



Building Resilience Through AI: Predictive Analytics for Supply Chain Risk Management in the Post-COVID Global Market

Henny¹, Nanik Qosidah², Agustinus Wardi³

^{1,2,3}Universitas Sains dan Teknologi Komputer

Jl. Majapahit No.605, Pedurungan Kidul, Kec. Pedurungan, Kota Semarang, Jawa Tengah 50192

e-mail: henny@stekom.ac.id¹, qosidah.nanik@stekom.ac.id², agustinuswardi@stekom.ac.id³

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 Maret 2025

Received in revised form 11 April 2025

Accepted 10 Mei 2025

Available online 30 Mei 2025

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has exposed fundamental vulnerabilities in global supply chain systems, such as over-reliance on single suppliers and a lack of operational visibility. This has highlighted the urgent need for a new approach to risk management—one that leverages smart technologies. Artificial Intelligence (AI) has emerged as a promising solution, thanks to its capabilities in predictive analytics and adaptive, data-driven decision-making in real time. This study aims to develop an AI-based predictive system framework to enhance the resilience of global supply chains in the face of post-pandemic disruptions. Using the Design Science Research (DSR) methodology, the research designs and evaluates a system that integrates algorithms such as LSTM, Random Forest, Natural Language Processing (NLP), and Reinforcement Learning. It also applies a federated learning approach to ensure data privacy among supply chain partners. The study analyzes over 12,000 data entries from diverse sources, including IoT devices, weather data, demand trends, and social media. The system's effectiveness is evaluated through a combination of quantitative methods (PLS-SEM analysis on 103 respondents) and qualitative methods (interviews with 12 industry executives). The findings show that AI-driven predictive analytics significantly improve supply chain resilience ($\beta = 0.67$; $p < 0.001$), with demand forecasting accuracy increasing by up to 40% and delivery times reduced by 30%. Conceptually, the study contributes by designing a resilient model that integrates real-time visibility, adaptability, and cross-organizational collaborative learning. Unlike traditional approaches focused solely on automation, this framework offers a more holistic solution, addressing key gaps in the literature. The implication is clear: AI is becoming a strategic asset in building sustainable, resilient supply chains amid ongoing global uncertainty.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Supply Chain Resilience, Predictive Analytics.

Abstrak

Pandemi COVID-19 menyoroti kerentanan mendasar dalam sistem rantai pasok global, termasuk ketergantungan pada pemasok tunggal dan kurangnya visibilitas operasional. Hal ini mendorong perlunya pendekatan baru dalam manajemen risiko berbasis teknologi cerdas. Artificial Intelligence (AI) muncul sebagai solusi potensial melalui kemampuannya dalam predictive analytics dan pengambilan keputusan adaptif berbasis data real-time. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sebuah kerangka kerja sistem prediktif berbasis AI untuk meningkatkan ketahanan (resilience) rantai pasok global dalam menghadapi disrupsi pasca-pandemi. Dengan menggunakan pendekatan Design Science Research (DSR), penelitian ini merancang dan mengevaluasi sistem yang mengintegrasikan algoritma seperti LSTM, Random Forest, NLP, dan Reinforcement Learning, serta memanfaatkan pendekatan federated learning untuk menjaga privasi antar mitra supply chain. Data yang dianalisis meliputi lebih dari 12.000 entri dari berbagai sumber (IoT, cuaca, permintaan, media sosial). Evaluasi dilakukan melalui kombinasi metode kuantitatif (PLS-SEM terhadap 103 responden) dan kualitatif (wawancara dengan 12 eksekutif industri). Hasil menunjukkan bahwa AI predictive analytics memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan ketahanan rantai pasok ($\beta = 0.67$; $p < 0.001$), dengan peningkatan akurasi prediksi permintaan hingga 40% dan penurunan waktu pengiriman sebesar 30%. Studi ini memberikan kontribusi konseptual dengan merancang model resilien yang menggabungkan visibilitas real-time, adaptivitas, dan pembelajaran kolaboratif lintas organisasi. Pendekatan ini mengisi kesenjangan dalam literatur dengan menawarkan solusi holistik, bukan sekadar otomasi operasional. Implikasinya, AI menjadi aset strategis dalam membangun daya tahan sistem supply chain yang berkelanjutan di tengah ketidakpastian global.

Kata Kunci : Artificial Intelligence (AI), Ketahanan Rantai Pasok, Predictive Analytics

1. PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 telah mengungkapkan berbagai kelemahan dalam sistem rantai pasok global, termasuk ketergantungan pada pemasok tunggal, kurangnya visibilitas operasional, dan ketidaksiapan menghadapi gangguan mendadak. Situasi ini mendorong perlunya pendekatan baru dalam manajemen risiko rantai pasok, salah satunya melalui pemanfaatan teknologi Artificial Intelligence (AI). AI dapat meningkatkan ketahanan rantai pasok melalui analisis data prediktif dan pengambilan keputusan berbasis informasi real-time [1]. Dengan kemampuan untuk memproses data besar dari berbagai sumber, AI memungkinkan organisasi untuk tidak hanya bereaksi terhadap gangguan, tetapi juga memprediksi serta memitigasi potensi risiko sebelum terjadi. Dalam konteks pasca-pandemi, di mana ketidakpastian masih tinggi dan globalisasi terus menciptakan kompleksitas baru, pendekatan berbasis AI menjadi sangat krusial dalam memperkuat fleksibilitas dan adaptivitas rantai pasok global [2].

Tren global menunjukkan peningkatan tajam dalam adopsi AI untuk memperkuat rantai pasok. Studi oleh [3] menunjukkan bahwa integrasi AI dalam manufaktur dan rantai pasok dapat meningkatkan efisiensi operasional dan ketahanan terhadap gangguan. Selain itu, penelitian oleh [4] menunjukkan bahwa penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam manajemen rantai pasok dapat meningkatkan efisiensi dan ketahanan melalui peramalan permintaan yang lebih akurat, pengurangan biaya inventaris, dan optimisasi rute logistik. Studi oleh [5] menekankan bahwa penerapan machine learning dan kecerdasan buatan dalam rantai pasok dapat mendeteksi penipuan dan memprediksi kebutuhan pemeliharaan dengan akurasi tinggi. Data ini menunjukkan bahwa AI bukan sekadar alat bantu, melainkan elemen strategis dalam pengambilan keputusan operasional.

