

Analisis Kolaborasi Manusia-AI Untuk Ketahanan SCM yang Berkelanjutan

Huyearka Usady^{*1}, Rizki Surtiyan Surya²

¹⁻² Universitas Muhammadiyah Pontianak

E-mail: huyearka.usady@unmuhpnk.ac.id¹, rizki.surtiyan@unmuhpnk.ac.id²

Abstrak. Penelitian ini menyelidiki persimpangan kritis antara ketahanan dan keberlanjutan rantai pasok, dengan fokus pada peran kolaborasi Manusia-AI sebagai pilar Industri 5.0. Kami melakukan SLR terhadap 18 artikel dan menggunakan analisis tematik untuk menjawab empat rumusan masalah. Temuan menunjukkan hubungan simbiosis yang jelas antara AI yang berfungsi sebagai analis prediktif/optimizer didorong Machine Learning & Decision Support System, sementara Manusia bertindak sebagai validator strategis. Kolaborasi ini berdampak positif pada keberlanjutan lingkungan (pengurangan emisi) dan ekonomi (efisiensi biaya). Namun, kami mengidentifikasi kesenjangan penelitian kritis, pilar keberlanjutan sosial hampir sepenuhnya diabaikan. Tantangan implementasi utama tidak hanya bersifat teknis (kualitas data) tetapi juga organisasional (kesenjangan keterampilan) dan interaksi (kurangnya kepercayaan terhadap AI). Studi ini mengusulkan kebaruan yaitu Model Simbiosis Manusia-AI untuk ketahanan dan keberlanjutan SCM, sebuah kerangka kerja konseptual baru yang memetakan siklus kolaboratif ini. Penelitian ini menggarisbawahi urgensi bagi studi masa depan untuk fokus pada dimensi sosial yang terabaikan dan beralih ke metode kualitatif.

Kata kunci: Kolaborasi Manusia-AI, Ketahanan Rantai Pasok, Manajemen Rantai Pasok Berkelanjutan, Tinjauan Literatur Sistematis, *Human-in-the-Loop*

Abstract. This research investigates the critical intersection between supply chain resilience and sustainability, focusing on the role of Human-AI collaboration as a pillar of Industry 5.0. We conducted SLR on 18 articles and using thematic analysis to answer four problem formulations. The findings show a clear symbiotic relationship between AI functioning as a predictive analyst/optimizer driven by Machine Learning & Decision Support System, while Humans act as Strategic Validators. This collaboration has a positive impact on environmental sustainability (emission reduction) and economy (cost efficiency). However, we identified a critical research gap, the pillar of social sustainability has been almost completely neglected. The main implementation challenges are not only technical (data quality) but also organizational (skills gaps) and interaction (lack of trust in AI). This study proposes a novelty, namely the Human-AI Symbiosis Model for SCM resilience and sustainability, a new conceptual framework that maps this collaborative cycle. This research underscores the urgency for future studies to focus on neglected social dimensions and turn to qualitative methods.

Keywords: Human-AI Collaboration, Supply Chain Resilience, Sustainable Supply Chain Management (SSCM), Systematic Literature Review, Human-in-the-Loop.

1. Pendahuluan

Di tengah era disrupsi global, seperti konflik geopolitik, perubahan iklim dan pasca pandemi COVID-19 telah menguji ketahanan dan adaptabilitas *supply chain management* (SCM) modern. Peristiwa ini

menyebabkan gangguan pasokan, fluktuasi permintaan, pembatasan transportasi dan tekanan pada sistem logistik global [1]. SCM modern dianggap tidak lagi cukup hanya mengandalkan efisiensi, hal ini menuntut perusahaan untuk beradaptasi, tangguh, *agility* dan digitalisasi agar tetap kompetitif dan berkelanjutan [2], [1]. Integrasi ketahanan dan keberlanjutan dalam SCM dapat menjadi kompleks yang disebabkan adanya persimpangan antara efisiensi (keberlanjutan jangka panjang) dan efektivitas (ketahanan mengelola gangguan jangka pendek) [3], [4].

Artificial Intelligence (AI) memainkan peran transformatif dalam mengoptimalkan keseluruhan jaringan rantai pasok. Berbagai implementasi AI, khususnya Machine Learning (ML), analisis prediktif, Natural Language Processing (NLP), Computer Vision dan AI generatif bermanfaat dalam merevolusi operasi rantai pasok dengan memprediksi permintaan, mengoptimalkan inventaris, mengurangi biaya logistik, dukungan layanan pelanggan, prediksi risiko gangguan dan meningkatkan pengambilan keputusan [5], [6], [7]. Akhirnya adopsi AI dapat menciptakan ekosistem rantai pasokan yang lebih kuat, responsif dan mendorong keberlanjutan [7].

Adopsi AI telah memberikan manfaat yang signifikan untuk ketahanan dan keberlanjutan SCM. Namun, perpindahan pekerjaan dan privasi menjadi pelanggaran terhadap etika manusia [8]. Padahal setiap tahap SCM membutuhkan tingkat kepercayaan untuk berbagi informasi yang berbeda, pengawasan manusia diperlukan untuk memastikan keselarasan etika dan kemampuan adaptasi [9]. Pendekatan yang berpusat pada manusia, menekankan pentingnya peningkatan keterampilan, kesiapan organisasi, dan *co-evolution* kemampuan manusia dan AI [10]. Interaksi antara teknologi canggih dan faktor manusia merupakan inti dari kolaborasi manusia-AI. Hubungan ini efektif dalam meningkatkan kustomisasi dan pemecahan masalah pada SCM [11].

