

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Rantai Pasok

Manajemen rantai pasokan (*Supply Chain Management*,) adalah proses yang menyeluruh dan terintegrasi yang mencakup berbagai kegiatan dan fungsi dari perencanaan hingga pelaksanaan dan pengendalian dalam konteks aliran barang dan jasa. Menurut *Council of Supply Chain Management Professionals* (2023), SCM melibatkan seluruh rangkaian proses mulai dari pengadaan bahan baku yang diperlukan, pengolahan bahan mentah menjadi produk jadi, hingga distribusi produk akhir kepada pelanggan. Dalam aktivitas rantai pasok adapun komponen utama yang terlibat memastikan aliran dijelaskan sebagai (M. Afdhal Chatra P et al., 2023).

- **Supplier**  
Supplier adalah pihak yang menyediakan bahan baku dalam produksi. Kerja sama dengan supplier sangat penting dijalin untuk kelancaran pengadaan barang
- **Produsen**  
Produsen adalah pihak yang mengubah bahan baku menjadi produk. proses diatur dengan efisien untuk meminimalkan pemborosan dan menghasilkan produk dengan kualitas bagus
- **Distributor**  
Distributor adalah pihak yang bertanggung jawab sebagai pendistribusian produk ke konsumen akhir. distributor bertanggung jawab dalam memastikan produk sampai ketangan konsumen tepat waktu dan efisien.
- **Pengecer**

Pengecer adalah pihak yang menjual produk ke konsumen akhir, pengecer bertanggung jawab untuk mengelola persediaan dengan baik, serta memberikan layanan yang baik terhadap konsumen akhir

- Konsumen

Konsumen adalah pihak yang menggunakan atau pembeli dari produk. Kepuasan pelanggan menjadi prioritas utama pada rantai pasok, karena kepuasan adalah titik penentu kesuksesan bisnis.

Menurut definisi yang diberikan oleh Chopra dan Meindl (2016), SCM diartikan sebagai pengelolaan aliran barang, informasi, dan uang dari pemasok ke konsumen akhir dengan tujuan menciptakan nilai tambah dan keuntungan melalui koordinasi yang efektif dan efisien di seluruh jaringan pasokan. Ini melibatkan seluruh spektrum aktivitas seperti pengiriman dan pemenuhan pesanan, perolehan bahan mentah, pelacakan pesanan, distribusi informasi, perencanaan kolaboratif, pengukuran kinerja, layanan pelanggan, serta pengembangan produk baru. Dalam pengelolaannya Ada 3 aliran proses dari hulu (*upstream*), hilir (*downstream*), dan sebaliknya dijelaskan pada bukunya Aziz Keila Komala et al. (2024) sebagai berikut:

- Aliran barang dari hulu ke hilir

Aliran ini bersifat satu arah yang mengelola pergerakan fisik dari supplier sampai barang diterima ditangan konsumen akhir.

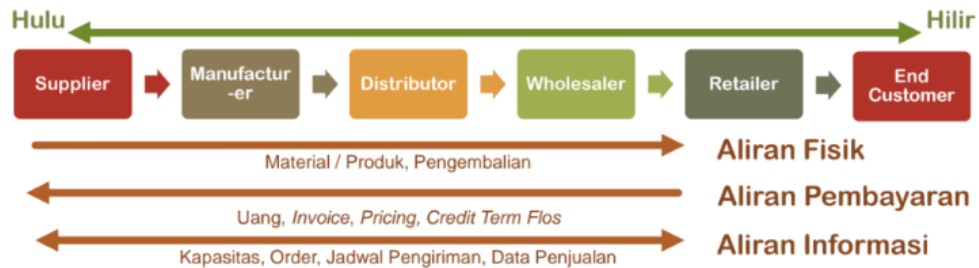
- Aliran uang dari hilir ke hulu

Aliran ini bersifat satu arah dari hilir ke hulu, aliran ini mengelola pergerakan pembayaran uang dari konsumen sampai diterima supplier.

- Aliran informasi dari hulu ke hilir dan sebaliknya

Aliran ini bersifat dua arah hulu ke maupun sebaliknya, aliran ini

mengelola informasi mengenai status pengadaan dan pengiriman dan juga sebaliknya.



Gambar 2.1 Aliran proses Supply Chain

(Ihwan Addin Mufaqih, 2018) menambahkan bahwa manajemen rantai pasokan adalah upaya untuk mengintegrasikan aktivitas-aktivitas kritis dalam rantai pasokan agar selaras dengan permintaan pasar yang dinamis. Ini berarti bahwa SCM harus mampu beradaptasi dengan perubahan permintaan konsumen, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan kelincahan seluruh sistem rantai pasokan. Dengan mengoptimalkan aliran barang dan informasi dari pemasok hingga konsumen akhir, SCM bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi pemborosan, dan memastikan kepuasan pelanggan dengan cara yang lebih responsif dan efektif. Adapun prinsip yang terkait dengan pengelolaan SCM (M.Afdhal Chatra et al., 2023) menjelaskan pada bukunya sebagai berikut:

- Prinsip intergrasi
  - Integrasi dalam SCM mengacu pada penyatuan berbagai fungsi, proses, dan sistem dalam rantai pasok untuk menciptakan aliran informasi dan material yang lebih lancar dan terkoordinasi. Dengan komponen utamanya integrasi Vertikal dimana Menghubungkan aktivitas di berbagai level rantai pasok, dari pemasok hingga pelanggan akhir, Integrasi Horizontal Menyatukan berbagai fungsi atau departemen pada tingkat yang sama untuk efisiensi yang lebih baik dan Integrasi Sistem menggunakan teknologi informasi untuk

menyatukan sistem yang berbeda.

- Prinsip Visibilitas

Visibilitas dalam SCM adalah kemampuan untuk memantau dan melihat status aliran barang, informasi, dan sumber daya di seluruh rantai pasok secara real-time. Dalam komponennya terdapat Transparansi Data untuk Memastikan bahwa semua pihak dalam rantai pasok memiliki akses ke data yang relevan seperti inventaris, status pengiriman, dan permintaan. Pelacakan dan Monitoring Menggunakan teknologi an sistem SCM untuk melacak posisi dan status barang secara real-time.

- Prinsip Responsif

Responsif berarti kemampuan untuk menanggapi perubahan dalam permintaan pasar atau gangguan dalam rantai pasok dengan cepat dan efektif. Terdapat 2 komponen dalam prinsip responsif yaitu: Fleksibilitas Operasional untuk menyesuaikan proses dan kapasitas untuk menghadapi perubahan permintaan atau situasi darurat dan Kecepatan Tanggapan untuk Mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk merespons perubahan atau masalah dalam rantai pasok.

- Prinsip Efisiensi

Efisiensi dalam SCM berfokus pada pengoptimalan penggunaan sumber daya dan proses untuk mencapai hasil yang maksimal dengan biaya dan waktu yang minimal. Optimisasi Proses untuk Mengurangi waktu dan biaya dalam setiap tahap rantai pasok melalui penyederhanaan dan pengurangan langkah-langkah yang tidak perlu, Pengelolaan Inventaris Menggunakan strategi seperti Just-In-Time (JIT) untuk mengelola inventaris secara optimal, dan Penggunaan Teknologi untuk Mengadopsi teknologi untuk

mengotomatiskan tugas dan meningkatkan akurasi.

