

Literature Review : Penerapan Machine Learning Pada Supply Chain Management

Muhammad Fauzani Akbar^{1*}, Ita Damaris Br Munthe², Albert Julian Marito Silaban³, Ahmad Dwi Abiyyu⁴, Artha Putri Br Karo⁵

^{1,2,3,4}Manajemen Bisnis, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia

⁵Administrasi Bisnis, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia

Email: ¹muhammadfauzaniakbar@students.polmed.ac.id, ²itadamarisbr@students.polmed.ac.id,

³albertsilaban@students.polmed.ac.id, ⁴ahmaddwiabiyyu@students.polmed.ac.id, ⁵arthaputri@polmed.ac.id

Email Penulis Korespondensi: ¹ arthaputri@polmed.ac.id

Abstrak—Meskipun pemanfaatan *Machine Learning* (ML) dalam *Supply Chain Management* (SCM) kian masif, literature yang tersedia saat ini cenderung terfragmentasi. Belum ditemukan sintesis sistematis yang secara tajam memetakan efektivitas ML dalam menghadapi volatilitas ekstrim pada periode 2020-2025. Studi ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut melalui *Systematic Literature Review* (SLR) berbasis protokol PRISMA dan analisis tematik VOSviewer terhadap literatur kunci dari ScienceDirect. Temuan kami menunjukkan dominasi supervised learning, dengan algoritma ensemble mampu mencapai akurasi luar biasa (R^2 hingga 0,99). Lebih jauh riset ini mengungkap pergeseran paradigma dari sekedar prediksi angka menuju analitik perspektif dan mitigasi risiko demi membangun resiliensi rantai pasok. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada konsolidasi metrik evaluasi lintas sektor serta rekomendasi transisi menuju sistem pengambilan keputusan lebih adaptif. Dengan demikian, SLR ini memposisikan ML sebagai instrumen strategis untuk navigasi ketidakpastian yang ada, sekaligus menutup celah kerangka kerja integratif yang selama ini terabaikan pada penelitian sebelumnya.

Kata Kunci: Machine Learning, Supply Chain Management, Forecasting, Prediksi, Analisis.

Abstract—While the adoption of Machine Learning (ML) in Supply Chain Management (SCM) has grown massively, current literature remains fragmented. A systematic synthesis specifically mapping ML's effectiveness against the extreme volatility of the 2020-2025 period is notably absent. This study addresses this gap through a Systematic Literature Review (SLR) using the PRISMA protocol and VOSviewer thematic analysis of key publications from ScienceDirect. Our findings reveal a dominance of supervised learning, where ensemble algorithms consistently achieve exceptional accuracy (R^2 up to 0.99). Furthermore, this research uncovers a crucial paradigm shift from simple numeric prediction toward prescriptive analytics and risk mitigation to strengthen supply chain resiliency. The primary contribution of this study lies in consolidating cross-sector evaluation metrics and recommending a transition toward adaptive decision-making systems. Thus, this SLR positions ML as a strategic instrument for navigating global uncertainty, while effectively closing the integrative framework gap overlooked in previous research.

Keywords: Machine Learning, Supply Chain Management, Forecasting, Prediction, Analysis.

1. PENDAHULUAN

Supply Chain Management (SCM) kini beroperasi dalam ekosistem global yang semakin kompleks, ditandai oleh volatilitas permintaan, ketidakpastian geopolitik, variabilitas pasokan, serta percepatan digitalisasi di berbagai sektor industri [1]. Perkembangan Era Industri 4.0 turut mempercepat transformasi tersebut melalui integrasi teknologi seperti Internet of Things (IoT), otomatisasi, dan analitik berbasis data, yang secara fundamental mengubah SCM dari proses linier menjadi jaringan kolaboratif yang adaptif dan responsif [2]. Kondisi ini menuntut pendekatan pengambilan keputusan yang lebih cerdas dan fleksibel. Selain itu, SCM merupakan salah satu fungsi strategis yang memiliki peran penting dalam memastikan kelancaran operasi bisnis, terutama dalam konteks persaingan global dan dinamika pasar yang semakin kompleks. SCM tidak hanya bertanggung jawab terhadap aliran barang dan informasi, tetapi juga mencakup integrasi proses dari pemasok hingga akhir untuk menciptakan nilai secara efisien [3]. Namun, dalam praktiknya banyak usaha menghadapi berbagai tantangan seperti fluktuasi permintaan, keterbatasan kapasitas produksi, keterlambatan pengiriman, serta ketidakpastian pasokan bahan baku. Tantangan ini dapat menimbulkan konsekuensi serius berupa meningkatnya biaya operasional, rendahnya tingkat layanan pelanggan, dan terganggunya stabilitas rantai pasok [4]. Ditengah kondisi tersebut, organisasi membutuhkan sistem pengambilan keputusan yang efektif dan mampu merespon perubahan secara cepat dan akurat.