Lebih lanjut, literatur yang ada menunjukkan sebuah paradoks. Di satu sisi, adopsi AI telah terbukti memberikan keberlanjutan rantai pasok. Namun di sisi lain, implementasinya memunculkan tantangan etika yang serius, seperti yang dijelaskan di paragraf sebelumnya. Meskipun para peneliti telah mulai menyerukan pendekatan yang berpusat pada manusia (*human-centric*) untuk meningkatkan ketahanan dan keberlanjutan SCM [9], [10], [11], terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan dalam mensintesis temuan-temuan ini secara holistik. Studi-studi yang ada cenderung terfragmentasi, sebagian berfokus pada upaya ketahanan dan keberlanjutan melalui integrasi AI dalam SCM [5], [7], [11], sementara sebagian lainnya membahas implikasi etis atau kolaborasi Manusia-AI tanpa sedikitpun membahas ketahanan dan keberlanjutan SCM [10], [12]. Oleh karena itu, masih sangat terbatas literatur yang secara sistematis memetakan bagaimana model kolaborasi Manusia-AI yang efektif dirancang dalam praktiknya untuk secara simultan menavigasi tiga tuntutan: (1) ketahanan operasional, (2) keberlanjutan (ekonomi, sosial, lingkungan), dan (3) kepatuhan etika. Penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut dengan mensintesis literatur yang terfragmentasi untuk menyediakan pemetaan komprehensif tentang peran, teknologi, dampak, dan tantangan dari kolaborasi Manusia-AI dalam konteks SCM yang tangguh dan berkelanjutan. Berdasarkan dari latar belakang studi, disusun pertanyaan penelitian dan tujuan studi ini sebagai berikut:

1.1. Pertanyaan Penelitian

- RQ1: Apa saja peran AI dan manusia dalam kolaborasi untuk mengidentifikasi dan merespon risiko SCM?
- RQ2: Teknologi AI apa saja yang paling sering digunakan dalam konteks kolaborasi ini?
- RQ3: Bagaimana kolaborasi AI-Manusia memengaruhi metrik keberlanjutan (sosial, ekonomi, lingkungan) di dalam SCM?
- RQ4: Tantangan apa saja yang muncul dalam implementasi kolaborasi AI-Manusia untuk ketahanan SCM?

1.2. Tujuan Penelitian

- RO1: Menyediakan pemetaan komprehensif berdasarkan lanskap penelitian.
- RO2: Menyajikan kerangka kerja konseptual kolaborasi Manusia-AI untuk ketahanan SCM berkelanjutan.

2. Metode

Penelitian ini mengadopsi protocol *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). PRISMA penjamin sintesis penelitian dilakukan dengan presisi, terbuka dan komprehensif [11]. PRISMA membantu peneliti untuk mendapatkan pengetahuan lebih spesifik tentang peran AI-Manusia, teknologi AI, dampak terhadap metrik keberlanjutan dan tantangan yang muncul dari kolaborasi. Sebagai kajian tinjauan sistematik, hasil, informasi, atau data diperoleh dari database akademik, artinya penelitian ini didasarkan pada data sekunder dalam mensintesis dokumen dan gagasan dari peneliti lain [13]. Penelitian ini menggunakan database Scopus yang dikenal sebagai salah satu database literatur *peer-review* terbesar dan paling komprehensif. Penggunaan Scopus memastikan cakupan yang luas dan kualitas artikel yang terindeks. Kami melakukan proses seleksi artikel menggunakan PRISMA dengan mengikuti empat alur yang direkomendasikan oleh [14], lihat Gambar 1.

2.1. Strategi Pencarian Literatur

Untuk memastikan pencarian yang komprehensif, kata kunci pencarian diformulasikan berdasarkan empat RQ: (1) Konteks SCM, (2) Ketahanan, (3) Kolaborasi Manusia-AI, dan (4) Keberlanjutan. Kata kunci terkait digabungkan menggunakan operator Boolean ("AND" untuk mengkombinasikan konsep yang berbeda dan "OR" untuk sinonim dalam satu konsep). Pencarian dilakukan pada judul, abstrak, dan kata kunci artikel di database Scopus. *String* pencarian yang digunakan adalah (TITLE-ABS-KEY ("supply chain" OR "SCM" OR "logistics")) AND (TITLE-ABS-KEY ("resilience" OR "resilient" OR "disruption management" OR "risk management")) AND (TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence" OR "AI" OR "machine learning" OR "human-AI collaboration" OR "human-in-the-loop" OR "human-AI interaction")) AND (TITLE-ABS-KEY ("sustainability" OR "sustainable" OR "sustainable development" OR "triple bottom line" OR "ESG")).

2.2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Setelah artikel dikumpulkan dari pencarian awal, serangkaian kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat diterapkan untuk menyaring literatur. Proses penyaringan ini sangat penting untuk memastikan hanya studi yang paling relevan yang disertakan dalam sintesis akhir, lihat Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Inklusi & Eksklusi

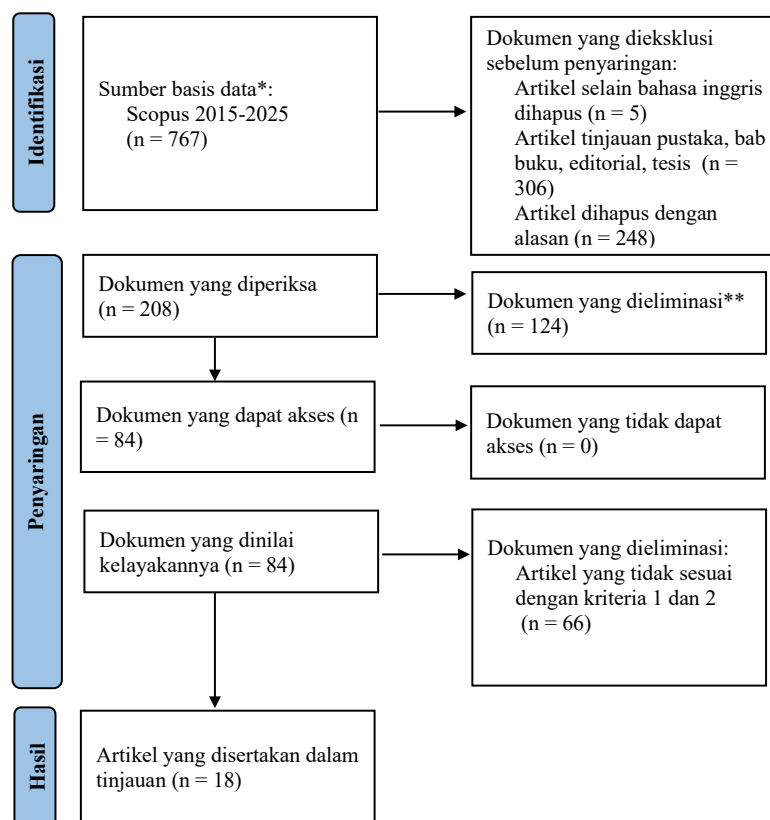
Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Jenis Publikasi	Artikel jurnal dan prosiding konferensi yang telah melalui proses <i>peer-review</i> .	Artikel tinjauan pustaka, bab buku, editorial, catatan ilmiah, <i>grey literature</i>
Bahasa	Artikel yang ditulis dalam Bahasa Inggris	Artikel selain Bahasa Inggris.
Rentang Waktu	Artikel yang dipublikasikan dari tahun 2015 hingga 2025	Artikel yang dipublikasikan sebelum tahun 2015.
Konteks dan Fokus	Artikel yang secara eksplisit membahas kolaborasi atau interaksi antara manusia dan AI.	Artikel yang hanya membahas AI sebagai alat otomatisasi penuh tanpa interaksi manusia.
Relevansi Topik	Artikel yang berfokus pada konteks ketahanan SCM DAN keberlanjutan SCM.	Artikel yang hanya berfokus pada salah satu (misal, hanya efisiensi AI) tanpa mengaitkannya dengan ketahanan atau keberlanjutan.
Ketersediaan	Artikel dengan teks lengkap (<i>full text</i>) yang dapat diakses.	Artikel yang hanya tersedia abstraknya.