- **Prinsip Pengelolaan Risiko**

Pengelolaan risiko dalam SCM adalah proses identifikasi, evaluasi, dan mitigasi risiko yang dapat mempengaruhi aliran barang dan informasi dalam rantai pasok. Pengelolaan ini mencakup Identifikasi Risiko untuk Menilai risiko potensial seperti gangguan pasokan, fluktuasi permintaan, atau masalah logistik. Evaluasi dan Prioritas Risiko untuk Menilai dampak dan kemungkinan terjadinya risiko untuk menentukan prioritas mitigasi. Strategi Mitigasi untuk Mengembangkan dan menerapkan strategi untuk mengurangi dampak risiko, seperti diversifikasi pemasok atau perencanaan kontingensi.

- **Prinsip Komunikasi dan Keterlibatan Stakeholder**

Prinsip ini berfokus pada pentingnya komunikasi yang efektif dan keterlibatan dengan semua pihak yang terlibat dalam rantai pasok, termasuk pemasok, pelanggan, dan mitra. Dengan Transparansi untuk Memberikan informasi yang jelas dan akurat kepada semua stakeholder dan Kolaborasi Membangun hubungan yang kuat dan saling menguntungkan dengan stakeholder untuk meningkatkan koordinasi dan kerjasama.

- **Prinsip Kontinuitas Keberlanjutan**

Kontinuitas keberlanjutan mencakup upaya untuk memastikan bahwa operasi rantai pasok dapat berlanjut dalam jangka panjang dengan mempertimbangkan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Dalam komponen utamanya adalah Praktik Ramah Lingkungan untuk Mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas rantai pasok, Keberlanjutan Sosial untuk Memastikan kondisi kerja

yang adil dan etis bagi semua pihak dalam rantai pasok dan Keberlanjutan Ekonomi untuk Menjaga profitabilitas dan efisiensi operasional untuk mendukung keberlanjutan jangka panjang.

- Prinsip evaluasi keberlanjutan

Evaluasi keberlanjutan melibatkan penilaian dan pengukuran terhadap praktik dan dampak keberlanjutan dalam rantai pasok untuk memastikan bahwa tujuan keberlanjutan tercapai. Dalam komponen utamanya adalah Pengukuran Kinerja untuk Menilai kinerja keberlanjutan menggunakan indikator kunci seperti jejak karbon, penggunaan sumber daya, dan kepatuhan terhadap standar sosial, Pelaporan untuk Menyusun laporan keberlanjutan yang transparan dan akurat untuk berbagai pemangku kepentingan dan Perbaikan Berkelanjutan untuk Mengidentifikasi area untuk perbaikan dan menerapkan tindakan untuk meningkatkan kinerja keberlanjutan secara berkelanjutan.

- Inovasi keberlanjutan

Inovasi keberlanjutan melibatkan pengembangan dan penerapan solusi baru yang mendukung keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi dalam rantai pasok. Inovasi ini melibatkan inovasi Teknologi untuk mengadopsi teknologi baru untuk mengurangi dampak lingkungan, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi limbah. Proses dan Praktik Baru untuk menerapkan metode dan praktik baru yang lebih berkelanjutan, seperti desain produk ramah lingkungan atau proses produksi yang lebih bersih. Pengembangan Produk Berkelanjutan untuk merancang produk dengan mempertimbangkan siklus hidupnya, termasuk penggunaan bahan yang dapat didaur ulang dan efisiensi energi.

Dengan menerapkan prinsip-prinsip ini secara menyeluruh, organisasi dapat meningkatkan kinerja rantai pasok mereka, mengelola risiko dengan lebih baik, dan mencapai tujuan keberlanjutan yang lebih ambisius.

## **2.2 Rantai Pasok PT INAGI**

Berikut adalah penjelasan yang lebih rinci dan relevan terkait aktivitas, data penting, serta risiko pada setiap aliran rantai pasokan PT. INAGI Manufacturing:

### **1. Supplier**

Tahap pemasok berperan penting dalam menyediakan bahan baku yang diperlukan untuk produksi mesin agrokomples. Bahan baku ini meliputi logam, komponen elektronik, suku cadang mekanik, pelumas, hingga bahan kimia tertentu untuk proses finishing. Proses pengadaan melibatkan negosiasi harga, pengaturan pengiriman, serta pemeriksaan kualitas untuk memastikan spesifikasi bahan baku terpenuhi sesuai standar perusahaan. PT. INAGI bekerja sama dengan pemasok lokal maupun internasional untuk memenuhi kebutuhan bahan baku berkualitas tinggi yang tidak selalu tersedia secara domestik. PT. INAGI memiliki jaringan pemasok yang terdiri dari 10 pemasok lokal dan 5 pemasok internasional. Waktu Pengiriman untuk pemasok Lokal: 10–15 hari kerja, bergantung pada jarak lokasi pemasok dan untuk pemasok Internasional: 30–45 hari, dengan tambahan waktu untuk proses bea cukai. Pengujian dilakukan pada setiap batch bahan baku untuk memastikan kesesuaian spesifikasi teknis.

### **2. Manufacturer**

Tahap manufaktur adalah inti dari rantai pasokan, di mana bahan baku diproses menjadi produk jadi melalui berbagai tahapan, termasuk desain, pemotongan, perakitan, pengujian, dan

pengemasan. Teknologi modern, seperti mesin otomatis dan perangkat lunak berbasis AI, digunakan untuk memastikan efisiensi dan presisi tinggi dalam proses produksi. Saat ini, PT. INAGI mampu memproduksi hingga 100 unit mesin per bulan. Jumlah ini dapat ditingkatkan jika terdapat lonjakan permintaan, meskipun membutuhkan waktu untuk mengalokasikan sumber daya tambahan. Teknologi Produksi Menggunakan mesin CNC (Computer Numerical Control) untuk proses perakitan presisi tinggi. Tenaga Kerja Total 120 karyawan, 72 karyawan di lini produksi (60%) dan sisanya di departemen lain seperti logistik, pengujian, dan pemasaran.

### 3. Retailer

Distribusi produk dilakukan melalui jaringan retailer dan distributor lokal, yang melayani pelanggan di berbagai wilayah domestik. Selain itu, produk diekspor ke negara-negara di Asia Tenggara melalui saluran bisnis internasional. PT. INAGI juga menggunakan platform digital untuk menjangkau pasar yang lebih luas, termasuk transaksi melalui business-to-business (B2B). 70% produk dijual melalui distributor yang berlokasi di Jawa Timur, Jawa Tengah, Bali, dan Kalimantan, 30% produk diekspor ke negara-negara ASEAN, seperti Malaysia, Singapura, dan Thailand. Pengiriman dilakukan melalui jalur darat, laut, dan udara, bergantung pada lokasi pelanggan.

### 4. Customer

Konsumen akhir menggunakan produk PT. INAGI, seperti mesin pertanian dan perikanan, untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional mereka. Layanan purna jual, seperti pelatihan dan pemeliharaan, disediakan untuk mendukung kepuasan

pelanggan.60% pelanggan adalah usaha kecil dan menengah (UKM) yang bergerak di sektor agroindustri, 40% pelanggan adalah perusahaan besar, institusi pemerintah, atau koperasi.