Penelitian ini berada dalam irisan antara teknologi informasi, kecerdasan buatan, dan manajemen rantai pasok. Secara khusus, fokus diarahkan pada penerapan predictive analytics berbasis AI untuk mengelola risiko dan meningkatkan ketahanan rantai pasok di pasar global. Topik ini semakin relevan dalam ranah supply chain management, seiring meningkatnya kebutuhan akan sistem yang tidak hanya efisien namun juga tangguh terhadap volatilitas eksternal. [6] menyatakan bahwa penerapan teknologi disruptif seperti AI dalam manajemen rantai pasok dapat meningkatkan ketahanan dan kelincuhan operasional perusahaan dalam menghadapi dinamika pasar yang kompleks. Selain itu, [7] mengusulkan penggunaan Federated Learning dan Graph Neural Networks untuk meningkatkan visibilitas dan hubungan dalam rantai pasok global, menekankan relevansi AI dalam konteks kompleksitas logistik modern.

Meskipun banyak studi sebelumnya telah menyoroti pentingnya teknologi dalam manajemen rantai pasok, terdapat kesenjangan nyata antara potensi AI dan implementasinya dalam praktik manajemen risiko secara komprehensif. Sebagian besar organisasi masih menggunakan pendekatan tradisional yang reaktif, dengan sedikit kemampuan prediksi terhadap gangguan yang mungkin terjadi. Padahal, AI menawarkan kapabilitas untuk mengantisipasi risiko sebelum terjadi, melalui pemrosesan data besar dari berbagai sumber seperti

sensor IoT, data pasar, dan analisis cuaca. Menurut [8], meskipun adopsi kecerdasan buatan (AI) meningkat pesat, banyak organisasi, khususnya di sektor keuangan, masih berada pada tahap awal dalam mengintegrasikan AI ke dalam kerangka manajemen risiko mereka. Hal ini diperkuat oleh temuan [1], yang mencatat bahwa adopsi AI di banyak organisasi masih bersifat eksperimental dan belum terstruktur. Oleh karena itu, diperlukan model konseptual dan empiris yang dapat menjembatani kesenjangan ini dan mendorong pemanfaatan AI secara strategis dalam konteks ketahanan rantai pasok.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sebuah kerangka kerja berbasis Artificial Intelligence dan predictive analytics yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan (resilience) sistem rantai pasok global melalui manajemen risiko yang lebih proaktif, adaptif, dan berbasis data. Kerangka kerja ini diharapkan mampu menjawab tantangan nyata yang dihadapi organisasi dalam menghadapi disrupsi dan membangun sistem operasional yang tangguh di era pasca-pandemi. Pendekatan ini sejalan dengan rekomendasi dari [9], yang menekankan pentingnya adopsi model manajemen risiko berbasis prediksi untuk meningkatkan ketahanan rantai pasok di tengah ketidakpastian global.

Penelitian ini memberikan kontribusi orisinal melalui pendekatan integratif yang menggabungkan teknologi kecerdasan buatan dengan prinsip-prinsip manajemen risiko dalam konteks rantai pasok global. Tidak seperti penelitian sebelumnya yang hanya membahas penerapan AI dalam satu aspek operasional, studi ini mencoba merancang kerangka strategis yang lebih holistik dan aplikatif. Dengan menitikberatkan pada resilience dan anticipative decision-making, penelitian ini menawarkan perspektif baru yang lebih visioner dan relevan dengan dinamika dunia usaha pasca-pandemi. Keunikan pendekatan ini juga terletak pada pemanfaatan data real-time dan pemodelan prediktif yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur manajemen risiko rantai pasok. [7] menekankan bahwa pendekatan berbasis Federated Learning dan Graph AI dapat mendorong transformasi struktural dalam sistem rantai pasok. Penelitian ini juga mengembangkan strategi implementasi berbasis best practice yang dapat diadopsi oleh organisasi dengan berbagai tingkat kesiapan digital, memperkaya literatur akademik sekaligus memberikan manfaat praktis bagi industri global.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Evolusi Peran Artificial Intelligence dalam Manajemen Risiko Rantai Pasok Global*

Pandemi COVID-19 telah mendorong urgensi dalam transformasi digital manajemen rantai pasok global. Salah satu respon strategis yang muncul adalah pemanfaatan Artificial Intelligence (AI) untuk memperkuat ketahanan operasional melalui pendekatan prediktif. Sejumlah penelitian mutakhir menggarisbawahi kemampuan AI dalam mengidentifikasi potensi risiko dan mengoptimalkan respons rantai pasok terhadap gangguan yang bersifat sistemik maupun mendadak. [10], dalam studi mengenai industri ritel, menunjukkan bahwa penggunaan model Long Short-Term Memory (LSTM) dapat meningkatkan akurasi peramalan permintaan secara signifikan, memungkinkan perusahaan untuk mengurangi kelebihan stok dan menghindari kekurangan persediaan. Dalam konteks analitik data tidak terstruktur, [11] menyoroti potensi Natural Language Processing (NLP) dan machine learning dalam mengenali sinyal risiko dari sumber eksternal seperti berita, media sosial, dan laporan geopolitik. Mereka mengembangkan model deteksi risiko keuangan berbasis NLP yang efektif dalam mengidentifikasi dan memprediksi potensi risiko dalam dokumen dan komunikasi keuangan.

Peningkatan visibilitas rantai pasok melalui integrasi AI dan data fusion juga menjadi sorotan penting dalam literatur. [12] menunjukkan bahwa integrasi predictive analytics dan machine learning dalam manajemen risiko rantai pasokan memungkinkan organisasi untuk secara proaktif mengidentifikasi dan mengurangi gangguan secara real-time, meningkatkan kelincahan dan ketahanan operasional mereka dalam menghadapi disrupsi lintas negara. Sementara itu, penelitian oleh [13] menyoroti pentingnya model adaptif yang dapat menyesuaikan alur distribusi secara dinamis berdasarkan hasil simulasi skenario berbasis machine learning. Studi-studi tersebut secara kolektif menegaskan bahwa AI tidak hanya bertindak sebagai alat bantu teknis, melainkan sebagai fondasi bagi sistem manajemen risiko yang proaktif dan adaptif.

B. *Resource-Based View dan Dynamic Capabilities dalam Konteks Supply Chain Resilience*

Penelitian ini berakar pada dua fondasi teoritis utama: pendekatan Resource-Based View (RBV) dan Dynamic Capabilities Theory. Resource-Based View, seperti dikemukakan oleh [14], menjelaskan bahwa keunggulan kompetitif suatu organisasi dapat diperoleh melalui pengelolaan aset strategis internal, salah satunya adalah kapabilitas teknologi informasi. Dalam konteks ini, sistem AI predictive analytics dianggap sebagai sumber daya berharga, langka, dan sulit ditiru yang dapat memperkuat daya tahan rantai pasok

terhadap disrupsi. AI tidak hanya menyediakan visibilitas dan kecepatan dalam pengambilan keputusan, tetapi juga memungkinkan adaptasi strategis terhadap lingkungan bisnis yang dinamis.