Sejalan dengan permasalahan tersebut, pendekatan tradisional dalam peramalan, seperti regresi linear dan model ARIMA, memiliki keterbatasan. Teknik tradisional ini umumnya mengasumsikan linearitas data, sehingga kurang efektif dalam menangkap pola non-linear dan heterogen yang justru sering muncul dalam rantai pasok dunia nyata [5]. Sebaliknya, machine learning (ML) dapat memodelkan hubungan multivariat kompleks dan memproses data dalam skala besar. [6] menunjukkan bahwa model berbasis ensemble mampu mencapai koefisien determinasi hingga 0,99 dalam peramalan penjualan, sehingga menurunkan kesalahan. Keunggulan lain ML

adalah kemampuannya dalam mendeteksi anomali, pola tersembunyi, serta menyesuaikan model secara real time. Dengan demikian, ML menawarkan fleksibilitas dan kekuatan komputasi lebih baik dibanding metode konvensional untuk menghadapi dinamika dan big data SCM.

ML sendiri juga banyak diterapkan dalam berbagai tugas, seperti mengusulkan pendekatan hierarchical forecasting bertahap, di mana setiap level rantai diprediksi secara independen dengan ML dan hasilnya digabungkan untuk prediksi tingkat lebih tinggi, metode ini terbukti meningkatkan akurasi peramalan sebesar 82-90% dibanding metode *top-down* atau *bottom-up* tradisional [7]. Selain itu, ML juga digunakan untuk deteksi anomali dan peringatan dini melalui model unsupervised anomaly detection mereka menemukan bahwa indikator ekonomi seperti harga susu mentah dapat menjadi sinyal awal terjadinya risiko keamanan pangan sebelum gejala nyata muncul [8]. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, terbukti bahwa *machine learning* memiliki manfaat yang sangat besar pada SCM khususnya dalam peramalan, dengan hasil peramalan yang akurat akan mudah bagi perusahaan untuk melakukan mitigasi atau perencanaan yang tepat.

Dengan berkembangnya ML dalam SCM tentu ada banyak studi literatur terkait. Namun, belum ada tinjauan literatur sistematis yang khusus membahas tema peramalan berbasis ML secara komprehensif. [9] bahkan menyatakan bahwa hingga kini “belum ada tinjauan yang meneliti secara spesifik penerapan dan hambatan ML dalam konteks supply chain”. Studi-studi yang ada cenderung terfokus pada aspek tertentu atau periode terbatas. Selain itu, pendekatan dan matrik evaluasi yang digunakan masih tersebar luas: misalnya, beberapa penelitian membahas forecasting untuk 3PL dan logistik general, visibilitas jaringan pasok [10], peramalan penjualan dan permintaan, prediksi disrupsi industri tekstil, hingga sistem peringatan keamanan pangan [8]. Variasi tersebut menunjukkan kebutuhan akan sintesis terstruktur yang dapat mengkonsolidasikan temuan-temuan lintas sektor dan metodologi.

Penelitian ini mengisi kekosongan dengan menyajikan tinjauan sistematis yang memetakan penerapan ML dalam forecasting SCM periode 2020–2025. Dengan merangkum metode, algoritma, metrik, dan kasus industri yang beragam, SLR ini diharapkan menjadi rujukan bagi peneliti dan praktisi. Hal ini penting mengingat, misalnya, [4] menunjukkan bahwa sistem peringatan dini berbasis ML dapat memberi waktu kritis bagi produsen untuk mencegah masalah keamanan pangan, serta [6] menegaskan bahwa peningkatan akurasi peramalan melalui ML memungkinkan pengelolaan inventori lebih efisien dan keputusan bisnis yang lebih baik. Kontribusi riset ini terletak pada penggambaran tren *high-precision* forecasting, identifikasi gap yang belum tersentuh (seperti kebutuhan model preskriptif dan mitigasi risiko), serta rekomendasi pengembangan SCM berbasis data. Urgensi kajian ini semakin meningkat di era Industri 4.0, di mana kemampuan prediktif yang tinggi menjadi kunci keberlanjutan dan daya saing rantai pasok modern.