2.3. Proses Seleksi dan Ekstraksi Data

Proses seleksi mengikuti alur empat langkah yang direkomendasikan oleh diagram alir PRISMA [14], yang akan divisualisasikan pada bagian Gambar 1.

1. Identifikasi: Hasil pencarian awal dari database Scopus menggunakan *string* di atas dikumpulkan.
2. Penyaringan: Penyaringan dilakukan oleh dua peneliti secara independen berdasarkan judul dan abstrak menggunakan kriteria inklusi/eksklusi. Konflik atau ketidaksepakatan diselesaikan melalui diskusi.
3. Kelayakan: Artikel yang lolos penyaringan abstrak kemudian dibaca secara penuh untuk menilai kelayakan akhir. Artikel yang tidak memenuhi kriteria inklusi pada tahap ini (misalnya, fokusnya ternyata berbeda setelah dibaca lengkap) akan dikeluarkan.
4. Hasil: Kumpulan artikel final yang memenuhi semua kriteria disertakan dalam sintesis kualitatif.

Untuk mencapai artikel yang lolos seleksi akhir, dilakukan ekstraksi data secara sistematis. Informasi utama diekstraksi ke dalam lembar kerja terstruktur, yang mencakup: (a) Penulis, Tahun dan Jurnal, (b) Metodologi penelitian, (c) Peran AI yang Diidentifikasi, (d) Peran Manusia yang Diidentifikasi, (e) Teknologi AI yang Digunakan, (f) Dampak pada Metrik Keberlanjutan (Ekonomi, Sosial, Lingkungan), (g) Tantangan dan Risiko Implementasi yang Dilaporkan. Data terstruktur inilah yang kemudian dianalisis untuk menjawab keempat RQ.



Gambar 1. PRISMA Flowchart

3. Analisis dan Hasil

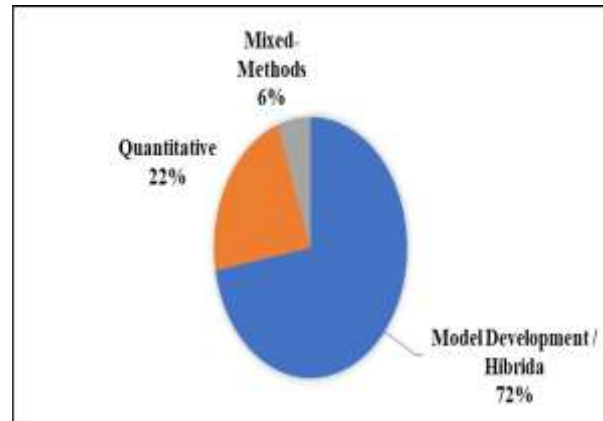
3.1. Statistik Deskriptif Literatur

Temuan deskriptif SLR kami sebanyak 18 artikel menunjukkan gambaran yang jelas dari sebuah bidang penelitian yang baru lahir. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, 12 dari 18 artikel yang relevan dipublikasikan pada tahun 2025, yang menandakan urgensi dan kebaruan topik ini.

Lebih lanjut, analisis metodologi pada Gambar 3, mengungkapkan bahwa penelitian ini masih dalam tahap awal yang didorong oleh solusi. Mayoritas (72%) penelitian berfokus pada *Model Development/hibrida*. Sebaliknya, penelitian yang berfokus pada validasi empiris baik secara Kuantitatif (22%) maupun *Mixed-Methods* (6%) masih relatif jarang. Dominasi pendekatan *Model Development/hibrida* ini, dikombinasikan dengan kurangnya studi empiris kontekstual, menyoroti kesenjangan penelitian yang kritis: yaitu kurangnya pemahaman tentang tantangan implementasi praktis dan faktor manusia dalam kolaborasi Manusia-AI di dunia nyata. SLR ini bertujuan untuk mulai menjembatani kesenjangan tersebut dengan mensintesis temuan-temuan awal yang terfragmentasi.



Gambar 2. Jumlah publikasi per tahun dari tahun 2015 hingga 2025



Gambar 3. Pengelompokan artikel berdasarkan metodologi penelitian (n = 18)

3.2. RQ1: Peran Simbiosis Manusia dan AI dalam Ketahanan SCM

Berdasarkan analisis tematik terhadap literatur yang terpilih, kolaborasi Manusia-AI untuk ketahanan dan keberlanjutan SCM dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa tema yang berbeda namun saling melengkapi. Peran-peran ini secara kolektif berfungsi sebagai mesin analitis canggih yang dirancang untuk memperkuat dan mendukung proses pengambilan keputusan manusia.