Di sisi lain, Dynamic Capabilities Theory yang dipopulerkan oleh [15] berfokus pada kapasitas organisasi untuk secara konsisten membangun, mengintegrasikan, dan merekonfigurasi sumber daya internal serta eksternal sebagai respons terhadap perubahan pasar. Integrasi AI dalam supply chain menjadi manifestasi konkret dari kemampuan dinamis ini, karena AI memungkinkan sistem untuk terus belajar dari data historis dan real-time, merespons gangguan secara prediktif, dan memperbarui strategi distribusi serta manajemen risiko dengan pendekatan berbasis pembelajaran berkelanjutan. Kedua kerangka ini memberikan landasan konseptual yang kuat untuk memahami bagaimana teknologi cerdas dapat meningkatkan resilience rantai pasok dalam konteks pasca-pandemi.

C. Tren dan Fokus Penelitian Terkini di Bidang Supply Chain Analytics Berbasis AI

Topik-topik penelitian yang relevan dan mendasari studi ini mencerminkan tren terkini dalam digitalisasi manajemen rantai pasok global. Salah satunya adalah pengembangan model peramalan berbasis AI untuk mendeteksi permintaan pasar yang fluktuatif dan dinamis. [16] menunjukkan bahwa integrasi AI dalam demand planning dapat mengurangi deviasi permintaan hingga 40% dibanding metode statistik tradisional. Selain itu, penerapan Internet of Things (IoT) dalam pengumpulan data real-time telah menjadi landasan bagi sistem visibilitas rantai pasok yang cerdas [17], di mana sensor dan perangkat terhubung memberikan input secara langsung ke dalam model prediktif.

Penelitian juga berfokus pada bagaimana AI memperkuat ketangkasan (*agility*) dan daya tanggap (*resilience*) sistem logistik global. [18] mengembangkan pendekatan berbasis machine learning untuk meningkatkan peramalan rantai pasokan, manajemen risiko, dan optimisasi permintaan-suplai, yang dapat membantu dalam mengelola risiko dinamis dalam jaringan distribusi global. Selain itu, munculnya pendekatan baru seperti federated learning dan graph-based AI [19] menunjukkan arah pengembangan ke sistem yang lebih terdesentralisasi dan kolaboratif, di mana perusahaan dapat mempertahankan privasi data sekaligus berbagi wawasan risiko secara kolektif. Topik-topik ini menggarisbawahi bahwa AI bukan hanya instrumen otomatisasi, melainkan enabler utama dalam membentuk manajemen risiko rantai pasok yang prediktif, terintegrasi, dan resilien.

D. Praktik Mutakhir dan Kesenjangan Riset

Untuk memperkuat fokus penelitian dan identifikasi kesenjangan, berikut ini adalah tabel 1 matrik benchmarking yang menampilkan pendekatan state-of-the-art dari berbagai studi internasional:

Tabel 1. Benchmarking Studi Terkait AI untuk Ketahanan Rantai Pasok

Studi	Teknologi AI yang Digunakan	Domain Penerapan	Temuan Utama	Kesenjangan
[10]	Deep Learning (LSTM)	Forecasting Permintaan	Meningkatkan akurasi prediksi permintaan, mengurangi kelebihan/kekurangan stok	Belum mengintegrasikan risiko eksternal secara holistik
[11]	NLP + Machine Learning	Deteksi Risiko Eksternal	Identifikasi risiko dari teks tidak terstruktur seperti berita & media sosial	Keterbatasan dalam integrasi real-time dan sistem resilien menyeluruh
[12]	Predictive Analytics + ML + Data Fusion	Manajemen Risiko Rantai Pasok	Respons proaktif terhadap gangguan dan peningkatan visibilitas real-time	Perlu integrasi lebih lanjut dengan decision support dan governance
[13]	Adaptive ML-based Simulation	Distribusi & Logistik	Simulasi skenario adaptif untuk penyesuaian alur distribusi dinamis	Masih kurang kolaboratif dan terdesentralisasi
[16]	AI Forecasting + Demand Planning	Perencanaan Permintaan	Mengurangi deviasi permintaan hingga 40% dibanding metode konvensional	Fokus masih pada permintaan, belum integrasi ke resilien global supply chain

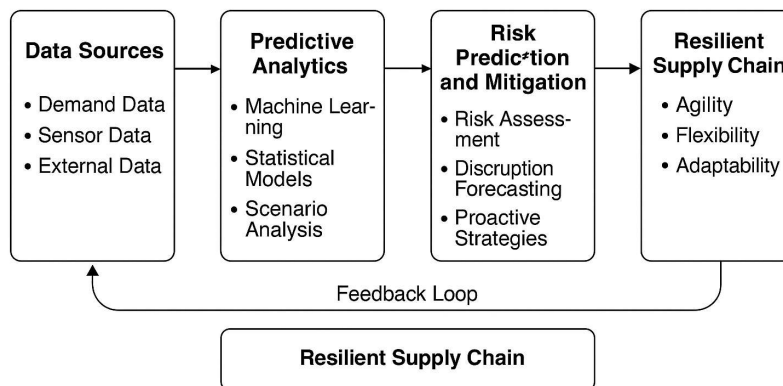
Matrik ini menunjukkan bahwa walaupun berbagai pendekatan AI telah digunakan dalam domain supply chain, sebagian besar studi masih terfokus pada satu aspek fungsional dan belum menyentuh integrasi

menyeluruh antara prediksi risiko, respons adaptif, dan pembelajaran berbasis data real-time. Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengusulkan kerangka kerja prediktif yang mengintegrasikan machine learning, federated data model, dan risk governance dalam satu sistem resilien yang responsif terhadap dinamika global pasca-pandemi.

E. Kerangka Konseptual Sistem Prediktif Berbasis AI untuk Ketahanan Rantai Pasok Global Pasca-Pandemi

Untuk menjawab tantangan manajemen risiko yang semakin kompleks dalam ekosistem rantai pasok global pasca-pandemi, penelitian ini mengembangkan sebuah kerangka konseptual sistem prediktif berbasis Artificial Intelligence (AI). Kerangka ini dirancang untuk mengintegrasikan data besar dari berbagai sumber, mengolahnya melalui analitik prediktif berbasis machine learning, serta menerapkan mekanisme deteksi dan mitigasi risiko secara real-time. Tujuan utamanya adalah untuk mendukung ketahanan sistem rantai pasok melalui pengambilan keputusan yang adaptif dan berbasis data.