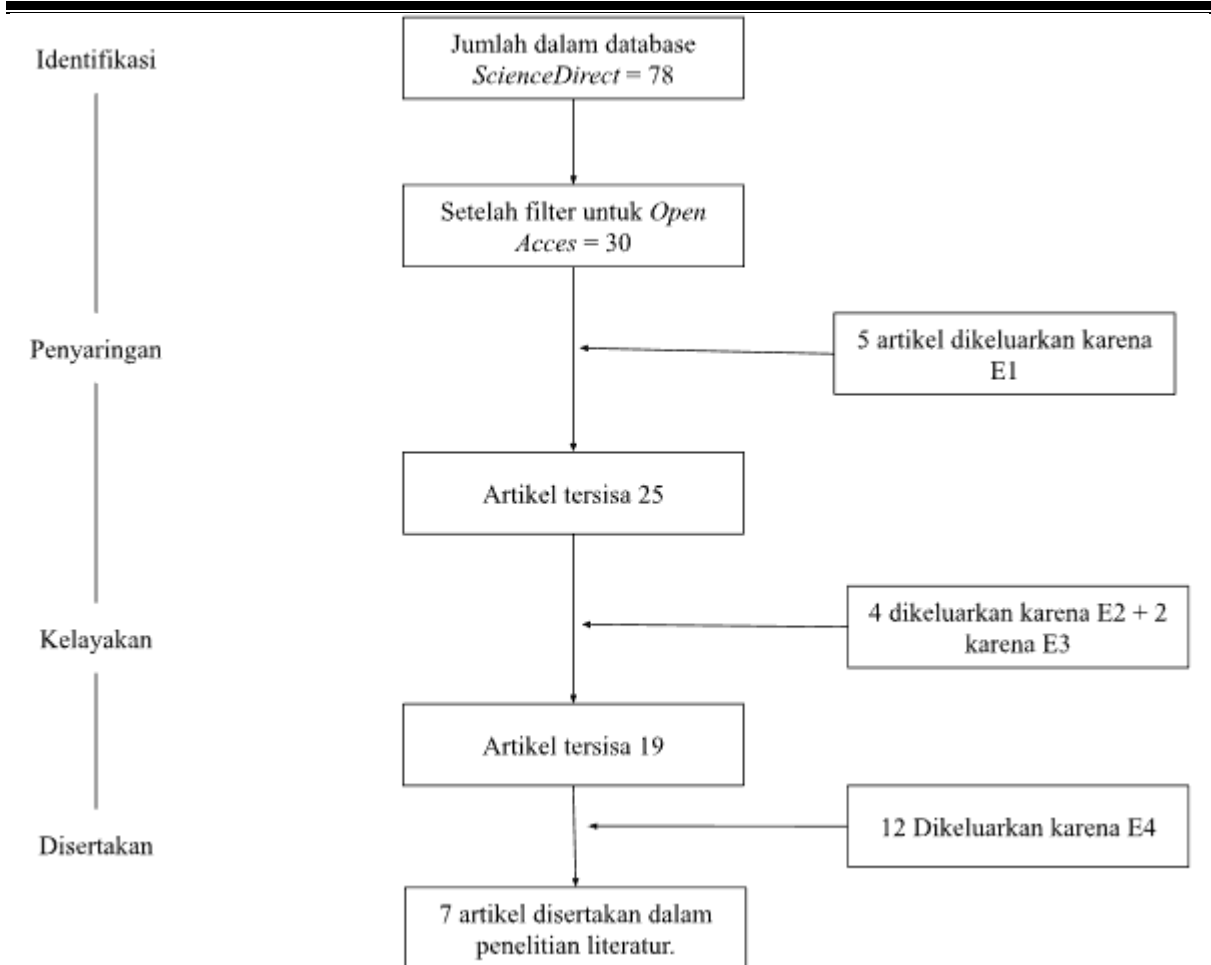
2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam studi ini metodologi yang digunakan adalah Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), yang sudah secara luas digunakan di berbagai penelitian khususnya dalam tinjauan sistematis dan meta analisis Furlan [14]. Untuk penyajian protokol pencarian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Protokol Pencarian

Data Source	ScienceDirect Database
Kata Kunci	“machine learning”, dan “supply chain management”
Periode	Dari 2020 sampai 2025
Bahasa	Inggris
Dokumen	Artikel Jurnal

Proses pengambilan sampel dirangkum dalam Gambar 1. Pada awalnya, 65 artikel diidentifikasi dengan menerapkan protokol pencarian di Tabel 1, dan 7 artikel dimasukkan dalam sampel akhir untuk analisis selanjutnya (Lihat Gambar 1).