3.2.1. Tema AI 1: AI sebagai Analis Prediktif

Tema yang paling dominan di seluruh literatur adalah peran AI sebagai Analis Prediktif. Dalam kapasitas ini, AI seringkali memanfaatkan model ML dan Deep Learning (DL) bertugas menganalisis data historis dalam jumlah besar untuk meramalkan kejadian di masa depan. Peran ini sangat krusial untuk ketahanan, di mana AI digunakan untuk memprediksi disrupsi, meramalkan permintaan harga dan memprediksi kinerja.[15], [16], [17], [18]. Dengan menyediakan peringatan dini (*early warning*) dan wawasan prediktif, AI memfasilitasi pergeseran strategis dari manajemen krisis yang reaktif menjadi perencanaan risiko yang proaktif.

3.2.2. Tema AI 2: AI sebagai Optimator & Simulator

Tema signifikan kedua adalah peran AI sebagai Optimator dan Simulator. Peran ini melangkah lebih jauh dari sekadar "apa yang akan terjadi" untuk menjawab "apa yang seharusnya dapat dilakukan?".

AI bertindak sebagai alat pendukung keputusan untuk menganalisis *trade-off* yang kompleks antara tujuan yang saling bertentangan, seperti biaya, emisi karbon, dan waktu pengiriman. AI juga berfungsi sebagai alat optimisasi untuk mengelola sumber daya secara efisien, seperti mengubah inventaris usang menjadi stok yang responsive. Selain itu teknologi canggih seperti *Digital Twins* dapat digunakan untuk mensimulasikan operasi SCM secara virtual dan bahkan menciptakan konfigurasi rantai pasok baru yang optimal. Dalam peran ini, AI menyediakan skenario "*what-if*" dan rekomendasi yang dioptimalkan, yang kemudian dapat dievaluasi oleh manusia [19], [20], [16], [21], [22]. Peran ini

memastikan visibilitas dan akuntabilitas dalam SCM serta memberikan jaminan kepada pengambil keputusan bahwa operasi berjalan sesuai standar.

3.2.3. Tema AI 3: AI sebagai Auditor Kinerja & Kepatuhan

Tema ketiga yang muncul adalah peran AI sebagai Auditor Kinerja dan Kepatuhan secara *real-time*. Dalam peran ini, AI bertugas memantau dan mengevaluasi operasi SCM yang sedang berjalan saat ini. AI dapat berperan sebagai model untuk mengevaluasi kinerja SCM terhadap KPI yang telah ditentukan. AI secara otomatis memantau dan memvalidasi kepatuhan terhadap standar yang kompleks dan berlapis, seperti kepatuhan Halal [23], [24], [25].

3.2.4. Tema Manusia 1: Manusia Sebagai Pengambil Keputusan Strategis

Dalam model kolaborasi ini, AI tidak menggantikan, melainkan memberi informasi kepada manusia. AI menyediakan wawasan, prediksi, dan skenario yang dioptimalkan, tetapi manusialah yang menggunakan wawasan tersebut untuk membuat keputusan strategis akhir. Peran ini ditekankan dalam berbagai konteks seperti: Para pemangku kepentingan (manusia) menggunakan prediksi AI untuk merumuskan strategi guna mengelola risiko pasar dan volatilitas [17], [18]. Manajer menggunakan wawasan yang didorong data dari AI untuk memungkinkan pengambilan keputusan proaktif [16]. Manajer sebagai penerima output dari model optimisasi, yang dapat digunakan untuk memilih skenario terbaik yang menyeimbangkan *trade-off* antara biaya dan emisi [19].

3.2.5. Tema Manusia 2: Manusia sebagai Penentu Konteks dan Prioritas

AI mungkin dapat menghitung *trade-off*, tetapi AI tidak dapat menentukan prioritas bisnis atau etika. Disinilah manusia berperan penting di awal proses untuk mendefinisikan aturan main bagi AI. Keputusan manusia di awal dalam memberikan bobot pada tujuan, seringkali saling bertentangan, misalnya profitabilitas vs dampak lingkungan vs penciptaan lapangan kerja, disini peran AI dapat menjalankan model optimisasi [15]. Kemudian, manusia merupakan sumber utama untuk mengidentifikasi *Key Performance Index* (KPI) yang paling relevan yang akhirnya menggunakan AI untuk mengevaluasi [24]. Selain itu, pendekatan *Human-in-the-Loop* ditekankan untuk memastikan keahlian manusia membimbing proses AI. Manusia menggunakan intuisi, kecerdasan emosional, dan kreativitas untuk memvalidasi output AI terhadap konteks yang mungkin tidak ditangkap oleh data [22], [26].

Secara simbiosis, jika AI menangani skala, kecepatan, dan kompleksitas komputasi, manusia menangani konteks, etika, dan strategi. Analisis ini menunjukkan bahwa kolaborasi yang sukses tidak berfokus pada otomatisasi penuh, melainkan pada peningkatan kapabilitas manusia, di mana AI berfungsi sebagai penasihat tepercaya bagi pengambil keputusan strategis.