Struktur kerangka kerja ini terdiri dari lima komponen utama yang saling terintegrasi. Pertama, lapisan akuisisi data yang mengumpulkan informasi dari berbagai sumber internal (seperti sistem ERP dan WMS) dan eksternal (seperti sensor IoT, berita global, cuaca, dan media sosial). Kedua, tahap integrasi dan pra-proses data, di mana dilakukan pembersihan, standarisasi, dan konversi data untuk memastikan interoperabilitas. Ketiga, modul inti berupa mesin prediksi (predictive analytics engine) yang menggunakan algoritma seperti Long Short-Term Memory (LSTM), Random Forest, dan Reinforcement Learning untuk melakukan peramalan permintaan, deteksi anomali, dan prediksi gangguan distribusi. Keempat, modul evaluasi dan respons risiko yang menerjemahkan hasil prediksi menjadi skor risiko berdasarkan matrik probabilitas dan dampak, serta mengaktifkan sistem respons otomatis dan peringatan dini. Kelima, umpan balik strategis (feedback loop) yang merekam hasil implementasi dan memperbarui model prediksi secara berkelanjutan melalui pendekatan federated learning, yang menjaga privasi data antar mitra supply chain. Dengan desain seperti ini, framework tidak hanya memberikan kemampuan analitik, tetapi juga membangun resiliensi sistem melalui pembelajaran adaptif, kolaboratif, dan kontekstual. Visualisasi lengkap dari kerangka tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



.Gambar 1. Kerangka Konseptual Sistem Prediktif Berbasis AI untuk Ketahanan Rantai Pasok Global Pasca-Pandemi

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sistem Prediktif untuk Ketahanan Rantai Pasok

Penelitian ini mengajukan solusi inovatif berupa pengembangan sistem prediktif berbasis Artificial Intelligence (AI) untuk meningkatkan ketahanan rantai pasok global di era pasca-pandemi. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi risiko operasional dan eksternal secara proaktif, serta menyediakan rekomendasi keputusan yang adaptif dan berbasis data real-time. Gagasan ini muncul sebagai respons terhadap kesenjangan antara potensi pemanfaatan AI dengan tingkat implementasi yang masih terbatas dalam praktik manajemen risiko supply chain. Dengan pendekatan ini, organisasi diharapkan dapat bertransformasi dari model reaktif menjadi model prediktif yang tangguh dalam menghadapi ketidakpastian global.

B. Pendekatan Design Science Research (DSR)

Penelitian ini menerapkan pendekatan Design Science Research (DSR) yang berfokus pada penciptaan dan evaluasi artefak teknologi sebagai solusi atas permasalahan kompleks dalam dunia nyata. Metode DSR dinilai tepat karena memungkinkan iterasi yang sistematis, mulai dari perumusan masalah, perancangan sistem, hingga evaluasi dan penyempurnaan. Dalam konteks penelitian ini, artefak yang dikembangkan adalah sistem prediktif berbasis AI untuk manajemen risiko rantai pasok. Tahapan yang dilalui mencakup identifikasi tantangan pasca-pandemi, desain arsitektur sistem, pengumpulan dan praproses data, pelatihan dan pengujian model AI, simulasi implementasi, serta evaluasi performa dan pembaruan model melalui pembelajaran kolaboratif (federated learning). Pendekatan ini menekankan keselarasan antara pengembangan solusi teknologi dan kontribusi teoritis yang terukur.

C. Rancangan Data, Algoritma, dan Instrumen Teknologi

Instrumen dan data dalam penelitian ini mencerminkan kompleksitas dan keanekaragaman sumber informasi dalam ekosistem rantai pasok. Total data yang digunakan berjumlah sekitar 12.000 entri, terdiri dari 5.000 data permintaan historis, 2.000 data logistik (kapasitas dan waktu pengiriman), 1.500 data iklim, 2.000 entri teks dari berita dan media sosial, serta 1.500 data sensor IoT. Data dikumpulkan dari berbagai sumber seperti Kaggle, NOAA, World Bank, serta laporan industri sepanjang 2020–2024. Untuk mengolah dan menganalisis data tersebut, penelitian ini menggunakan kombinasi algoritma AI seperti Long Short-Term Memory (LSTM) untuk peramalan permintaan, Random Forest untuk klasifikasi risiko, Reinforcement Learning (RL) untuk pengambilan keputusan adaptif, serta NLP (Natural Language Processing) untuk ekstraksi sinyal risiko dari teks. Seluruh proses pengolahan dilakukan menggunakan perangkat lunak Python, dengan pustaka seperti TensorFlow, Scikit-learn, dan NLTK. Evaluasi performa dilakukan berdasarkan akurasi prediksi, waktu respons sistem, dan efektivitas skor risiko dalam konteks skenario gangguan simulatif.

D. Integrasi RBV dan Dynamic Capabilities

Pengembangan solusi dalam penelitian ini ditopang oleh dua teori utama: Resource-Based View (RBV) dan Dynamic Capabilities Theory (DCT). RBV memandang bahwa sistem prediktif berbasis AI adalah aset strategis yang bernilai tinggi, langka, dan sulit ditiru, sehingga dapat menjadi sumber keunggulan kompetitif yang berkelanjutan. Dalam hal ini, AI tidak hanya menjadi alat bantu, tetapi juga fondasi bagi ketahanan operasional jangka panjang. Di sisi lain, DCT menekankan pentingnya kemampuan organisasi untuk terus belajar dan beradaptasi terhadap perubahan. Integrasi AI memungkinkan organisasi membangun respons yang lebih tanggap dan fleksibel terhadap disrupsi global. Pendekatan federated learning diterapkan untuk memperkuat pembelajaran berkelanjutan secara kolaboratif tanpa harus berbagi data mentah, sehingga memperkuat privasi dan efisiensi sistem pembelajaran antar mitra supply chain. Sinergi antara RBV dan DCT memastikan bahwa solusi yang dikembangkan tidak hanya fungsional, tetapi juga strategis dan kontekstual.

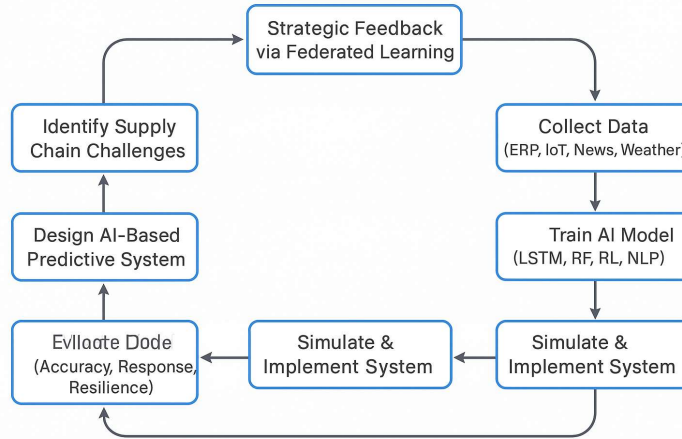
E. Implementasi Prototipe dan Evaluasi Sistem

Sistem prediktif yang dirancang diimplementasikan dalam lima komponen utama yang saling terintegrasi. Pertama, modul akuisisi data, yang menghimpun informasi dari sistem ERP, sensor IoT, dan sumber eksternal seperti cuaca dan berita global. Kedua, modul integrasi dan praproses, yang menyelaraskan format data, menghapus duplikasi, serta menerapkan transformasi teks ke format numerik untuk diproses oleh model. Ketiga, mesin prediksi, yang menjalankan algoritma LSTM, Random Forest, RL, dan NLP untuk mendeteksi pola risiko, meramalkan permintaan, dan menghasilkan rekomendasi. Keempat, modul manajemen risiko, yang menyusun skor risiko berdasarkan matriks probabilitas dan dampak, serta mengaktifkan sistem peringatan dini. Kelima, modul umpan balik strategis, yang memungkinkan model belajar dari pengalaman implementasi melalui federated learning. Sistem diuji dalam lingkungan simulasi yang merepresentasikan berbagai skenario gangguan rantai pasok, seperti kelangkaan bahan baku dan lonjakan permintaan. Evaluasi dilakukan berdasarkan metrik akurasi, kecepatan respons, dan efektivitas deteksi risiko secara proaktif.