Gambar 1. Strategi Sistematis Review

E1 dikeluarkan karena tidak relevan, E2 tidak menyajikan implementasi teknis, E3 berupa ulasan literatur, E4 tidak fokus pada forecasting.

2.1 PROTOKOL SELEKSI LITERATUR (PRISMA)

Berdasarkan Gambar 1, proses seleksi literatur menggunakan pendekatan PRISMA terdiri dari empat tahapan utama: identifikasi, penyaringan, kelayakan, dan disertakan. Setiap tahap dilakukan secara sistematis untuk memastikan artikel yang terpilih benar-benar relevan dan memenuhi kriteria penelitian terkait penerapan *machine learning* dalam *supply chain management* [11]. Selain proses seleksi literatur, penelitian ini juga melakukan evaluasi kualitas (*quality appraisal*) terhadap artikel terpilih menggunakan instrumen MAIC-10 (Must AI Criteria-10) yang diadaptasi untuk konteks penelitian *machine learning* dalam SCM [9]. Evaluasi ini bertujuan untuk memastikan kualitas metodologi artikel dan meminimalkan potensi bias dalam proses sintesis literatur.

1. Identification

Tahap identifikasi dilakukan dengan menelusuri database *ScienceDirect*, yang dipilih karena menyediakan jurnal bereputasi dengan fokus pada bidang teknologi transformasi, manajemen, dan sistem industri. Proses pencarian menggunakan kombinasi kata kunci “*machine learning*” dan “*supply chain management*” dengan batasan tahun publikasi 2020-2025. Dari tahap ini diperoleh 78 artikel awal.

2. Screening

Tahap penyaringan dilakukan untuk mempersempit jumlah artikel berdasarkan aksesibilitas dan relevansi awal. Artikel disaring berdasarkan status *open access*, sehingga tersisa 30 artikel. Selanjutnya, dilakukan penilaian relevansi berdasarkan judul dan kata kunci dengan mencocokkan keterkaitan artikel terhadap penerapan *machine learning* dalam konteks operasional *Supply Chain Management*. Artikel yang tidak membahas penerapan ML pada aktivitas SCM dikeluarkan pada tahap ini, sehingga 5 artikel dikeluarkan dan diperoleh 25 artikel.

3. Eligibility

Pada tahap kelayakan, dilakukan peninjauan abstrak dan teks lengkap menggunakan kriteria inklusi berfokus pada konteks operasional SCM dengan fokus pada aktivitas *forecasting* atau prediksi. Pada tahap ini, 4 artikel dikeluarkan karena tidak menyajikan implementasi teknis machine learning dalam konteks SCM. Kemudian 2 artikel dikeluarkan karena hanya berupa ulasan literatur tanpa eksperimen. Sehingga artikel tersisa adalah 19 artikel.

4. Included

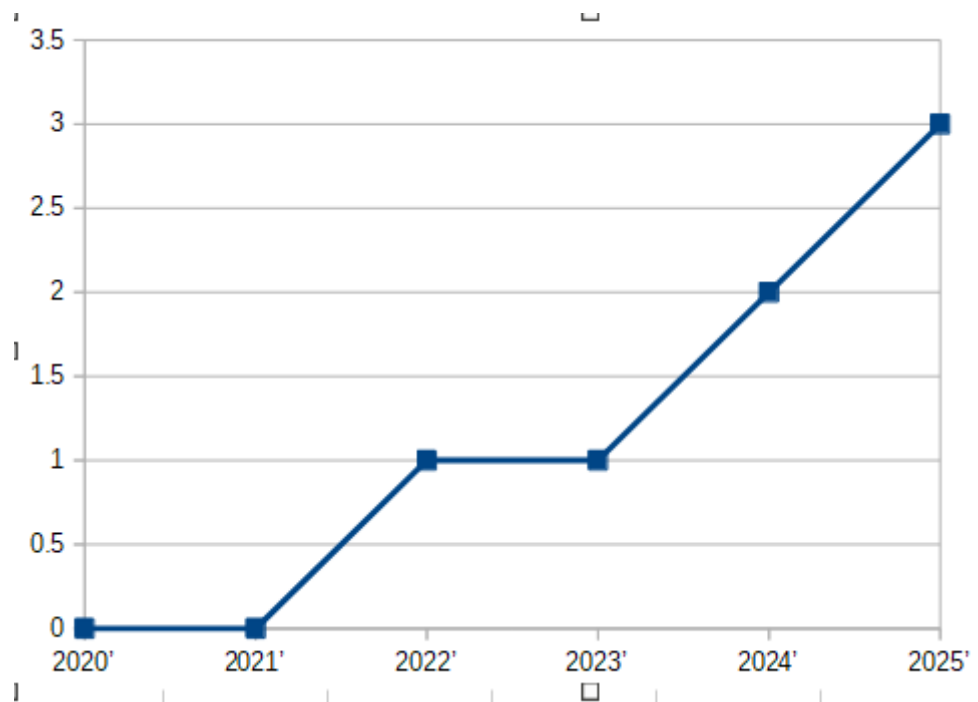
Tahap akhir (*included*) dilakukan untuk memastikan bahwa artikel memiliki kontribusi empiris dan kesesuaian dengan fokus penelitian. Dari 19 artikel empiris yang tersedia, 12 artikel dikeluarkan karena meskipun relevan dengan machine learning dan SCM, fokus utamanya tidak berkaitan dengan aktivitas *forecasting*. Dengan demikian, diperoleh 7 artikel final yang secara langsung membahas penerapan machine learning dalam aktivitas *forecasting* pada Supply Chain Management yang menjadi dasar utama sintesis literatur dan penilaian kualitas menggunakan MAIC-10..