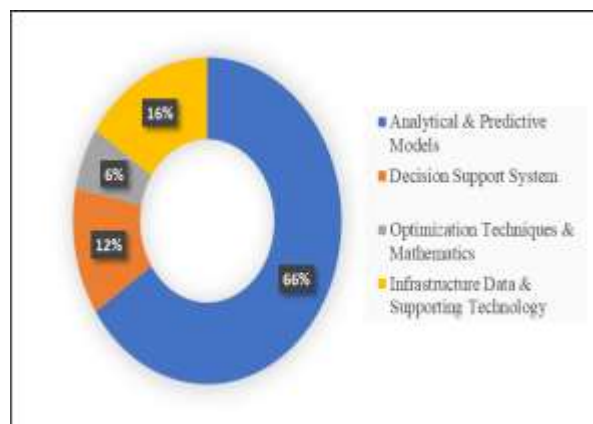
3.3. RQ2: Peta Teknologi AI

Temuan yang paling menonjol didominasi kuat oleh model prediktif, yang secara kolektif disebutkan sebanyak 21 model (66%), dapat dilihat pada Gambar 4. Hal ini menunjukkan bahwa fokus utama penelitian saat ini adalah menggunakan AI untuk tugas peramalan guna mengantisipasi risiko dan disrupsi. Teknologi DL, termasuk variasinya seperti Convolutional Neural Network-Long Short-Term Memory (CNN-LSTM) [18], Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) [17], dan Neural Networks [15], [24], menjadi pilihan utama untuk memodelkan data time-series yang kompleks seperti harga pengiriman dan indeks pasar. Model seperti Random Forest, XGBoost, dan Decision Trees [27] juga sering digunakan, terutama untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap ketahanan. Kemudian, sebuah tren yang lebih baru [22] menunjukkan penggunaan Generative AI seperti Variational Autoencoder (VAE) untuk menciptakan skenario SCM baru dan Adaptive AI seperti Deep Reinforcement Learning (DRL) untuk optimisasi real-time.

Teknologi AI tidak berdiri sendiri, AI berfungsi sebagai otak di balik sistem yang lebih besar yang dirancang untuk interaksi manusia. Decision support system (DSS) adalah cara paling umum untuk menyajikan output AI kepada manajer. Artikel seperti [23] dan [19] menggunakan DSS untuk membantu manusia menganalisis *trade-off* yang kompleks. Kemudian teknologi digital twins muncul sebagai alat simulasi canggih. Digital twins menggunakan data *real-time* dari Internet of Things (IoT)

dan model AI prediktif untuk menciptakan replika virtual dari SCM, memungkinkan manusia untuk menguji skenario disrupsi dengan aman [21].

Kemudian untuk menjamin kepercayaan dan integritas data, pendekatan ML seperti Linear Regression & Gradient Boosting Machine diintegrasikan dengan teknologi blockchain dan *knowledge graphs* dalam proses mengintegrasikan data yang terfragmentasi dan memvalidasi kepatuhan yang kompleks, seperti kepatuhan Halal [25]. Untuk membangun SCM yang tangguh dan berkelanjutan, infrastruktur seperti IoT dan Blockchain dapat digunakan untuk mengumpulkan dan mengamankan data. Data ini kemudian dianalisis oleh AI seperti model Deep Learning untuk membuat prediksi. Hasil prediksi ini, sering kali digabungkan dengan teknik optimisasi untuk disajikan kepada manusia melalui DSS, yang memungkinkan mereka membuat keputusan strategis,



Gambar 4. Klasifikasi AI dan Teknologi Pendukungnya

3.4. RQ3: Dampak Kolaborasi pada Keberlanjutan SCM

Secara keseluruhan, temuan menunjukkan bahwa dampak pada pilar lingkungan dan ekonomi sangat jelas, terukur, dan sering menjadi fokus utama. Namun, pilar sosial masih sangat kurang terwakili, yang menyoroti kesenjangan penelitian yang signifikan. Kami melakukan sintesis komprehensif dan mengelompokkan temuan ke pilar lingkungan, ekonomi dan sosial.

3.4.1. Tema Dampak Lingkungan

Sejumlah penelitian berfokus pada penggunaan AI dan teknik optimasi matematis seperti Mixed Integer Linear Programming (MILP) atau DL untuk meminimalkan emisi. Model-model ini secara eksplisit mengukur emisi karbondioksida (CO₂) dan konsumsi bahan bakar [19], [15]. Peramalan yang lebih baik [18] memungkinkan perencanaan rute yang lebih efisien, yang secara langsung mengurangi konsumsi bahan bakar.

AI tidak hanya mengurangi *output* emisi yang negatif, tetapi juga mengoptimalkan *input* sumber daya. Studi seperti [28] menemukan bahwa adopsi AI secara positif memengaruhi praktik ekonomi sirkular. Hal ini adalah bentuk spesifik dari ekonomi sirkular di mana AI menunjukkan dampak besar. [20] menunjukkan kerangka kerja AI yang dapat mengubah inventaris usang menjadi stok yang dapat digunakan kembali, yang secara langsung mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan yaitu *Responsible Consumption & Production* dengan mengurangi limbah. Secara lebih luas, kolaborasi ini mendukung target dual carbon dan rantai pasok pertanian hijau dengan memungkinkan manajer menyeimbangkan efisiensi dengan konservasi energi [27].

3.4.2. Tema Dampak Ekonomi

Dampak ekonomi seringkali merupakan hasil alami dari perolehan efisiensi di pilar lingkungan dan ketahanan. Ketika AI membantu manusia mengurangi limbah baik limbah fisik maupun limbah waktu, penghematan biaya akan mengikuti. Fokus utamanya pada optimisasi biaya [19] dan implementasi paradigma lean [23], yang secara inheren berfokus pada pengurangan limbah dan biaya. Daripada membiarkan inventaris menjadi usang yang merupakan kerugian finansial, AI membantu

mengubahnya menjadi stok yang dapat dipasarkan, secara langsung mengatasi masalah inventaris berlebih yang meningkatkan biaya [20].

Pada akhirnya, dampak ekonomi terwujud sebagai peningkatan efisiensi operasi [26] dan akurasi pengiriman [21], yang secara langsung meningkatkan profitabilitas dan stabilitas ekonomi. Kolaborasi ini memungkinkan alokasi sumber daya finansial dan "alokasi anggaran" yang lebih cerdas untuk mengelola risiko finansial yang terkait dengan disrupsi [15].

3.4.3. Tema Dampak Sosial

Sebagian besar 18 artikel tidak menyebutkan dampak sosial secara eksplisit. Namun, beberapa artikel yang memang membahasnya memberikan gambaran tentang apa yang seharusnya menjadi fokus. *Human-Centric* adalah contoh paling menonjol [26]. Dampaknya bukan hanya penciptaan lapangan kerja tetapi juga kesejahteraan, lingkungan kerja yang adil, pemberdayaan dan keterampilan digital [15], [28].