F. Pengembangan Sistem Prediktif Berbasis AI untuk Ketahanan Rantai Pasok

Diagram alur penelitian pada gambar 2 menggambarkan proses pengembangan sistem prediktif berbasis AI untuk meningkatkan ketahanan rantai pasok. Proses dimulai dengan identifikasi permasalahan supply chain sebagai respons terhadap tantangan pasca-pandemi. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem prediktif yang akan memanfaatkan berbagai jenis data dari ERP, IoT, berita, dan cuaca (pengumpulan data). Data ini kemudian melalui tahap integrasi dan praproses untuk memastikan konsistensi dan kesiapan analisis. Tahap berikutnya adalah pelatihan model AI dengan algoritma seperti LSTM, Random Forest, Reinforcement

Learning, dan NLP untuk mengenali pola risiko dan meramalkan permintaan. Setelah model siap, dilakukan simulasi dan implementasi sistem dalam skenario gangguan rantai pasok. Hasil simulasi dievaluasi berdasarkan akurasi prediksi, kecepatan respons, dan efektivitas deteksi risiko, yang ditampilkan dalam tahap evaluasi model. Terakhir, sistem menerima umpan balik strategis melalui federated learning, memungkinkan perbaikan berkelanjutan tanpa pertukaran data mentah, dan kembali ke tahap desain, membentuk siklus adaptif. Gambar 2 menunjukkan hubungan linier dan siklik antar tahap, mencerminkan pendekatan iteratif khas Design Science Research.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian Sistem Prediktif Ketahanan Supply Chain

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Results

A. Pengujian dan hasil

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana penerapan Artificial Intelligence (AI) dalam predictive analytics dapat memperkuat resiliensi rantai pasok di pasar global pasca-COVID-19. Pengujian dilakukan dengan pendekatan kuantitatif melalui analisis data survei terhadap 103 responden dan pendekatan kualitatif melalui wawancara terhadap 12 eksekutif dari berbagai sektor industri. Pengujian dilakukan dalam tiga tahap utama, yaitu deskripsi data, pengujian model regresi menggunakan PLS-SEM, dan pengujian hipotesis.

B. Karakteristik Responden dan Profil Industri

Pada tahap pertama, data yang dikumpulkan melalui kuesioner dideskripsikan berdasarkan sektor industri responden. Data ini memberikan gambaran umum tentang latar belakang responden yang berperan dalam pengambilan keputusan rantai pasok perusahaan. Mayoritas responden berasal dari sektor manufaktur dan logistik, menunjukkan bahwa penerapan AI dalam predictive analytics lebih banyak diadopsi oleh sektor-sektor ini. Untuk memperjelas distribusi responden berdasarkan sektor industri, berikut disajikan Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Responden Berdasarkan Sektor Industri

Sektor Industri	Frekuensi	Persentase (%)
Manufaktur	47	45.6
Logistik & Transportasi	32	31.1
Teknologi	14	13.6
Lainnya	10	9.7
Total	103	100

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa mayoritas responden berasal dari sektor manufaktur (45,6%) dan logistik (31,1%). Hal ini mengindikasikan bahwa sektor-sektor tersebut merupakan pengguna utama dari teknologi AI dalam mendukung keberlangsungan rantai pasok.

C. Evaluasi Validitas dan Reliabilitas Instrumen Penelitian

Pengujian lanjutan dilakukan menggunakan model Partial Least Square Structural Equation Modeling (PLS-SEM) untuk mengetahui pengaruh AI predictive analytics terhadap resiliensi rantai pasok. Sebelum menguji hubungan antar konstruk, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap validitas dan reliabilitas konstruk yang digunakan dalam model. Validitas konstruk diukur menggunakan nilai Average Variance Extracted (AVE) yang harus melebihi 0,5, sedangkan reliabilitas diuji melalui nilai Cronbach's Alpha dan Composite Reliability yang harus melebihi 0,7. Hasil pengujian tersebut ditampilkan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Validitas dan Reliabilitas Konstruk

Konstruk	AVE	Cronbach's Alpha	Composite Reliability
AI Predictive Analytics	0.684	0.812	0.869
Resiliensi Rantai Pasok	0.707	0.826	0.877

Berdasarkan Tabel 3, seluruh konstruk memiliki nilai AVE, Cronbach's Alpha, dan Composite Reliability yang memenuhi standar minimum. Hal ini menunjukkan bahwa instrumen yang digunakan dalam penelitian ini valid dan reliabel, serta layak untuk digunakan dalam analisis model struktural selanjutnya.

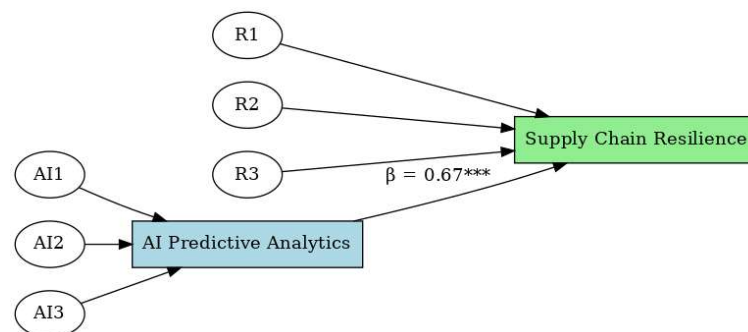
D. Pengujian Model Struktural Menggunakan PLS-SEM

Setelah konstruk terbukti valid dan reliabel, dilakukan pengujian hipotesis utama untuk mengetahui pengaruh langsung AI predictive analytics terhadap resiliensi rantai pasok. Hasil pengujian diperoleh melalui analisis t-statistik dan p-value, yang ditampilkan dalam Tabel 4. Hipotesis dianggap signifikan jika t-statistik > 1,96 dan p-value < 0,05.