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuh artikel dipilih dengan periode 2020 hingga 2025. Berdasarkan uraian sub-bab sebelumnya penggunaan model tinjauan pustaka sistematis dalam metode pengumpulan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Pengolahan data menjadi informasi baru merupakan langkah dalam metodologi analisis data, hal itu berusaha untuk membuat fitur data yang ada lebih mudah dipahami.

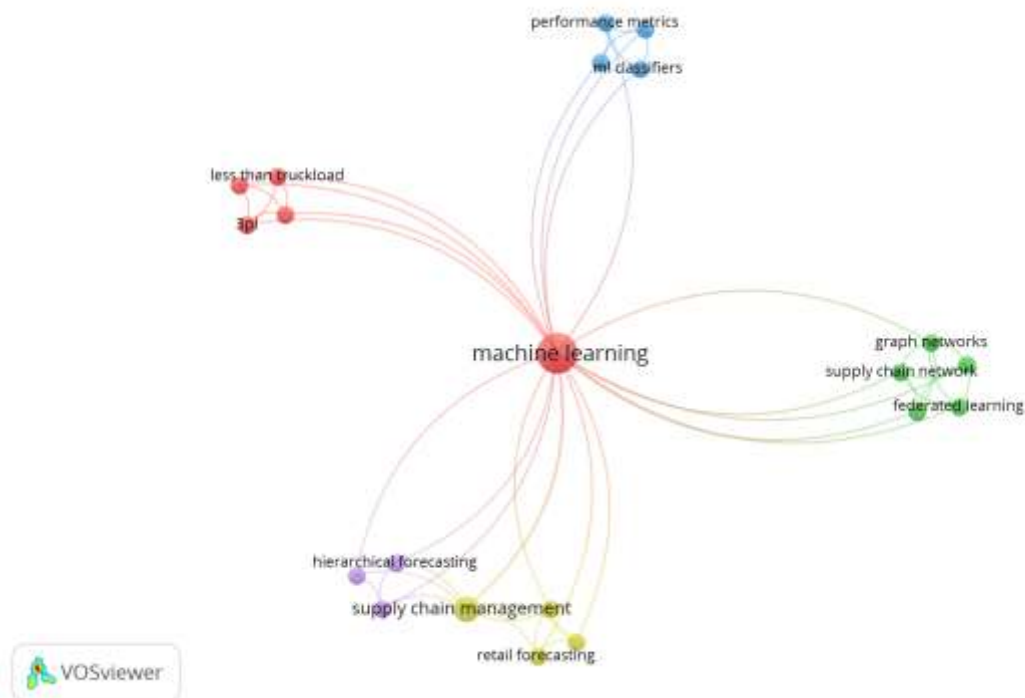
3.1 Gambaran Deskriptif Jurnal

Agar sistematisa literature review lebih terstruktur, gambaran deskriptif mencoba mendeskripsikan objek dan subjek yang dipelajari dari setiap jurnal atau artikel dalam bentuk tabel dan diagram untuk melihat informasi secara lebih jelas dan lebih luas. Berikut Tabel 2. Daftar jurnal terpilih.