3.5. RQ4: Tantangan dalam Implementasi

Secara kolektif, tantangan-tantangan ini melukiskan gambaran yang jelas: Berinvestasi dalam teknologi AI yang canggih tidak ada artinya jika organisasi tidak berinvestasi pada keterampilan manusia dan budaya organisasi, serta dalam membangun kepercayaan pada antarmuka Manusia-AI. Tantangan terbesar bukanlah membuat AI menjadi pintar, melainkan membuat kolaborasi Manusia-AI menjadi dipercaya dan terintegrasi.

3.5.1. Tema Tantangan Infrastruktur dan Data

Tantangan yang paling dominan. Model AI, khususnya DL, sangat bergantung pada data historis yang besar dan berkualitas tinggi. Literatur menyoroti masalah kualitas data dan kurangnya data historis disrupsi [22], [29].

3.5.2. Tema Tantangan Organisasi dan Manusia

Tantangan berikutnya berkaitan dengan kesiapan organisasi dan sumber daya manusia untuk berubah, yang seringkali lebih sulit diatasi daripada tantangan teknis. Selanjutnya kurangnya talenta digital adalah masalah besar. Literatur menyoroti kurangnya keterampilan analitis dan teknis dan kebutuhan mendesak akan keterampilan dan kompetensi karyawan yang sesuai [29], [28]. Adanya resistensi dari dalam organisasi, baik dari manajer maupun karyawan dapat menjadi penghalang. Hal ini muncul sebagai resistensi manajerial atau resistensi organisasi secara umum [20], [29].

3.5.3. Tema Tantangan Interaksi Manusia-AI

Tantangan yang paling sering dikutip dalam konteks interaksi. Manajer manusia seringkali sulit untuk memercayai rekomendasi dari AI yang mereka tidak mengerti. Hal ini disebut sebagai masalah kepercayaan atau masalah yang tidak bisa dipahami atau dijelaskan oleh manusia [22], [30]. Selanjutnya tantangan bagi manusia adalah bagaimana menyeimbangkan prioritas manajerial dan kebijakan yang seringkali bertentangan satu sama lain [15].

3.6. Kerangka Kerja Konseptual: Model Simbiosis Manusia-AI

Berdasarkan sintesis mendalam dari 18 artikel terpilih, kami mengusulkan sebuah kerangka kerja konseptual yang disebut model simbiosis Manusia-AI untuk ketahanan dan keberlanjutan SCM, dapat dilihat pada Gambar 5. Sebuah siklus umpan balik yang berkelanjutan di mana manusia dan AI saling bergantung dan berevolusi bersama. Model ini terdiri dari empat komponen utama yaitu: Faktor pendukung dan penghambat, interaksi Manusia-AI, dampak SCM dan siklus umpan balik.

Kerangka kerja ini tidak berfungsi, tergantung pada fondasi organisasi dan teknis yang kokoh. Temuan kami terkait ketersediaan data berkualitas tinggi dan interoperabilitas sistem menjadi fondasi teknis [22], [29]. Namun, keberhasilan tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada kesiapan manusia. Ini termasuk dukungan manajemen puncak [29], pengembangan keterampilan SDM [28] dan budaya yang mau berubah [20].

Selanjutnya terkait kolaborasi Manusia-AI, berdasarkan sintesis dari temuan RQ1 dan RQ2 yang mana menggambarkan keputusan dibuat dari hasil kolaborasi. AI berperan sebagai analis prediktif, optimotor dan simulator menggunakan model prediktif ML dan DL. Selanjutnya rekomendasi AI disajikan kepada manusia melalui DSS [23], [19]. Selanjutnya, manusia bertindak sebagai pengambil keputusan strategis dan validator konteks. Manusia menggunakan intuisi, kecerdasan emosional, dan pengalaman untuk memvalidasi wawasan AI terhadap realitas konteks bisnis yang lebih luas [26].

Keputusan yang telah di-augmentasi kemudian dieksekusi, yang menghasilkan dampak terukur pada SCM. Temuan dari RQ3 membentuk komponen ini: Peningkatan ketahanan berupa manajemen risiko proaktif [21] dan peningkatan efisiensi operasional [26]. Dampak yang jelas dan juga terukur pada keberlanjutan seperti: Pengurangan emisi CO₂, dukungan untuk ekonomi sirkular/manajemen limbah, pengurangan biaya dan alokasi anggaran [21], [19], [15].



Gambar 5. Kerangka Konseptual Model Simbiosis Manusia-AI

4. Diskusi

Analisis studi ini mengungkapkan sebuah lanskap penelitian yang dilihat dari tren publikasi 10 tahun terakhir (2015-2025) dan sangat terfokus pada metodologi pengembangan model teknis. Temuan kami RQ1-RQ4 secara kolektif menunjukkan adanya simbiosis yang jelas dimana AI berperan sebagai mesin analisis prediktif, sementara manusia berperan sebagai pengambil keputusan, validator strategis dan penentu prioritas. Namun, sintesis ini juga menyoroti kesenjangan yang muncul, sementara dampak lingkungan dan ekonomi terukur dengan baik, dampak sosial dari kolaborasi ini hampir sepenuhnya diabaikan oleh literatur saat ini.

Secara teoritis, penelitian ini memberikan tiga kontribusi utama bagi literatur. Pertama, sejauh pengetahuan, kami yang melakukan sintesis paling awal secara eksplisit menjembatani tiga bidang penelitian yang sebelumnya terfragmentasi namun sangat penting: (1) Kolaborasi Manusia-AI, (2) Ketahanan Rantai Pasok, dan (3) Keberlanjutan Rantai Pasok. Literatur yang ada cenderung berfokus

pada irisan dua dari tiga pilar ini (misalnya, AI untuk ketahanan, atau AI untuk keberlanjutan), namun gagal untuk mengintegrasikan peran krusial dari interaksi *human-in-the-loop* dalam menyeimbangkan ketiga tujuan tersebut secara bersamaan [5], [7], [10], [11], [12].

Kontribusi teoritis kedua dan yang paling utama adalah pengusulan Model Simbiosis Manusia-AI “*Human-AI-Resilience-Sustainability*” (H-AI-R-S). Kami memposisikan kolaborasi ini sebagai siklus siberetik, di mana manusia sebagai validator strategis dan AI sebagai analis prediktif yang tidak hanya bekerja secara paralel tetapi secara konstan saling bergantung, beradaptasi, dan belajar seperti yang ditunjukkan oleh model kami.