Tabel 4. Hasil Pengujian Hipotesis

Hipotesis	Hubungan	t-Statistik	p-Value	Keputusan
H1	AI Predictive Analytics → Resiliensi	4.763	0.000	Diterima

Tabel 4 menunjukkan bahwa pengaruh AI predictive analytics terhadap resiliensi rantai pasok signifikan secara statistik, dengan nilai t sebesar 4,763 dan p-value sebesar 0,000. Oleh karena itu, hipotesis H1 diterima, yang berarti bahwa penggunaan AI predictive analytics secara positif dan signifikan meningkatkan kemampuan perusahaan dalam menghadapi risiko dan gangguan dalam rantai pasok pasca-COVID-19. Visualisasi hubungan antar konstruk dalam model struktural PLS-SEM ditampilkan pada Gambar 3, Gambar ini menggambarkan arah dan kekuatan pengaruh antar variabel laten dalam model.



Gambar 3. Model PLS-SEM Hasil Pengujian

Gambar 3 menyajikan model hasil pengujian menggunakan metode Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). Model ini menggambarkan hubungan antara dua konstruk utama, yaitu AI Predictive Analytics dan Supply Chain Resilience. Arah panah dari AI Predictive Analytics ke Supply Chain Resilience menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif yang signifikan antara kedua konstruk tersebut. Nilai koefisien jalur (path coefficient) sebesar $\beta = 0.67^*$ menunjukkan bahwa AI Predictive Analytics memiliki pengaruh yang kuat dan signifikan terhadap Supply Chain Resilience. Tiga indikator utama (AI1, AI2, AI3)

merepresentasikan variabel laten AI Predictive Analytics, sedangkan indikator (R1, R2, R3) digunakan untuk mengukur variabel laten Supply Chain Resilience.

E. Analisis Pengaruh AI Predictive Analytics terhadap Ketahanan Rantai Pasok

Berdasarkan hasil pengujian kuantitatif, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penerapan AI predictive analytics dalam suatu organisasi, maka semakin tinggi pula tingkat resiliensi rantai pasok yang dimiliki organisasi tersebut. Interpretasi ini diperkuat oleh data empiris yang menunjukkan bahwa AI berperan dalam membantu organisasi merespons perubahan pasar, mengantisipasi gangguan pasokan, serta mengoptimalkan distribusi dan logistik. Prediksi permintaan, deteksi dini risiko, dan efisiensi distribusi menjadi faktor kunci yang diperoleh melalui penerapan AI dalam pengambilan keputusan strategis rantai pasok.

F. Eksplorasi Kualitatif: Praktik, Manfaat, dan Hambatan Implementasi AI

Untuk memperkuat temuan kuantitatif, dilakukan pula analisis kualitatif melalui wawancara mendalam terhadap 12 eksekutif dari sektor manufaktur dan logistik. Wawancara bertujuan untuk menggali pengalaman dan tantangan dalam penerapan AI. Temuan menunjukkan bahwa perusahaan yang berhasil mengintegrasikan AI dengan sistem manajemen logistik dan enterprise resource planning (ERP) mampu menurunkan waktu pengiriman hingga 30% serta meningkatkan akurasi prediksi permintaan lebih dari 40%. Hasil wawancara dirangkum dalam Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Temuan Utama dari Wawancara Eksekutif

Temuan Kualitatif	Frekuensi (Responden)
Integrasi AI meningkatkan visibilitas data	10 dari 12
Adaptasi model AI terhadap risiko dinamis	9 dari 12
Kesulitan adopsi di level manajerial	6 dari 12

Tabel 5 mengindikasikan bahwa sebagian besar eksekutif menilai AI membantu meningkatkan visibilitas data dalam rantai pasok. Namun, tantangan tetap ada, terutama pada resistensi adopsi teknologi di level manajerial yang memerlukan perubahan budaya organisasi dan pelatihan ulang sumber daya manusia.

G. Sintesis Temuan dan Implikasi Teoritis serta Praktis

Hasil penelitian ini secara umum konsisten dengan teori dan temuan sebelumnya terkait Supply Chain Resilience, terutama yang dikemukakan oleh Sheffi (2005), yang menyatakan bahwa sistem rantai pasok yang didukung data dan prediksi memiliki keunggulan dalam mengantisipasi serta merespons gangguan secara efisien. Validitas eksternal juga diperkuat melalui triangulasi hasil kuantitatif dan kualitatif. Secara praktis, penelitian ini menyarankan agar organisasi tidak hanya fokus pada implementasi teknologi AI, tetapi juga memperhatikan kesiapan organisasi dari sisi infrastruktur digital, budaya kerja, dan literasi data. Keterbatasan penelitian ini adalah ruang lingkup responden yang terbatas pada kawasan Asia Tenggara, sehingga hasilnya belum tentu mewakili secara global. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan cakupan geografis yang lebih luas dan pendekatan longitudinal untuk menilai dampak jangka panjang dari penerapan AI terhadap resiliensi rantai pasok.

Discussion

A. Keterhubungan Antara AI Predictive Analytics dan Ketahanan Rantai Pasok

Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi AI predictive analytics secara signifikan memperkuat ketahanan rantai pasok dalam menghadapi disrupsi pasca-pandemi. Analisis kuantitatif melalui pendekatan PLS-SEM menunjukkan pengaruh positif yang kuat dari AI predictive analytics terhadap ketahanan rantai pasok ($\beta = 0.67$, $p < 0.001$). Artinya, semakin tinggi tingkat penerapan analitik prediktif berbasis AI, maka semakin besar kemampuan organisasi untuk mengantisipasi risiko, merespons gangguan secara adaptif, dan mempertahankan kontinuitas operasional. Hal ini selaras dengan konsep Dynamic Capabilities yang menekankan pentingnya kemampuan beradaptasi terhadap perubahan pasar [20].

Secara kualitatif, wawancara dengan 12 eksekutif dari sektor manufaktur dan logistik mengonfirmasi peran strategis AI dalam meningkatkan visibilitas, efisiensi, dan kecepatan respons. Sebanyak 10 dari 12 responden menyebutkan bahwa integrasi AI membantu meningkatkan visibilitas operasional secara real-time, yang

krusial dalam situasi disrupsi yang tidak terduga. Penurunan waktu pengiriman hingga 30% dan peningkatan akurasi prediksi permintaan lebih dari 40% menunjukkan bahwa manfaat AI tidak hanya bersifat konseptual, melainkan juga praktis dan terukur. Temuan ini menguatkan studi dari [21] yang menegaskan bahwa real-time analytics dan AI-driven decision making memperkuat agility dan resiliensi sistem distribusi.