Gambar 2. Jumlah Publikasi Berdasarkan Tahun

Terlihat pada Gambar 2. Jumlah Publikasi Berdasarkan Tahun memperlihatkan distribusi publikasi berdasarkan tahun terbit. Dari hasil terdapat diamati adanya tren peningkatan jumlah publikasi yang membahas penerapan machine learning dalam konteks SCM. Temuan ini menunjukkan bahwa topik tersebut mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, seiring dengan kemajuan teknologi dan kebutuhan efisiensi dalam SCM modern. Peningkatan ini sejalan dengan perkembangan teknologi analitik data, ketersediaan data dalam skala besar, serta meningkatnya kompleksitas dan ketidakpastian dalam operasional SCM modern. Selain itu, tren tersebut mengindikasikan bahwa pendekatan berbasis ML semakin dianggap relevan dan dibutuhkan untuk mendukung aktivitas *forecasting*, mitigasi risiko, dan perencanaan yang lebih adaptif dalam rantai pasok.



Gambar 3. Visualisasi Frekuensi Kemunculan Kata Kunci

Berdasarkan visualisasi jaringan kata kunci menggunakan VOSviewer (Gambar X), terlihat bahwa “machine learning” merupakan simpul pusat (central node) yang memiliki keterkaitan kuat dengan berbagai topik dalam konteks Supply Chain Management (SCM). Hal ini menunjukkan bahwa machine learning berperan sebagai pendekatan utama yang menghubungkan beragam aktivitas dan permasalahan dalam SCM, khususnya pada aspek forecasting. Beberapa klaster tematik dapat diidentifikasi dari peta tersebut. Klaster pertama (berwarna kuning–ungu) berkaitan langsung dengan aktivitas forecasting dalam SCM, yang mencakup kata kunci seperti supply chain management, retail forecasting, dan hierarchical forecasting. Klaster ini menunjukkan bahwa peramalan permintaan dan perencanaan bertingkat merupakan fokus utama penerapan machine learning dalam literatur SCM.

Klaster lain (berwarna hijau) merepresentasikan pendekatan berbasis jaringan, seperti graph networks, supply chain network, dan federated learning. Kemunculan klaster ini mengindikasikan adanya tren penggunaan model machine learning yang mampu menangkap hubungan kompleks antar entitas dalam jaringan rantai pasok, terutama untuk meningkatkan visibilitas dan koordinasi antar node SCM. Selain itu, klaster berwarna merah menyoroti konteks logistik dan operasional, seperti 3PL dan less than truckload, yang menunjukkan bahwa machine learning juga diterapkan dalam forecasting dan optimasi pada layanan logistik pihak ketiga. Sementara itu, klaster biru yang mencakup ML classifiers dan performance metrics menegaskan pentingnya evaluasi kinerja model dalam studi-studi forecasting SCM. Secara keseluruhan, visualisasi ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai machine learning dalam SCM bersifat multidimensional, dengan fokus utama pada forecasting, namun juga berkembang ke arah integrasi jaringan, logistik, dan evaluasi performa model. Temuan ini mendukung pemilihan fokus penelitian pada aktivitas forecasting berbasis machine learning sebagai topik yang relevan dan berkembang dalam literatur SCM.

3.2 Analisis Konten

Tabel berikut menyajikan ringkasan tujuh studi kasus peramalan dalam SCM dengan pendekatan machine learning, mencakup jenis permasalahan, jenis metode ML, algoritma utama, metrik evaluasi, dan referensi [12]:

Tabel 2. Kunci Publikasi Kombinasi ML dengan SCM Forecasting

Permasalahan (Forecasting)	Metode ML	Algoritma ML	Metrik Evaluasi	Ref
Prediksi backorder	Supervised	Logistic Regression, model	<i>F1-Score</i> ,	[5]

pelanggan		sederhana lainnya.	<i>recall,</i> <i>precision</i>	
Deteksi risiko dini untuk keamanan pada rantai pasok susu	Unsupervised	Bayesian Network	Akurasi, sensitivitas, spesifikasi	[8]
Prediksi visibilitas jaringan rantai pasok	Supervised	Federated Learning + Graph Convolutional Neural Network (GNC)	Tidak spesifik	[10]
Peramalan kebutuhan ruang truk di 3PL	Supervised	CatBoost (Gradient Boosting)	MAE, Loss Asimetris	[13]
Prediksi gangguan rantai pasok di industri tekstil	Supervised	SVM, KNN, Random Forest, Decision Tree	Akurasi, <i>Recall</i> , <i>F1-Score</i>	[14]
Peramalan penjualan (<i>retail sales</i>)	Supervised	Regresi Linear, KNN, Random Forest, Voting Regressor	RMSE, R ²	[6]
Peramalan hirarki permintaan	Supervised	Multi-layer perceptron (MLP), Random Forest, XGBoost	MAE, MAPE, MRAE	[7]