### **2.3 Sustainable Supply Chain Management**

Managemen rantai pasok berkelanjutan adalah pendekatan sistematis terhadap manajemen rantai pasokan yang berfokus pada pengintegrasian prinsip-prinsip keberlanjutan untuk mengatasi seluruh dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi (M.Afdhal Chatra et al., 2023). Pendekatan ini mencakup perancangan proses yang bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meminimalkan limbah dan emisi, serta memastikan kondisi kerja yang adil dan etis di seluruh jaringan pasokan (Martono, R. V. et al., 2022). Dengan mengadopsi prinsip-prinsip keberlanjutan ini, tujuan utamanya adalah menciptakan nilai jangka panjang yang seimbang yang mencakup manfaat ekonomi, tanggung jawab sosial, dan perlindungan lingkungan (Dewi Pratiwi Indisari et al., 2023). Hal ini mencerminkan strategis tidak hanya untuk mencapai hasil finansial yang optimal, namun juga berkontribusi terhadap kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan dan kelestarian lingkungan (Carter dan Rogers, 2008). Menurut Green et al. (2012) dan Ortas (2014), perusahaan yang menghadapi persaingan ketat dalam rantai pasokan dapat mengatasi tantangan tersebut dengan mengadopsi praktik manajemen rantai pasokan berkelanjutan. Pengimplementasian praktik-praktik ini dapat memperkuat daya saing dan meningkatkan kinerja perusahaan dalam jangka panjang, menjadikannya sebagai strategi penting dalam menghadapi dinamika pasar yang kompleks dan menuntut. Dalam bukunya Ahmad H et al. (2021) memeberikan penjelasan tentang elemen-elemen yang terkait praktik keberlanjutan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Elemen Rantai Pasok Berkelanjutan

- Financial responsibility  
Elemen ini menjelaskan terkait keuangan untuk saham ,pelanggan,karyawan,lembaga keuangan,mitra bisnis serta entitas lain sebagai pemasok. Tujuannya untuk menunjang finansial perusahaan untuk peningkatan peluang dalam persaingan yang kompetitif.
- Environmental responsibility  
Elemen ini menjelaskan terkait kebutuhan ekologi pada perusahaan atas penguunaan sumber daya alam dalam produksi dan jasa.Dengan tujuan meninggalkan jejak lingkungan agar dapat digunakan generasi mendatang.
- Sosial responsibility  
Elemen ini menjelaskan terkait pemenuhan ekspetasi moral dalam rantai pasokan.Dalam tujuan untuk perusahaan dapat terlibat kemanusiaan logistik dari titik awal perencanaan ,pelaksanaan,dan pengendalian dan penyimpanan barang dan bahan seacara efisien dari

titik awal hingga akhir titik konsumsi.

## 2.4 Risiko

Risiko dapat diartikan sebagai hambatan atau rintangan yang menghalangi pencapaian suatu tujuan (I Putu Sugih Arta, 2021). Rintangan ini bisa berasal dari berbagai sumber, baik internal maupun eksternal, tergantung pada kondisi dan situasi yang spesifik. Secara ilmiah, risiko dijelaskan sebagai hasil dari interaksi antara beberapa faktor, yaitu kejadian yang sering terjadi, kemungkinan terjadinya, dan dampak dari bahaya risiko yang timbul (Dr. Harbani Pasolong, 2023). Status resiko ditentukan berdasarkan kombinasi kemungkinan terjadi/probability dan dampak terjadinya risiko. Sesuai dengan ISO 31000:2018 Leo J susilo (2021) dalam bukunya mengategorikan risiko sebagai berikut:

- Sasaran merupakan sesuatu yang akan dicapai baik sasaran finansial, produksi, proyek dan sebagainya. Sasaran ini Sasaran (objective) adalah tujuan spesifik yang ingin dicapai dalam jangka waktu tertentu dan dapat mencakup berbagai bidang seperti finansial, produksi, proyek dan sebagainya.
- Ketidakpastian adalah kondisi di mana hasil atau situasi tidak jelas dan sulit diprediksi karena adanya berbagai kemungkinan yang tidak dapat dipastikan. Ketidakpastian terjadi ketika informasi yang tersedia tidak cukup untuk membuat prediksi yang akurat, atau ketika faktor-faktor yang mempengaruhi hasil terlalu kompleks dan berubah-ubah. Peristiwa yang dapat menimbulkan ketidakpastian antara lain bencana alam, perilaku manusia, dan dinamika organisasi yang semuanya dapat menyebabkan kondisi berubah dengan cepat dan tidak dapat diprediksi.
- Dampak merupakan akibat yang timbul dari suatu peristiwa atau tindakan, yang dapat berupa deviasi atau penyimpangan dari kondisi

yang diharapkan. Dampak ini bisa bersifat negatif, seperti kerugian atau kerusakan, maupun positif, seperti keuntungan atau perbaikan.

Risiko dihubungkan dengan kemungkinan terjadinya akibat buruk (kerugian) yang tidak diinginkan atau tidak diduga. Kemungkinan itu sudah menunjukkan adanya ketidakpastian. Berikut adalah ringkasan dan penjelasan dari pernyataan I Putu Sugih Arta (2021) mengenai ketidakpastian dan risiko serta faktor-faktor yang berkontribusi pada ketidakpastian dalam pengambilan keputusan:

- Ketidakpastian sebagai Penyebab Risiko:
  - Risiko muncul akibat adanya ketidakpastian. Sebaliknya, ketidakpastian merupakan kondisi yang menyebabkan timbulnya risiko.
  - Ketidakpastian menyebabkan keraguan dalam pengambilan keputusan karena sulitnya memprediksi hasil masa depan dengan akurat.
- Faktor-Faktor Penyebab Ketidakpastian dalam Pengambilan Keputusan:
  - Gap atau Jarak Kritis antara Perencanaan dan Target terjadi ketika ada perbedaan signifikan antara rencana kegiatan dan target yang disepakati, atau ketika rentang waktu perencanaan semakin melebar. Hal ini membuat sulit untuk mengatur dan memprediksi hasil secara efektif.
  - Kurangnya data yang memadai dalam proses perencanaan dapat menambah ketidakpastian karena keputusan dibuat dengan informasi yang tidak lengkap atau kurang akurat.
- Teknik Pengambilan Keputusan yang Tidak Tepat:
  - Ketidakpastian dapat muncul jika pengambilan keputusan dilakukan tanpa menggunakan teknik yang tepat, sering kali

disebabkan oleh keterbatasan kemampuan para pengelola. Hal ini mengakibatkan keputusan yang kurang valid dan dapat meningkatkan risiko.