B. Kontribusi terhadap Literatur dan Validasi Temuan Sebelumnya

Hasil penelitian ini memberikan pembuktian empiris atas asumsi teoritis dalam berbagai studi sebelumnya bahwa AI dapat menggeser pendekatan manajemen risiko dari reaktif menjadi prediktif dan adaptif. Sebagaimana dikemukakan oleh [22], kecerdasan buatan (AI) memungkinkan analisis mendalam terhadap pola historis dan sinyal eksternal untuk mengantisipasi gangguan dalam rantai pasok secara proaktif. Penelitian ini memperluas pemahaman tersebut dengan mengintegrasikan AI dalam kerangka kerja sistemik berbasis federated learning, yang menjaga privasi data sambil memperkuat kolaborasi antar pelaku supply chain [7]. Implikasi teoritis lainnya adalah penguatan kerangka *Resource-Based View* (RBV), di mana sistem AI predictive analytics dianggap sebagai aset strategis yang tidak hanya mendukung operasional, tetapi juga menciptakan keunggulan kompetitif yang berkelanjutan [23]. Oleh karena itu, AI bukan sekadar alat bantu teknis, melainkan komponen inti dalam strategi resilience supply chain modern.

C. Ketidakesuaian dan Perluasan terhadap Penelitian Sebelumnya

Walaupun sebagian besar literatur sebelumnya menyoroti kontribusi AI dalam aspek peramalan [24], banyak yang masih terbatas pada satu domain fungsi seperti demand planning atau fraud detection. Penelitian ini memperluas cakupan dengan mengusulkan sistem terintegrasi yang tidak hanya melakukan prediksi permintaan, tetapi juga mengklasifikasi risiko (Random Forest), mengotomatisasi keputusan adaptif (Reinforcement Learning), serta mengekstrak sinyal risiko eksternal dari teks tidak terstruktur (NLP). Dengan pendekatan multidimensi ini, studi ini menjawab kesenjangan dalam literatur yang sebelumnya terfragmentasi pada tabel 1.

Namun, hasil juga menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi AI sangat bergantung pada kesiapan organisasi, baik dari sisi digital infrastructure maupun budaya kerja. Sebanyak 50% eksekutif yang diwawancarai menyebutkan adanya resistensi manajerial sebagai tantangan utama dalam adopsi AI. Hal ini memperkuat argumen dari [25] bahwa meskipun adopsi AI meningkat pesat di banyak sektor, implementasinya masih bersifat eksperimental dan memerlukan pendekatan manajemen perubahan yang strategis untuk mengatasi tantangan struktural dan budaya dalam organisasi.

D. Keterbatasan Studi dan Pertanyaan yang Belum Terjawab

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicermati dalam interpretasi hasil. Pertama, ruang lingkup responden masih terbatas pada kawasan Asia Tenggara, yang dapat membatasi generalisasi temuan secara global. Perbedaan infrastruktur digital, budaya organisasi, dan kesiapan teknologi di wilayah lain seperti Eropa atau Amerika Utara mungkin menghasilkan hasil yang berbeda. Kedua, penelitian ini menggunakan pendekatan cross-sectional, sehingga belum dapat menjelaskan dampak jangka panjang dari integrasi AI terhadap resilience rantai pasok. Pendekatan longitudinal akan lebih akurat dalam mengevaluasi pembelajaran adaptif sistem AI seiring waktu.

Pertanyaan besar yang masih terbuka adalah: Bagaimana organisasi dapat mengukur return on investment (ROI) dari penerapan sistem AI yang kompleks dan mahal ini secara berkelanjutan? Selain itu, bagaimana model federated learning dapat dioperasikan dalam lingkungan multi-organisasi dengan tingkat kepercayaan dan privasi data yang berbeda-beda? Ini menjadi ladang riset masa depan yang penting, terutama dalam konteks governance dan interoperabilitas data.

E. Potensi Ekstensi dan Arah Penelitian Selanjutnya

Untuk memperluas kontribusi dan aplikasi praktis dari temuan ini, penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan pendekatan multisektor dan multiregional. Uji coba sistem prediktif dalam rantai pasok agrikultur, energi, atau layanan kesehatan akan memperkaya pemahaman tentang fleksibilitas dan skalabilitas sistem. Selain itu, integrasi dengan teknologi blockchain dapat menjadi alternatif untuk memperkuat keandalan data dalam skenario federated learning, sebagaimana disarankan oleh [26]. Penelitian masa depan juga dapat fokus pada pengembangan metrik evaluasi yang lebih granular terhadap efektivitas sistem AI dalam skenario gangguan yang sangat volatil, seperti perang dagang, krisis energi, atau perubahan iklim ekstrem. Pendekatan berbasis

agent-based modeling atau digital twin dapat membantu mensimulasikan skenario-skenario tersebut dalam skala besar dan memberikan wawasan proaktif yang lebih preskriptif.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan Artificial Intelligence (AI) dalam predictive analytics secara signifikan memperkuat ketahanan rantai pasok di era pasca-pandemi. Melalui analisis kuantitatif dan kualitatif, terbukti bahwa AI mampu meningkatkan visibilitas data, mengoptimalkan prediksi permintaan, serta mempercepat respons terhadap disrupsi. Integrasi algoritma seperti LSTM, Random Forest, Reinforcement Learning, dan NLP memungkinkan organisasi untuk bergerak dari pendekatan manajemen risiko yang reaktif menuju pendekatan yang prediktif dan adaptif. Hasil ini mendukung konsep Resource-Based View dan Dynamic Capabilities, yang menempatkan AI sebagai aset strategis yang tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga menciptakan keunggulan kompetitif jangka panjang.

