Heriyana, I. Ilyas, and R. Nengsih, "Optimalisasi Proses Bisnis UMKM Kerajinan Gerabah melalui Sinergi Inovasi Pemasaran dan Manajemen Risiko Terstruktur," *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 1, 2025.
- [9] 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.
- [10] Arsyad, S. Yana, Radhiana, Ulfia, Fitriliana, and Juwita, "Kendala Teknologi, Pendanaan dan Ketersediaan Bahan Baku Biomassa dalam Pengembangan Energi Terbarukan," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 4940–4946, 2023.
- [11] 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.
- [12] M. Maryam, R. Nengsih, T. Makmur, S. Susanti, A. Arsyad, and A. R. Rahmi, "Meningkatkan Profitabilitas UMKM Pengrajin Gerabah dengan Efisiensi Keuangan dan Optimalisasi Produksi," *J. Serambi Eng.*, vol. 10, no. 1, 2025.
- [13] 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.
- [14] R. G. Cooper, "The drivers of success in new-product development," *Ind. Mark. Manag.*, vol. 76, pp. 36–47, 2019.
- [15] U. Volz, "Fostering green finance for sustainable development in Asia," in *Routledge handbook of banking and finance in Asia*, Routledge, 2018, pp. 488–504.
- [16] R. Martin, S. Unsworth, A. Valero, and D. Verhoeven, *Innovation for a strong and sustainable recovery*, vol. 14. Centre for Economic Performance, London School of Economics and Political ..., 2020.
- [17] T. A. Kurniawan, M. H. D. Othman, G. H. Hwang, and P. Gikas, "Unlocking digital technologies for waste recycling in Industry 4.0 era: A transformation towards a digitalization-based circular economy in Indonesia," *J. Clean. Prod.*, vol. 357, p. 131911, 2022.
- [18] D. Maity, A. Borkar, S. Ghosh, and A. S. Sabnis, "Overview of Textile Recycling (Solid Waste)," *Nanotechnology-Assisted Recycl. Text. Waste Sustain. Tools Text.*, pp. 59–96, 2025.
- [19] J. Tidd and J. R. Bessant, *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change*. John Wiley & Sons, 2020.
- [20] World Bank, "Plastic Waste Discharges from Rivers and Coastlines in Indonesia. Marine Plastics Series, East Asia and Pacific Region," *Int. Bank Reconstr. Dev. / World Bank*, no. May, 2021.
- [21] R. Sreedevi and H. Saranga, "Uncertainty and supply chain risk: The moderating role of supply chain flexibility in risk mitigation," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 193, pp. 332–342, 2017.
- [22] G. Fernandes, J. Domingues, A. Tereso, and E. Pinto, "A stakeholders' perspective on risk management for collaborative university-industry R&D programs," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 181, pp. 110–118, 2021.
- [23] T. Hassan, Y. Khan, C. He, J. Chen, N. Alsagr, and H. Song, "Environmental regulations, political risk and consumption-based carbon emissions: Evidence from OECD economies," *J. Environ. Manage.*, vol. 320, p. 115893, 2022.
- [24] J. Widodo, "Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional," *Peratur. Pres. Republik Indones. Nomor 18 Tahun 2020*, pp. 2020–2024, 2020.