## 2.5 Sustainable Supply Chain Risk Management

Manajemen risiko rantai pasok berkelanjutan dapat diartikan sebagai upaya untuk meminimalkan kerusakan dengan meningkatkan ketahanan terhadap bahaya, sekaligus mendorong efisiensi ekonomi, kesejahteraan sosial, dan perbaikan lingkungan dalam jangka panjang. Strategi keberlanjutan ini melibatkan evaluasi berbagai kriteria dalam proses optimasi untuk mendukung pengambilan keputusan yang efektif (Edjossan-Sossou et al., 2020). Dalam konteks manajemen risiko rantai pasokan berkelanjutan, penting untuk mengidentifikasi dan mengendalikan risiko bisnis dengan memperhatikan prinsip Triple Bottom Line, yang mencakup aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi (M. Afdhal Chatra et al., 2023). Sabri dan Beamon (2000) mendefinisikan manajemen risiko rantai pasokan berkelanjutan sebagai proses strategis yang mengintegrasikan analisis risiko dengan praktik keberlanjutan. Definisi ini menekankan pentingnya pengelolaan risiko terkait lingkungan dan sosial secara efektif di seluruh siklus hidup rantai pasokan untuk mencapai hasil yang optimal. Tahapan yang dilakukan dalam manajemen risiko rantai pasokan berkelanjutan, menurut Giannakis dan Papadopoulos (2016), meliputi:

- **Identifikasi Risiko**

Melakukan identifikasi risiko yang berpotensi mempengaruhi rantai pasokan dari perspektif keberlanjutan, termasuk risiko lingkungan, sosial, dan ekonomi.

- **Penilaian Risiko**

Menganalisis dan menilai tingkat risiko dengan mempertimbangkan dampak potensial pada seluruh rantai pasokan, serta sejauh mana risiko tersebut dapat mempengaruhi tujuan keberlanjutan perusahaan.

- **Pengembangan Strategi Mitigasi**

Merancang strategi mitigasi yang komprehensif untuk mengurangi atau menghilangkan risiko yang teridentifikasi. Ini mencakup implementasi praktik ramah lingkungan, peningkatan kesejahteraan sosial, serta penguatan aspek ekonomi dari rantai pasokan.

- **Implementasi dan Pemantauan**

Mengimplementasikan strategi mitigasi yang dirancang dan melakukan pemantauan secara berkala untuk memastikan efektivitas strategi dalam mengendalikan risiko dan mendukung keberlanjutan.

- **Evaluasi dan Perbaikan**

Mengevaluasi hasil dari strategi yang diimplementasikan dan melakukan perbaikan terus-menerus untuk menyesuaikan dengan dinamika lingkungan, sosial, dan ekonomi yang berubah-ubah.

Dalam manajemen risiko rantai pasokan berkelanjutan, penting untuk mempertimbangkan berbagai kriteria risiko yang mencakup dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi.

- Risiko Lingkungan

Melibatkan dampak negatif dari penggunaan bahan dan proses yang tidak ramah lingkungan, ketidakmampuan untuk memenuhi standar pengujian dan prototyping yang efisien, serta kurangnya perhatian terhadap kesehatan dan keselamatan. Dampak ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, penerapan regulasi yang lebih ketat, dan peningkatan biaya operasional. Selain itu, bencana alam seperti gempa bumi, kebakaran, banjir, dan badai dapat merusak infrastruktur dan mengganggu operasi rantai pasokan. Fluktuasi mata uang, inflasi, dan krisis minyak juga dapat mempengaruhi biaya operasional dan strategi lingkungan perusahaan, termasuk kebijakan pengelolaan limbah padat dan emisi CO<sub>2</sub>, yang memengaruhi cara perusahaan mengelola dampak lingkungan dari kegiatan mereka (Khalid A. Eldrandaly et al., 2022; Muhammad Junaid et al., 2019; Fahim ul Amin et al., 2022).

- Risiko Sosial

Mencakup kekurangan dalam penerapan tanggung jawab sosial perusahaan, penerapan peraturan pemerintah yang tidak memadai, serta kurangnya tekanan sosial yang memadai. Risiko ini juga mencakup rendahnya penerimaan konsumen terhadap produk remanufaktur karena anggapan bahwa kualitasnya lebih rendah dibandingkan produk baru, ketidakstabilan politik yang menyebabkan perubahan kebijakan ekonomi yang berdampak pada bisnis remanufaktur, kelalaian konsumen dalam mengembalikan produk bekas, perbedaan tujuan antara produsen dan pemerintah

yang mempengaruhi efektivitas implementasi remanufaktur, kurangnya pengetahuan teknologi pekerja, dan tantangan dalam integrasi antara pemasok, konsumen, dan usaha patungan yang dapat mempengaruhi efektivitas rantai pasokan remanufaktur (Aquib Irteza Reshad et al., 2022; Ansari et al., 2020).

- Risiko Ekonomi

Mencakup berbagai aspek penting yang mempengaruhi stabilitas dan keberlangsungan operasional perusahaan. Ini melibatkan kemampuan perusahaan untuk memenuhi kewajiban keuangan, kestabilan operasional yang tercermin dari konsistensi dalam durasi operasional, serta profitabilitas yang diukur melalui pengembalian ekuitas dan efisiensi penggunaan aset. Selain itu, risiko ini juga mencakup solvabilitas perusahaan yang dinilai dari rasio cakupan bunga, rasio aset-liabilitas, dan rasio lancar. Aspek-aspek ekonomi yang relevan meliputi stabilitas pasar keuangan, frekuensi penggunaan pembiayaan rantai pasokan, kestabilan jaminan dan piutang, serta tantangan yang dihadapi dalam kerjasama internal. Investasi dalam teknologi informasi juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan kemampuan respons terhadap risiko ekonomi (Peiwen Wang et al., 2022). Risiko keberlanjutan rantai pasokan dapat muncul di berbagai titik atau komponen dalam proses tersebut. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan kajian literatur yang mendalam mengenai risiko yang terjadi dalam keberlanjutan rantai pasok. Berdasarkan berbagai literatur yang relevan dengan konsep keberlanjutan, terutama dalam studi kasus manufaktur

agrokompleks, risiko-risiko ini dapat dikelompokkan berdasarkan kategori utama, deskripsi, sub-risiko, penyebab, serta dampak yang dihasilkan.

## 2.6 Penentuan variabel penelitian

Proses penentuan variabel penelitian yakni dengan melakukan identifikasi faktor risiko pada setiap anggota rantai pasok berkelanjutan produk keju mozzarella di PT INAGI. Penentuan variabel penelitian akan dikelompokkan berdasarkan empat pilar dari keberlanjutan yang meliputi aspek ekonomi, sosial, teknis, dan lingkungan. Hasil penelitian variabel penelitian ini akan digunakan dalam menyusun kuesioner Fuzzy CRITIC. Berdasarkan studi literatur dan penelitian pendahuluan di PT INAGI didapatkan beberapa komponen risiko yang terjadi di bagian rantai pasok yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Variabel penelitian supplier

Tahapan	Dimensi SSCM	Faktor Risiko	Variabel Risiko	Sumber
Supplier	Ekonomi	Fluktuasi harga bahan baku	Harga logam dan komponen elektronik dipengaruhi oleh pasar global dan kurs mata uang.	
		Keterlambatan pengiriman	Hambatan logistik akibat cuaca buruk atau regulasi impor.	
		Ketergantungan pada pemasok tunggal	Risiko terganggunya rantai pasok jika pemasok utama menghadapi masalah.	
	Lingkungan	Pemenuhan standar keberlanjutan	Pemasok tidak memiliki sertifikasi	

			ramah lingkungan, seperti ISO 14001.
		Transportasi bahan baku beremisi tinggi	Moda transportasi pemasok meningkatkan jejak karbon.
	Sosial	Ketidakadilan dalam hubungan kerja	Pemasok menggunakan buruh dengan upah rendah atau praktik tidak etis lainnya.
		Konflik dengan masyarakat lokal	Aktivitas pengadaan bahan baku menimbulkan konflik dengan komunitas sekitar.