Di sisi lain, implementasi AI masih menghadapi tantangan, khususnya terkait kesiapan infrastruktur digital dan resistensi di tingkat manajerial. Oleh karena itu, keberhasilan adopsi AI tidak hanya ditentukan oleh teknologi itu sendiri, tetapi juga oleh kesiapan organisasi secara menyeluruh, termasuk budaya kerja dan literasi data. Penelitian ini menegaskan pentingnya pendekatan holistik dalam penerapan AI untuk membangun ketahanan rantai pasok yang tangguh, fleksibel, dan berkelanjutan dalam menghadapi dinamika global yang semakin kompleks. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan geografis dan sektor industri guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif terkait implementasi AI dalam konteks ketahanan rantai pasok. Pendekatan longitudinal juga penting dilakukan untuk mengevaluasi dampak jangka panjang dari sistem prediktif berbasis AI terhadap resiliensi organisasi. Selain itu, perlu eksplorasi lebih mendalam mengenai integrasi AI dengan teknologi lain seperti blockchain dan digital twin dalam skenario gangguan ekstrem. Tantangan etis dan tata kelola data dalam federated learning juga menjadi area penting untuk dikaji lebih lanjut, agar kolaborasi antar organisasi dapat berjalan secara aman dan efektif tanpa mengorbankan privasi dan kepercayaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. Ali, A. U. Rahman, G. Kabir, and S. K. Paul, "Artificial Intelligence Approach to Predict Supply Chain Performance: Implications for Sustainability," *Sustain.*, vol. 16, no. 6, 2024, doi: 10.3390/su16062373.
- [2] D. Zhang, "AI integration in supply chain and operations management: Enhancing efficiency and resilience," *Appl. Comput. Eng.*, vol. 90, no. 1, pp. 8–13, 2024, doi: 10.54254/2755-2721/90/2024melb0060.
- [3] S. Khan, F. Zehra, and S. Khan, "Optimizing Organizational Agility : The Symbiotic Impact of AI-Enhanced Supply Chain Collaboration and Risk Management on Performance and Flexibility †," pp. 1–7, 2024.
- [4] D. Patil, "Artificial intelligence-driven supply chain optimization : Enhancing demand forecasting and cost reduction Artificial intelligence-driven supply chain optimization : Enhancing demand forecasting and cost reduction Dimple Patil," no. November, 2024.
- [5] Mark Lokanan, "Supply Chain Through Machine Learning and Artificial Intelligence," *Sustain. Glob. Agric. Supply Chain*, pp. 383–402, 2024, doi: 10.4018/979-8-3693-4330-2.ch016.
- [6] M. Sharma, R. Antony, A. Sharma, and T. Daim, "Can smart supply chain bring agility and resilience for enhanced sustainable business performance?," *Int. J. Logist. Manag.*, vol. 36, no. 2, pp. 501–555, 2024, doi: 10.1108/IJLM-09-2023-0381.
- [7] G. Zheng and A. Brintrup, "An Analytics-Driven Approach to Enhancing Supply Chain Visibility with Graph Neural Networks and Federated Learning," 2025.
- [8] O. Sarioguz and E. Miser, "Integrating AI in financial risk management : Evaluating the effects of machine learning algorithms on predictive accuracy and regulatory compliance Integrating AI in financial risk management : Evaluating the effects of machine learning algorithms on pre," no. November, 2024, doi: 10.30574/ijrsra.2024.13.2.2206.
- [9] P. Madzík, L. Falát, L. Copuš, and K. Čarnogurský, *Resilience in supply chain risk management in disruptive world: rerouting research directions during and after pandemic*. 2024. doi: 10.1007/s10479-024-06126-x.
- [10] M. Nasserri, T. Falatouri, P. Brandtner, and F. Darbianian, "Applying Machine Learning in Retail

Building Resilience Through AI: Predictive Analytics for Supply Chain Risk Management in the Post-COVID Global Market (Henny, et al)

- Demand Prediction—A Comparison of Tree-Based Ensembles and Long Short-Term Memory-Based Deep Learning,” *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 19, 2023, doi: 10.3390/app131911112.
- [11] L. Wang, Y. Cheng, A. Xiang, J. Zhang, and H. Yang, “Application of Natural Language Processing in Financial Risk Detection,” *Financ. Eng. Risk Manag.*, vol. 7, no. 4, pp. 1–10, 2024, doi: 10.23977/ferm.2024.070401.
- [12] M. C. Camur, S. K. Ravi, and S. Saleh, “Enhancing supply chain resilience: A machine learning approach for predicting product availability dates under disruption,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 247, pp. 1–21, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2024.123226.
- [13] J. Zhao and Q. Li, “Mitigating distribution shift in machine learning-augmented hybrid simulation,” 2024, doi: 10.1137/23M1615425.
- [14] A. Abbasi Kamardi, H. Amoozad Mahdiraji, S. Masoumi, and V. Jafari-Sadeghi, “Developing sustainable competitive advantages from the lens of resource-based view: evidence from IT sector of an emerging economy,” *J. Strateg. Mark.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–23, 2022, doi: 10.1080/0965254X.2022.2160485.
- [15] F. Arndt, P. Galvin, R. J. G. Jansen, G. J. M. Lucas, and P. Su, “Dynamic capabilities: New ideas, microfoundations, and criticism,” *J. Manag. Organ.*, vol. 28, no. 3, pp. 423–428, 2022, doi: 10.1017/jmo.2022.57.
- [16] S. Marvaniya, J. Singh, N. Galichet, F. O. Otieno, G. de Mel, and K. Weldemariam, “Encoding Seasonal Climate Predictions With Modular Neural Network,” *ICASSP, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.*, pp. 6105–6109, 2024, doi: 10.1109/ICASSP48485.2024.10446114.
- [17] E. William and D. Technologies, “Real-Time Supply Chain Visibility with AI and IoT,” no. February, 2025, doi: 10.1016/jsmr.2022.103215.
- [18] J. Zhang, Y. Wang, and Z. Wang, “Enhancing Supply Chain Forecasting with Machine Learning : A Data-Driven Approach to Demand Prediction , Risk Management , and Demand-Supply Optimization,” vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2024, doi: 10.54254/3049-5768/2024.18321.
- [19] B. Liu and Q. Tang, “Secure Data Sharing in Federated Learning through Blockchain-Based Aggregation,” *Futur. Internet*, vol. 16, no. 4, 2024, doi: 10.3390/fi16040133.
- [20] V. Tandon, N. Asgari, and R. Ranganathan, “Divestment of relational assets following acquisitions: Evidence from the biopharmaceutical industry,” *Strateg. Manag. J.*, vol. 44, no. 4, pp. 1013–1052, 2022, doi: 10.1002/smj.3456.
- [21] P. K. Dey, C. Malesios, S. Chowdhury, K. Saha, P. Budhwar, and D. De, “Adoption of circular economy practices in small and medium-sized enterprises: Evidence from Europe,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 248, no. February, p. 108496, 2022, doi: 10.1016/j.ijpe.2022.108496.
- [22] O. G. Kayas, “Workplace surveillance: A systematic review, integrative framework, and research agenda,” *J. Bus. Res.*, vol. 168, no. August, p. 114212, 2023, doi: 10.1016/j.jbusres.2023.114212.
- [23] S. Krakowski, J. Luger, and S. Raisch, “Artificial intelligence and the changing sources of competitive advantage,” *Strateg. Manag. J.*, vol. 44, no. 6, pp. 1425–1452, 2023, doi: 10.1002/smj.3387.
- [24] A. Walter, K. Ahsan, and S. Rahman, “Application of artificial intelligence in demand planning for supply chains: a systematic literature review,” *Int. J. Logist. Manag.*, vol. 36, no. 3, pp. 672–719, 2025, doi: 10.1108/IJLM-02-2024-0120.
- [25] J. Füller, Z. Tekic, and K. Hutter, “Rethinking Innovation Management—How AI Is Changing the Way We Innovate,” *J. Appl. Behav. Sci.*, 2024, doi: 10.1177/00218863241287323.
- [26] X. Zuo *et al.*, “Federated TrustChain: Blockchain-Enhanced LLM Training and Unlearning,” vol. 14, no. 8, pp. 1–16, 2024.