Tujuh studi yang dikaji menunjukkan beragam permasalahan peramalan dalam SCM. Misalnya, [15] membahas prediksi backorder pelanggan untuk menghindari kekurangan stok. [4] memfokuskan pada sistem peringatan dini keamanan pangan dalam rantai pasok susu, menggunakan deteksi anomali pada indikator harga susu sebagai sinyal risiko. [1] menyelidiki stabilitas jaringan pasok dengan memprediksi hubungan dalam graf *supply chain* menggunakan ML terdistribusi. [3] mengusulkan model peramalan kebutuhan ruang truk bagi penyedia logistik kepada pihak ketiga (3PL) dalam skenario *less-than-truckload*. [7] memfokuskan pada prediksi gangguan rantai pasok di industri tekstil. Sementara itu, [6] membahas peramalan penjualan pada rantai pasok ritel. Terakhir, [2] mengembangkan pendekatan hirarki untuk peramalan permintaan multi-level yang mempertimbangkan hubungan antara tingkat produk dan agregasi waktu. Dengan demikian permasalahan yang muncul mencakup prediksi permintaan, prediksi anomali atau gangguan, serta peramalan relasi dalam jaringan SCM.

Sebagian besar studi menggunakan pendekatan supervised learning, yaitu model dilatih dari data berlabel. Contohnya, prediksi backorder, gangguan rantai pasok, peramalan penjualan, dan peramalan hirarki semuanya bersifat supervised dengan variabel target yang diketahui. Satu studi [4] menggunakan pendekatan unsupervised untuk peringatan dini terkait keamanan pangan. Tidak ada studi dalam sampel mengadopsi metode hybrid (kombinasi supervised dan unsupervised).

Algoritma yang digunakan cukup beragam. Pendekatan berbasis regresi linear dan regresi penalti muncul pada studi permintaan penjualan, sedangkan regresi logistik dipakai dalam prediksi backorder. Beberapa studi mengandalkan metode ensemble dan boosting: [6] menggunakan *random forest* dan *voting regressor*; [3] menggunakan *catboost* dengan fungsi loss khusus; [2] membandingkan MLP, random forest, gradient boosting, dan XGBoost dalam kerangka hirarki. Untuk klasifikasi gangguan [7] algoritma yang digunakan meliputi SVM, KNN, random forest, decision tree, dan regresi linear. Sedangkan [4] menerapkan model deteksi anomali dengan bayesian network untuk mengaitkan anomali risiko keamanan pangan. Studi oleh [1] menggabungkan Graph Convolutional Network dengan Federated Learning untuk memprediksi link dalam graf supply chain. Secara umum, terdapat kecenderungan menggunakan metode ensemble dan model neural network untuk mengoptimalkan akurasi, sesuai dengan kebutuhan permasalahan.

3.3 Analisis Tematik

Sintesis tematik digunakan untuk mengintegrasikan temuan-temuan utama dari tujuh studi terpilih. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pola berulang, kesamaan, serta hubungan konseptual antar penelitian empiris, sehingga menghasilkan wawasan analitis pada tingkat yang lebih tinggi. Sintesis tematik sangat sesuai untuk systematic literature review karena memungkinkan temuan

dari berbagai desain studi dan pendekatan metodologis beragam disatukan ke dalam tema-tema koheren [13].

Tujuh artikel terpilih membahas penerapan ML dalam aktivitas forecasting pada Supply Chain Management (SCM). Selain itu, visualisasi dari VOSviewer digunakan sebagai alat bantu eksploratif untuk mendukung pengelompokan tema, teridentifikasi empat tema utama menggambarkan riset forecasting berbasis ML dalam konteks SCM.