Tabel 2.2 Variabel penelitian manufacturer

Tahapan	Dimensi SSCM	Faktor Risiko	Variabel Risiko	Sumber
Manufacturer	Ekonomi	Keterbatasan kapasitas produksi	Ketidakmampuan memenuhi permintaan mendadak karena keterbatasan sumber daya.	
		Kerusakan mesin produksi	Kerusakan mesin otomatis mengganggu jadwal produksi dan menambah biaya.	
	Lingkungan	Limbah bahan baku	Limbah logam atau kimia yang tidak terkelola dengan baik mencemari lingkungan.	
		Konsumsi energi tinggi	Proses produksi membutuhkan energi	

			besar, meningkatkan jejak karbon.
	Sosial	Risiko K3	Kecelakaan kerja di fasilitas produksi akibat kurangnya protokol keselamatan.
		Kekurangan tenaga kerja terampil	Kualitas produk menurun akibat tenaga kerja yang kurang kompeten.

Tabel 2.3 Variabel penelitian retailer

Tahapan	Dimensi SSCM	Faktor Risiko	Variabel Risiko	Sumber
Retailer	Ekonomi	Ketergantungan pada distributor lokal	Kurangnya kendali perusahaan terhadap kinerja distributor.	(Chien & Shih, 2022);
		Biaya distribusi tinggi	Harga bahan bakar dan infrastruktur buruk meningkatkan biaya logistik.	
	Lingkungan	Emisi karbon dalam distribusi	Transportasi ke wilayah jauh meningkatkan emisi karbon.	
		Ketergantungan pada energi tidak terbarukan	Moda transportasi menggunakan energi fosil yang tidak ramah lingkungan.	
	Sosial	Kurangnya kepercayaan pada distributor	Distributor lokal tidak kompeten dapat merusak reputasi perusahaan.	

## 2.7 Penilaian Resiko

Penilaian risiko yang efektif harus mencakup analisis mendalam tentang probabilitas terjadinya, dampak yang mungkin terjadi, dan efektivitas pengendalian. Pendekatan ini memastikan bahwa risiko diprioritaskan secara tepat dan tindakan mitigasi diterapkan secara efektif. Retna Kristiana (2022) menekankan bahwa penilaian risiko harus mencakup baik kuantitas (probabilitas dan dampak) maupun kualitas (pengendalian). Ia menyarankan penggunaan pendekatan berbasis matriks untuk memvisualisasikan dan memprioritaskan risiko. Menurut Gusnafitri, et al., (2024) Berpendapat bahwa pemahaman mendalam tentang probabilitas dan dampak adalah fundamental, tetapi menilai kualitas pengendalian sangat penting untuk menentukan seberapa baik risiko dapat dikelola. Ia merekomendasikan penggunaan model matriks risiko untuk menyederhanakan dan memprioritaskan risiko. Dalam penelitian ini, tiga kriteria evaluasi utama digunakan untuk menilai risiko yang telah diidentifikasi:

1. Probabilitas Terjadinya Risiko  
Mengukur kemungkinan bahwa risiko tertentu akan terjadi dalam rantai pasok.
2. Dampak Risiko  
Mengevaluasi potensi kerugian atau konsekuensi negatif yang dapat diakibatkan oleh risiko tersebut.
3. Efektivitas Pengendalian Risiko  
Menilai sejauh mana tindakan pengendalian yang diterapkan dapat mengurangi atau mengelola risiko hingga mencapai tingkat yang dapat diterima.

## 2.8 MCDM

Multi-Criteria Decision Making (MCDM) adalah pendekatan sistematis yang digunakan untuk membuat keputusan ketika menghadapi berbagai kriteria yang seringkali bersifat konflik atau tidak dapat diukur dengan satu ukuran tunggal. Dalam konteks ini, pengambil keputusan harus mempertimbangkan berbagai aspek yang mungkin saling bertentangan untuk menentukan alternatif yang paling optimal. MCDM menyediakan alat dan teknik yang memungkinkan penilaian, perbandingan, dan pemilihan alternatif berdasarkan kriteria yang relevan (Yazdani et al., 2019). Menurut Indre Siksnyte et al., (2020) MCDM sangat relevan dalam konteks keberlanjutan karena isu-isu keberlanjutan melibatkan berbagai dimensi lingkungan, sosial, dan ekonomi yang harus dievaluasi secara komprehensif. Keputusan yang berkaitan dengan keberlanjutan sering kali melibatkan trade-off antara manfaat jangka panjang dan biaya, serta dampak terhadap berbagai pemangku kepentingan. dalam studinya, Rostamzadeh (2018) menggunakan teknik preferensi kemiripan solusi ideal untuk mengevaluasi alternatif dan memilih solusi yang paling sesuai dalam konteks keberlanjutan. Ini menunjukkan bagaimana MCDM dapat diterapkan untuk mengelola risiko dan mengevaluasi alternatif dalam lingkungan industri.

## 2.9 Fuzzy pythagorean

Fuzzy Pythagorean merupakan pengembangan dari teori *fuzzy set* yang diperkenalkan oleh Zadeh pada tahun 1965. Metode Fuzzy Pythagorean adalah salah satu pendekatan dalam logika fuzzy yang digunakan untuk menangani ketidakpastian dan ambiguitas dalam proses pengambilan keputusan, terutama ketika data bersifat kualitatif atau tidak pasti Yager, R. R. (2013). Pendekatan ini merupakan pengembangan dari logika fuzzy biasa dan terkait dengan konsep Pythagorean Fuzzy Set (PFS), yang diperkenalkan untuk mengatasi keterbatasan

intuitionistic fuzzy sets (IFS) Rajkumar Verma et al. (2018). Dalam PFS, tingkat keanggotaan ( $\mu$ ) dan non-keanggotaan ( $\nu$ ) untuk setiap elemen tidak hanya memenuhi persyaratan  $\mu + \nu \leq 1$  seperti pada IFS, tetapi diperluas menjadi tetapi diperluas menjadi ekspansi ini memungkinkan PFS untuk menangkap lebih banyak ketidakpastian melalui parameter tambahan yang disebut "hesitancy" ( $\pi$ ). Hesitancy ini dihitung menggunakan PFS memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam pengambilan keputusan yang melibatkan data yang ambigu atau tidak pasti. Dalam PFS, operator agregasi digunakan untuk menggabungkan berbagai nilai fuzzy berdasarkan bobot tertentu. Berikut adalah penjabaran definisi dan operasi fuzzy pythagorean menurut (Yager, RR, 2013).