Secara tematik, literatur sangat fokus pada dampak lingkungan dan ekonomi, sementara hampir sepenuhnya mengabaikan pilar keberlanjutan sosial. Identifikasi kesenjangan ini memberikan peta jalan yang jelas bagi komunitas peneliti tentang di mana upaya harus difokuskan selanjutnya.

Kemudian secara praktis, implikasi dari temuan ini sangat jelas: manajer harus menyadari bahwa berinvestasi pada teknologi AI canggih tidak akan berhasil tanpa investasi yang seimbang pada keterampilan manusia dan proses untuk membangun kepercayaan. Akhirnya, penelitian ini menetapkan agenda masa depan yang mendesak bagi komunitas akademik: untuk beralih dari studi “Pengembangan Model” ke studi kasus kualitatif yang mendalam, dan yang paling penting, untuk mulai meneliti dampak sosial dari pergeseran paradigma ini.

5. Kesimpulan

Penelitian ini dimulai untuk mengatasi tantangan ganda yang mendesak di era modern. Kebutuhan SCM yang tidak hanya tangguh dalam menghadapi disrupsi yang terus meningkat, tetapi juga berkelanjutan secara lingkungan dan sosial. Melalui SLR yang ketat terhadap 18 artikel inti yang dipublikasikan, mayoritas pada tahun 2025, dimana menunjukkan kebaruan topik ini. Penelitian ini secara spesifik menginvestigasi peran yang sedang berkembang dari kolaborasi Manusia-AI sebagai solusi potensial untuk menyeimbangkan kedua tujuan tersebut.

Temuan utama kami menunjukkan bahwa kolaborasi Manusia-AI di bidang ini bukanlah tentang otomatisasi penuh, melainkan tentang peningkatan kapabilitas. Analisis tematik (RQ1 dan RQ2) secara konsisten mengidentifikasi peran AI sebagai Analis Prediktif & Optimator yang didominasi oleh teknologi ML, DL, dan DSS. Sementara itu, peran Manusia beralih menjadi validator strategis & penentu konteks yang menggunakan intuisi dan pengalaman untuk memvalidasi output AI dan membuat keputusan akhir.

Sintesis dampak RQ3 mengungkapkan gambaran yang tidak seimbang. Kolaborasi ini telah menunjukkan dampak yang jelas dan terukur dalam meningkatkan keberlanjutan lingkungan melalui efisiensi energi dan pengurangan limbah dan keberlanjutan ekonomi melalui optimisasi biaya. Namun, kami menemukan kesenjangan penelitian yang signifikan pada pilar keberlanjutan sosial, yang hampir sepenuhnya terabaikan dalam literatur saat ini. Selain itu, analisis tantangan RQ4 menunjukkan bahwa hambatan terbesar bukanlah murni teknis seperti kualitas data, melainkan pada faktor organisasional: kesenjangan keterampilan dan kurangnya kepercayaan pada AI.

Referensi

- [1] J. R. Montoya-Torres, “Managing Disruptions in Supply Chains,” in *Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems for Industry of the Future*, vol. 987, D. Trentesaux, T. Borangiu, P. Leitão, J.-F. Jimenez, and J. R. Montoya-Torres, Eds., in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 987, Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 272–284. doi: 10.1007/978-3-030-80906-5_19.
- [2] K. Ismail, E. Nikookar, M. Pepper, and M. Stevenson, “The implications of Industry 4.0 for managing supply chain disruption and enhancing supply chain resilience: a systematic literature review,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 63, no. 19, pp. 7278–7304, Oct. 2025, doi: 10.1080/00207543.2025.2493948.
- [3] P. Warmbier, “Comparative Analysis of Sustainability and Resilience in Operations and Supply Chain Management,” in *Advances in Production Management Systems. Production Management Systems for Responsible Manufacturing, Service, and Logistics Futures*, vol. 692,