#### 1. Definisi Pythagorean Fuzzy Number (PFN)

Konsep ini digunakan untuk menangani ketidakpastian yang lebih kompleks dalam sistem pengambilan keputusan berbasis fuzzy, yang tidak hanya mempertimbangkan derajat keanggotaan dan ketidak keanggotaan, tetapi juga ketidak pastian yang tersisa. PFN didefinisikan sebagai berikut :

$$X_p = \{u, \mu_{x_p}(u), \nu_{x_p}(u) | u \in U\}, \quad (1)$$

dengan:

- ◆  $\mu_{x_p}(u)$ : Derajat keanggotaan (membership degree).
- ◆  $\nu_{x_p}(u)$ : Derajat ketidaksetaraan (non-membership degree).
- ◆ Kondisi:

$$0 \leq \mu_{x_p}(u)^2 + \nu_{x_p}(u)^2 \leq 1 \quad (2)$$

Derajat ketidaktentuan ( $\pi_{x_p}(u)$ ) didefinisikan sebagai:

$$\pi_{x_p}(u) = \sqrt{1 - \mu_{x_p}(u)^2 - \nu_{x_p}(u)^2} \quad (3)$$

Konsep ini digunakan untuk menangani ketidakpastian yang lebih kompleks dalam sistem pengambilan keputusan berbasis fuzzy, yang tidak hanya

mempertimbangkan derajat keanggotaan dan ketidakkeanggotaan, tetapi juga ketidakpastian yang tersisa.

## 2 Operasi pada PFNs

Terdapat beberapa operasi penting yang dapat dilakukan pada PFN, yang memungkinkan manipulasi dan perhitungan lebih lanjut dalam konteks analisis fuzzy (Yager,RR,2013):

- Penjumlahan dua PFNs ( $X_p \oplus Y_p$ ):

$$(X_p \oplus Y_p) = (\{\mu_{x_p}^2 + \mu_{y_p}^2 - \mu_{x_p}^2 \mu_{y_p}^2\}^{1/2}, \{v_{x_p}^2 + v_{y_p}^2 - v_{x_p}^2 v_{y_p}^2\}^{1/2}) \quad (4)$$

Dimana penjumlahan ini dilakukan dengan menggunakan rumus operasi pada derajat keanggotaan dan ketidak keanggotaan dari kedua PFN.

- Perkalian dua PFNs ( $X_p \otimes Y_p$ ):

$$(X_p \otimes Y_p) = (\mu_{x_p} \mu_{y_p}, (v_{x_p}^2 + \mu_{y_p}^2 - v_{x_p}^2 v_{y_p}^2)^{1/2}) \quad (5)$$

Operasi ini dilakukan pada derajat keanggotaan, ketidakkeanggotaan, dan ketidaktentuan, mengkombinasikan kontribusi dari kedua PFNs.

- Perkalian dengan Skalar

Perkalian sebuah PFN dengan skalar positif ( $\lambda > 0$ ):

$$\lambda \cdot X_p = (1 - (1 - \mu_{x_p}^2)^\lambda)^{1/2}, (1 - (1 - v_{x_p}^2)^\lambda)^{1/2} \quad (6)$$

Operasi ini mengubah derajat keanggotaan dan ketidakkeanggotaan PFN sesuai dengan faktor pengali  $\lambda$

- Pangkat PFN

Untuk pangkat  $\lambda > 0$  PFN menjadi:

$$X_p^2 = (\mu_{x_p}^2)^\lambda, (v_{x_p}^2)^\lambda, \sqrt{1 - (\mu_{x_p}^2)^\lambda - (v_{x_p}^2)^\lambda} \quad (7)$$

Pangkat ini memperhitungkan pengaruh dari faktor eksponen terhadap derajat keanggotaan dan ketidakkeanggotaan.

#### 5 Pythagorean Weighted Geometric Mean (PWGM)

$$PWGM(X_{p_1}, \dots, X_{p_n}) = \prod_{i=1}^n (\mu_{x_{p_i}}^{w_i}, v_{x_{p_i}}^{w_i}) \quad (8)$$

Dimana  $w_i$  adalah bobot masing-masing PFN, dengan  $w_i \in [0,1]$  dan  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ . PWGM digunakan untuk memperoleh nilai rata-rata berbobot yang menggambarkan karakteristik keseluruhan dari sekumpulan PFN.

#### 6 Defuzzykasi PFN

Nilai defuzzifikasi menggunakan operator ( $S(x_p)$ ):

$$(S(x_p)) = \mu_{x_p}^2 - v_{x_p}^2 \quad (9)$$

Proses defuzzifikasi ini digunakan untuk menghasilkan nilai crisp (tegas) dari sebuah PFN, yang memudahkan dalam pengambilan keputusan.

#### 7 Jarak Euclidean yang Dinormalisasi

$$D(x_p, Y_p) = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{2n}} \sum_{i=1}^n (\mu_{x_p} - \mu_{Y_p})^2 + (v_{x_p} - v_{Y_p})^2 + (\pi_{x_p} - \pi_{Y_p})^2} \quad (10)$$

Jarak ini digunakan untuk mengukur seberapa besar perbedaan antara dua PFN, yang penting dalam proses pengambilan keputusan atau perbandingan alternatif.

## 2.10 Evaluasi Evaluasi Bobot Kriteria dengan Pythagorean Fuzzy CRITIC

Metode Fuzzy CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) merupakan pendekatan yang digunakan untuk menilai bobot kriteria dalam pengambilan keputusan multikriteria, dengan memperhatikan ketidakpastian dan korelasi antar kriteria. Menurut Deng (2016), metode ini memanfaatkan bilangan fuzzy untuk menggambarkan ketidakpastian dalam penilaian, di mana bilangan fuzzy tersebut menggantikan nilai numerik pasti untuk mengakomodasi keraguan dan interpretasi subjektif para pengambil keputusan. Selain itu, Zhang dan Zhao (2018) menyatakan bahwa Fuzzy CRITIC tidak hanya menghitung bobot kriteria berdasarkan standar deviasi dan korelasi antar kriteria, tetapi juga mempertimbangkan ketidakpastian yang terkandung dalam setiap evaluasi, sehingga menghasilkan bobot yang lebih akurat dan representatif dalam konteks pengambilan keputusan yang kompleks. Dengan demikian, metode ini sangat berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk manajemen risiko, di mana berbagai faktor yang saling terkait harus dipertimbangkan dalam menentukan prioritas dan keputusan strategis. Berikut adalah penjabaran rumus dan langkah-langkah dari metode Pythagorean Fuzzy CRITIC untuk penentuan bobot kriteria dalam evaluasi keputusan (Adnan et al., 2023):

### 1. Skala Linguistik untuk Bilangan Fuzzy Pythagorean

Para ahli keputusan menggunakan istilah linguistik untuk mengevaluasi alternatif berdasarkan kriteria. Istilah-istilah ini kemudian dikonversi menjadi bilangan fuzzy Pythagorean ( $\mu, \nu$ ), yang direpresentasikan sebagai berikut:

Tabel 2.4 Tabel skala linguistik

Skala linguistik tern	Pythagorean Fuzzy number
Sangat Rendah(SR)	(0.15, 0.95)

Rendah(R)	(0.25, 0.90)
Sedang Rendah(SR)	(0.30, 0.85)
Sedang(S)	(0.35, 0.75)
Sedang Tinggi(ST)	(0.45, 0.65)
Tinggi(T)	(0.60, 0.50)
Sangat Tinggi(ST)	(0.70, 0.35)