- E. Alfnes, A. Romsdal, J. O. Strandhagen, G. Von Cieminski, and D. Romero, Eds., in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 692, Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 382–397. doi: 10.1007/978-3-031-43688-8_27.
- [4] M. Negri, E. Cagno, C. Colicchia, and J. Sarkis, “Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda,” *Bus. Strategy Environ.*, vol. 30, no. 7, pp. 2858–2886, Nov. 2021, doi: 10.1002/bse.2776.
- [5] “Artificial Intelligence in Supply Chain Management: Trends and Implications,” *Nanotechnol. Percept.*, vol. 20, no. S7, July 2024, doi: 10.62441/nano-ntp.v20iS7.91.
- [6] P. Suganya *et al.*, “The Role of Artificial Intelligence in Transforming Supply Chain Management,” in *Advances in Computational Intelligence and Robotics*, J. Arif and F. Jawab, Eds., IGI Global Scientific Publishing, 2025, pp. 271–294. doi: 10.4018/979-8-3373-0923-1.ch011.
- [7] S. S. Akter, M. Omair Khan, K. Ullah, M. A. Islam Mozumder, Y. Choi, and H.-C. Kim, “Integration of advanced Artificial Intelligence in Supply Chain Management, its Challenges and Opportunities,” in *2025 27th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT)*, Pyeong Chang, Korea, Republic of: IEEE, Feb. 2025, pp. 1–5. doi: 10.23919/ICACT63878.2025.10936759.
- [8] A. R. Teixeira, J. V. Ferreira, and A. L. Ramos, “Intelligent Supply Chain Management: A Systematic Literature Review on Artificial Intelligence Contributions,” *Information*, vol. 16, no. 5, p. 399, May 2025, doi: 10.3390/info16050399.
- [9] A. Daios, N. Kladovasilakis, A. Kelemis, and I. Kostavelis, “AI Applications in Supply Chain Management: A Survey,” *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 5, p. 2775, Mar. 2025, doi: 10.3390/app15052775.
- [10] C. Hendriksen, “Artificial intelligence for supply chain management: Disruptive innovation or innovative disruption?,” *J. Supply Chain Manag.*, vol. 59, no. 3, pp. 65–76, July 2023, doi: 10.1111/jscm.12304.
- [11] A. Samuels, “Examining the integration of artificial intelligence in supply chain management from Industry 4.0 to 6.0: a systematic literature review,” *Front. Artif. Intell.*, vol. 7, p. 1477044, Jan. 2025, doi: 10.3389/frai.2024.1477044.
- [12] A. Holzinger, I. Fister, I. Fister, H.-P. Kaul, and S. Asseng, “Human-Centered AI in Smart Farming: Toward Agriculture 5.0,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 62199–62214, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3395532.
- [13] T. E. Kgashwane and J. E. Chukwuere, “Investigating the challenges, benefits, and applications of digital health in South Africa: A PRISMA process,” *Indones. J. Inf. Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 50–67, Aug. 2025, doi: 10.24002/ijis.v8i1.11353.
- [14] M. J. Page *et al.*, “The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews,” *BMJ*, p. n71, Mar. 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [15] S. A. Hosseini Shekarabi, R. Kiani Mavi, and F. R. Macau, “An extended robust optimisation approach for sustainable and resilient supply chain network design: A case of perishable products,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 152, p. 110846, July 2025, doi: 10.1016/j.engappai.2025.110846.
- [16] S. P. Ghodake, V. R. Malkar, K. Santosh, L. Jabasheela, S. Abdufattokhov, and A. Gopi, “Enhancing Supply Chain Management Efficiency: A Data-Driven Approach using Predictive Analytics and Machine Learning Algorithms,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 15, no. 4, 2024, doi: 10.14569/IJACSA.2024.0150469.
- [17] H. Wu and C. Gong, “Modeling the Ningbo Container Freight Index Through Deep Learning: Toward Sustainable Shipping and Regional Economic Resilience,” *Sustainability*, vol. 17, no. 10, p. 4655, May 2025, doi: 10.3390/su17104655.
- [18] Z. Han, X. Zhu, and Z. Su, “Forecasting Maritime and Financial Market Trends: Leveraging CNN-LSTM Models for Sustainable Shipping and China’s Financial Market Integration,” *Sustainability*, vol. 16, no. 22, p. 9853, Nov. 2024, doi: 10.3390/su16229853.
- [19] S. Al-Haidous, R. Govindan, A. Elomri, and T. Al-Ansari, “An optimization approach to increasing sustainability and enhancing resilience against environmental constraints in LNG

- supply chains: A Qatar case study,” *Energy Rep.*, vol. 8, pp. 9742–9756, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.07.120.
- [20] Y. Raouf, Z. Benmamoun, and H. Hachimi, “An artificial intelligence framework for recycling dormant and obsolete inventory in supply Chains,” *Supply Chain Anal.*, vol. 11, p. 100152, Sept. 2025, doi: 10.1016/j.sca.2025.100152.
- [21] H. Fatorachian, H. Kazemi, and K. Pawar, “Enhancing Smart City Logistics Through IoT-Enabled Predictive Analytics: A Digital Twin and Cybernetic Feedback Approach,” *Smart Cities*, vol. 8, no. 2, p. 56, Mar. 2025, doi: 10.3390/smartcities8020056.
- [22] S.-C. Necula and E. Rieder, “Generative and Adaptive AI for Sustainable Supply Chain Design,” *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.*, vol. 20, no. 3, p. 240, Sept. 2025, doi: 10.3390/jtaer20030240.
- [23] E. Bottani, L. Monferdini, N. Villani, M. Caterino, and M. Rinaldi, “Integrating the lean, agile, resilient, green perspectives in decision support systems: The LARG-AHP Framework,” *IFAC-Pap.*, vol. 59, no. 10, pp. 1576–1581, 2025, doi: 10.1016/j.ifacol.2025.09.265.
- [24] O. Dumitrascu, M. Dumitrascu, and D. Dobrotă, “Performance Evaluation for a Sustainable Supply Chain Management System in the Automotive Industry Using Artificial Intelligence,” *Processes*, vol. 8, no. 11, p. 1384, Oct. 2020, doi: 10.3390/pr8111384.
- [25] F. Sunmola, G. Baryannis, A. Tan, K. Co, and E. Papadakis, “Holistic Framework for Blockchain-Based Halal Compliance in Supply Chains Enabled by Artificial Intelligence,” *Systems*, vol. 13, no. 1, p. 21, Jan. 2025, doi: 10.3390/systems13010021.
- [26] A. Mohammed, F. A. Al Balushi, N. Zubairu, and K. Govindan, “Dynamics capabilities 5.0 toward inner business resiliency: A conceptual and evaluation panacea,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 206, p. 111223, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.cie.2025.111223.
- [27] D. Wu, T. Li, H. Cai, and S. Cai, “Machine Learning-Based Prediction of Resilience in Green Agricultural Supply Chains: Influencing Factors Analysis and Model Construction,” *Systems*, vol. 13, no. 7, p. 615, July 2025, doi: 10.3390/systems13070615.
- [28] P. K. Dey, S. Chowdhury, A. Abadie, E. Vann Yaroson, and S. Sarkar, “Artificial intelligence-driven supply chain resilience in Vietnamese manufacturing small- and medium-sized enterprises,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 62, no. 15, pp. 5417–5456, Aug. 2024, doi: 10.1080/00207543.2023.2179859.
- [29] A. H. Sagar, L. Macchion, and R. Fornasiero, “Resilience Practices and Environmental Sustainability in the Bangladeshi Fashion Supply Chain: The Moderating Role of Digital Tools,” *Corp. Soc. Responsib. Environ. Manag.*, p. csr.70208, Oct. 2025, doi: 10.1002/csr.70208.
- [30] D. Poee and W. Munyanyi, “Digitalisation and sustainability convergence: leveraging artificial intelligence capabilities to enhance agri-food value chains’ sustainability in Africa,” *Sustain. Debate*, vol. 16, no. 1, pp. 285–303, Apr. 2025, doi: 10.18472/SustDeb.v16n1.2025.55859.