## 2. Penggabungan Evaluasi Fuzzy

Evaluasi linguistik dari para ahli keputusan diubah menjadi bilangan fuzzy Pythagoras melalui Tabel 1. Kemudian, semua matriks digabungkan untuk memperoleh satu matrik penilaian kandidat fuzzy Pythagoras  $\tilde{M}$ .

$$\tilde{M}_{m \times n} = \begin{pmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \tilde{r}_{13} & \dots & \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \tilde{r}_{23} & \dots & \tilde{r}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{r}_{m1} & \tilde{r}_{m2} & \tilde{r}_{m3} & \dots & \tilde{r}_{mn} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Dimana  $\tilde{r}_{ij} = \mu_{ij}, v_{ij}$  adalah elemen-elemen  $\tilde{M}$ ; evaluasi alternatif  $x_i (i = 1, 2, \dots, m)$  terhadap kriteria  $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$  dinyatakan sebagai  $\tilde{M} = C_j(X_i)_{m \times n}$  dengan  $\mu_{ij}$  dan  $v_{ij}$  masing-masing merupakan derajat keanggotaan (membership degree) dan derajat ketidak keanggotaan (non-membership degree) untuk kandidat ke-i dan kriteria ke-j..

## 3. Normalisasi Matriks

Setelah matriks keputusan terbentuk, langkah berikutnya adalah normalisasi matriks untuk memastikan bahwa nilai-nilai dalam matriks tersebut berada dalam rentang yang sama, memungkinkan perbandingan antar kriteria.  $\tilde{M}$  dinormalisasi dengan menggunakan Persamaan (12) dan (13) untuk atribut positif dan negatif.

Untuk normalisasi atribut positif, rumus yang digunakan adalah:

$$x_{ij} = \frac{\tilde{r}_{ij} - r_i^-}{r_i^+ - r_i^-}, i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (12)$$

Untuk atribut negatif, rumusnya adalah:

$$x_{ij} = \frac{\tilde{r}_{ij} - r_i^+}{r_i^+ - r_i^-}, i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (13)$$

Dimana  $x_{ij}$  adalah nilai normalisasi dari  $r_{ij} r_i^+ = \max(r_1, r_1, \dots, r_m)$ ;  $r_i^- = \min(r_1, r_1, \dots, r_m)$ . Nilai  $r_i^+$  dan  $r_i^-$  diperoleh berdasarkan nilai defuzzifikasi dengan menggunakan Persamaan (9). Jarak Euclidean yang dinormalisasi, seperti yang diberikan dalam Persamaan (10), digunakan untuk memperoleh bagian pembilang (nominator) dan penyebut (denominator) dari persamaan di atas.

#### 4. Perhitungan Koefisien Korelasi

Pada langkah ini, kita menghitung koefisien korelasi antara setiap pasangan atribut untuk melihat seberapa besar hubungan antara kriteria yang satu dengan kriteria yang lainnya. Koefisien korelasi  $\rho$  dihitung menggunakan rumus:

$$\rho_j^k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_{jk})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_{jk})^2}} \quad (14)$$

Di mana  $\bar{x}_j$  dan  $\bar{x}_k$  adalah nilai rata-rata dari atribut ke-j dan ke-k, dan  $\bar{x}_j$  diperoleh dengan menggunakan Persamaan (15).  $\bar{x}_j$  juga diperoleh dengan cara yang sama.

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

#### 5. Perhitungan Deviasi Standar

Deviasi standar  $\sigma_j$  digunakan untuk mengukur sejauh mana nilai-nilai dalam satu kriteria menyebar dari rata-ratanya. Rumusnya adalah:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}, i=1,2,\dots,m \quad (16)$$

Dimana:

- ◆ n adalah jumlah alternatif.
- ◆  $x_{ij}$  adalah nilai ternormalisasi untuk alternatif i pada kriteria j.
- ◆  $\bar{x}_j$  adalah rata-rata nilai ternormalisasi untuk kriteria j.

#### 6. Perhitungan Indeks C

Indeks  $C_j$  untuk setiap kriteria dihitung untuk mengukur kontribusi relatif dari kriteria tersebut terhadap pengambilan keputusan keseluruhan. Rumus untuk indeks  $C_j$  adalah:

$$C_j = \sigma_j \sum_{i=1}^n (1 - p_{jk}), j=1,2,\dots,n \quad (17)$$

Dimana:

- ◆  $p_{jk}$  adalah koefisien korelasi antara kriteria j dan k.
- ◆  $\sigma_j$  adalah deviasi standar untuk kriteria j.

#### 7. Perhitungan Bobot Kriteria

Setelah indeks  $C_j$  dihitung untuk setiap kriteria, bobot kriteria  $w_j$  dihitung dengan rumus:

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{j=1}^m c_j} \quad (18)$$

Bobot ini akan digunakan untuk menentukan seberapa besar kontribusi setiap kriteria dalam proses pengambilan keputusan akhir.

### 2.11 Perankingan Alternatif Menggunakan Fuzzy Topsis

Metode Fuzzy TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) merupakan salah satu teknik pengambilan keputusan multikriteria (Multi-Criteria Decision Making/MCDM) yang dirancang untuk membantu pemecahan masalah dalam situasi ketidakpastian. Chen (2000) menjelaskan bahwa

metode ini mengombinasikan pendekatan *fuzzy* dengan algoritma TOPSIS untuk menangani data subjektif yang sering kali muncul dalam proses evaluasi. Metode ini bekerja dengan menentukan solusi ideal positif (positive ideal solution) dan solusi ideal negatif (negative ideal solution), di mana alternatif terbaik adalah yang memiliki jarak terpendek ke solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif. Dalam penelitian terbaru, Govindan dan Jepsen (2016) menyoroti bahwa Fuzzy TOPSIS sangat efektif untuk pengambilan keputusan dalam sistem yang kompleks, khususnya dalam manajemen risiko rantai pasok berkelanjutan (sustainable supply chain management). Mereka menegaskan bahwa metode ini mampu menangani ketidakpastian dalam data kualitatif yang terkait dengan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Lebih lanjut, Kumar et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi Fuzzy TOPSIS dengan metode CRITIC memberikan bobot kriteria yang lebih obyektif, sehingga meningkatkan keandalan dalam menghasilkan peringkat alternatif. Hasil ini menjadi bukti bahwa metode Fuzzy TOPSIS terus berkembang untuk memenuhi kebutuhan analisis data yang lebih canggih dan adaptif dalam penelitian terkini. Berikut adalah penjelasan lebih rinci dari setiap langkah terkait menggunakan Pythagorean Fuzzy TOPSIS (Adnan et al., 2023):

1. Matriks Keputusan Fuzzy Pythagorean

Matriks keputusan fuzzy Pythagorean  $\tilde{D}$  dihitung dengan mengalikan matriks keputusan fuzzy  $\tilde{M}$  dengan bobot kriteria  $W_j$  yang dihitung menggunakan metode CRITIC. Operasi perkalian fuzzy dilakukan menggunakan fungsi skalar tertentu seperti yang dijelaskan dalam persamaan (6).

2. Defuzzifikasi untuk Solusi Ideal Positif dan Negatif

Proses defuzzifikasi digunakan untuk menghitung nilai solusi ideal positif  $\tilde{X}^+$  dan solusi ideal negatif  $\tilde{X}^-$ . Solusi ideal positif  $\tilde{X}^+$  Memiliki nilai evaluasi

tertinggi untuk setiap kriteria. Solusi ideal negatif  $\tilde{X}^-$  Memiliki nilai evaluasi terendah untuk setiap kriteria. Operator defuzzifikasi yang digunakan dinyatakan dalam rumus (9).

### 3. Menentukan Solusi Ideal Positif dan Negatif

Solusi positif fuzzy Pythagoras  $\tilde{X}^+$  dan solusi ideal negatif  $X^-$  ditentukan berdasarkan nilai-nilai yang telah didefuzzifikasi yang dihitung pada langkah sebelumnya.  $\tilde{X}^+$  dan  $\tilde{X}^-$  didefinisikan sebagai berikut:

- Solusi ideal positif ( $X^+$ ) ditentukan dari nilai evaluasi tertinggi untuk setiap kriteria:

$$\tilde{X}^+ = \{C_{jmax} | S(C_j(X_i)) > 0, j = 1, 2, \dots, n\} \quad (19)$$

- Solusi ideal negatif  $\tilde{X}^-$  adalah nilai evaluasi terendah:

$$\tilde{X}^- = \{C_{jmin} | S(C_j(X_i)) > 0, j = 1, 2, \dots, n\} \quad (20)$$

#### 4. Menghitung Jarak Alternatif $\tilde{X}^+$ dan $\tilde{X}^-$

Proses perhitungan rumus ini diadaptasi dari step 10 .Berikut perhitungan jarak alternatif  $\tilde{X}^+$  dan  $\tilde{X}^-$ :

- Jarak Alternatif  $X_i$  terhadap  $X^+$

$$D(\tilde{x}_i, \tilde{x}^+) = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{2n}} \sum_{i=1}^n (a_{ij} - a_{ij}^+)^2 + (b_{ij} - b_{ij}^+)^2 + (c_{ij} - c_{ij}^+)^2} \quad (21)$$

- Jarak Alternatif  $X_i$  terhadap  $X^-$

$$D(\tilde{x}_i, \tilde{x}^-) = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{2n}} \sum_{i=1}^n (a_{ij} - a_{ij}^-)^2 + (b_{ij} - b_{ij}^-)^2 + (c_{ij} - c_{ij}^-)^2} \quad (22)$$

di mana  $a_i$ ,  $b_i$ , dan  $c_i$  adalah derajat keanggotaan, non-keanggotaan, dan keraguan untuk alternatif ke- $i$  dan kriteria ke- $j$ ;  $n$  adalah jumlah kriteria, dan  $a_j^+$ ,  $b_j^+$ , dan  $c_j^+$  adalah parameter  $\tilde{x}^+$ . Dengan cara yang sama,  $a_j^-$ ,  $b_j^-$ , dan  $c_j^-$  adalah parameter  $\tilde{x}^-$ .

#### 5. Rasio kedekatan CR (Closeness Ratio)

Memberi peringkat semua alternatif menurut nilai skor penilaian mereka yang menurun. Rasio kedekatan (Closeness Ratio) digunakan dalam untuk menentukan peringkat akhir dari alternatif-alternatif berdasarkan kedekatan relatifnya terhadap solusi ideal positif ( $A^+$ ) dan jauh dari solusi ideal negatif ( $A^-$ ).

$$CR = \frac{d(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j^-)}{d(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j^+) + d(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j^-)} \quad (23)$$

## 2.12 Literature Riview

Dalam pengerjaan skripsi ini, beberapa penelitian terkait digunakan sebagai referensi. Hasil penelitian sebelumnya yang dijadikan acuan disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2.5 Literature Review

Penulis	Judul	Metode	Tujuan penelitian
Rizka Septyas Aulia Rahma (2020)	Usulan Perancangan Strategi Mitigasi Risiko Supply Chain Dengan Pendekatan Fuzzy-Analytical Hierarchy Process Dan House Of Rsk	FUZZY- AHP-HOR	Mengidentifikasi potensi dan menganalisis sumber risiko pada rantai pasok pada A Unit Donor Darah PalangMerah INDONESIA
Defi Ariyani (2018)	Perancangan Mitigasi Risiko Pada Supply chain PT. PURA Barutama Divisi Engineering Dengan Pendekatan Fuzzy House Of Risk (FHOR)”	FUZZY-HOR	Memperoleh peta risiko berdasarkan frekuensi dan dampak dari suatu kejadian risiko pada supply chain perusahaan PT. Pura Barutama Divisi Engineering
Muhammad	A Neutrosophic	AHP dan	mengidentifikasi dan

Junaid ,Ye Xue , Muzzammil Wasim Syed , Ji Zu Li 1 dan Muhammad Ziaullah (2019)	AHP and TOPSIS Framework for Supply Chain Risk Assessment in Automotive Industry of Pakistan	TOPSIS	menilai risiko rantai pasokan dan mengembangkan kriteria untuk mengelola risiko industri otomotif di Pakistan.
Samira Salehi Heidari, Mohammad Khanbabaie, Majid Sabzheparvar (2018)	A model for supply chain risk management in the automotive industry using fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy TOPSIS	AHP dan FUZZY- TOPSIS	identifikasi dan pengelolaan risiko untuk mengusulkan model komprehensif manajemen risiko rantai pasokan (SCRM) dalam siklus hidup produk pada industri otomotif iran
Peiwen Wang1, Yan Lin1 and Zhiping Wang2 (2022)	An Integrated BWM-CRITIC Approch Based On Neutrosophic Set For Sustainable Supply Chain Finance Risk Evaluation	BWM, CRITIC	menangani ketidakpastian dan ambiguitas berdasarkan metode terbaik- terburuk kriteria melalui korelasi antarkriteria terhadap risiko keberlanjutan
Reza Rostamzadeh a ,	Evaluation of sustainable	Fuzzy,Topsis- Critic	Untuk tujuan ini, pendekatan

Mehdi Keshavarz, Govindan , Ahmad Esmaeili , Hossein Bodaghi (2018)	supply chain risk management using an integrated fuzzy TOPSIS- CRITIC approach		pengambilan keputusan multikriteria terintegrasi diusulkan berdasarkan teknik dalam urutan preferensi berdasarkan kesamaan dengan solusi ideal dan kriteria pada industri petrokimia Iran
---------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Berdasarkan literatur review diatas, meskipun Fuzzy AHP dan Fuzzy HOR telah banyak digunakan dalam pengelolaan risiko rantai pasok, penggunaan Fuzzy-TOPSIS-CRITIC sebagai metode gabungan belum banyak diterapkan. Metode ini memiliki potensi untuk memberikan pendekatan yang lebih terintegrasi dan fleksibel dalam penilaian risiko dengan menggabungkan keunggulan dari penanganan ketidakpastian dan penetapan bobot kriteria yang objektif. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi penerapan Fuzzy-TOPSIS-CRITIC dalam konteks ini dan untuk mengidentifikasi cara terbaik dalam mengintegrasikan metode ini untuk pengelolaan risiko rantai pasok yang lebih berkelanjutan.