1. Peningkatan Akurasi Forecasting melalui Pendekatan Hirarki dan Ensemble

Tema pertama menyoroti penggunaan pendekatan hirarki dan ensemble learning untuk meningkatkan akurasi peramalan permintaan dalam rantai pasok. Studi oleh Taghiyeh et al. (2023) mengusulkan multi-phase hierarchical forecasting (MPH), dimana peramalan dilakukan secara independen pada level anak menggunakan berbagai model machine learning, kemudian hasilnya dimanfaatkan sebagai fitur tambahan untuk peramalan pada level induk (*parent-level*). Pendekatan ini secara konsisten menunjukkan peningkatan akurasi secara signifikan dibandingkan metode tradisional *top-down* dan *bottom-up*, dengan perbaikan kesalahan prediksi pada berbagai metrik evaluasi.

Temuan serupa juga ditunjukkan oleh [6] yang mengaplikasikan berbagai algoritma machine learning, termasuk Random Forest, KNN, dan Voting Regresor, untuk peramalan penjualan ritel. Hasilnya menunjukkan bahwa metode ensemble mampu memberikan performa stabil dan akurat dibandingkan model individual. Secara tematik, kedua studi ini mengindikasikan penggabungan informasi lintas model merupakan strategi efektif untuk menangani kompleksitas data permintaan yang bersifat musiman dan multivariat.

2. Efisiensi Komputasi dan Seleksi Fitur dalam Forecasting Operasional

Tema kedua berfokus pada keseimbangan antara akurasi prediksi dan efisiensi komputasi, khususnya dalam konteks operasional yang memiliki keterbatasan sumber daya. [12] menunjukkan bahwa model prediksi backorder dapat disederhanakan secara signifikan dengan hanya menggunakan sejumlah kecil fitur berdampak tinggi tanpa penurunan performa yang substansial. Studi ini menemukan bahwa penggunaan lima prediktor utama mampu menurunkan biaya komputasi sehingga 98% dengan penurunan akurasi relatif kecil.

Pendekatan serupa juga tercermin dalam studi [3] yang mengembangkan kerangka forecasting untuk 3PL dengan mempertimbangkan biaya asimetris melalui *custom loss function*. Meskipun pendekatan ini meningkatkan kompleksitas komputasi, hasilnya menunjukkan peningkatan relevansi prediksi dari sisi biaya operasional.

3. Forecasting Berbasis Risiko dan Disrupsi Rantai Pasok

Tema ketiga mengangkat penggunaan machine learning untuk memprediksi kejadian berisiko dan disrupsi dalam rantai pasok. [7] menerapkan berbagai algoritma klasifikasi untuk memprediksi gangguan rantai pasok pada industri tekstil, dengan menekankan pentingnya feature engineering berbasis konteks domain. Hasil studi ini menunjukkan bahwa meskipun data historis terbatas, integrasi fitur yang relevan secara operasional dapat meningkatkan performa prediksi secara signifikan.

Tema diperluas oleh [4] yang mengembangkan sistem peringatan dini keamanan pangan berbasis deteksi anomali tidak terawasi. Studi tersebut menunjukkan bahwa indikator ekonomi tertentu, seperti harga susu mentah, dapat berfungsi sebagai awal risiko keamanan pangan dengan jeda waktu beberapa bulan hingga tahun.

4. Visibilitas dan Prediksi Relasional dalam Jaringan Rantai Pasok

Tema terakhir menyoroti pendekatan forecasting dan prediction yang berorientasi pada struktur jaringan rantai pasok. [1] mengusulkan integrasi *Graph Convolutional Networks* (GCN) dan Federated Learning untuk memprediksi hubungan tersembunyi dalam *supply chain knowledge graph*. Pendekatan ini memungkinkan peningkatan visibilitas rantai pasok lintas organisasi tanpa pertukaran data mentah, sehingga tetap mematuhi batasan privasi dan regulasi

Secara keseluruhan, sintesis tematik menunjukkan bahwa riset forecasting berbasis ML dalam SCM berkembang ke empat arah utama: (1) peningkatan akurasi melalui hirarki dan ensemble, (2) efisiensi komputasi melalui seleksi fitur dan fungsi kerugian khusus, (3) pemanfaatan forecasting sebagai alat mitigasi risiko dan peringatan dini, (4) perluasan forecasting ke prediksi jaringan untuk resiliensi rantai

pasok. Temuan ini menegaskan bahwa forecasting tidak lagi dipandang sebagai aktivitas prediktif tunggal, melainkan sebagai komponen strategis dalam pengambilan keputusan SCM modern.

3.4 Diskusi

Hasil sintesis tematik menunjukkan bahwa penerapan ML dalam aktivitas forecasting pada Supply Chain Management (SCM) telah berkembang dari pendekatan peramalan konvensional menuju sistem prediksi lebih adaptif dan berbasis data bersifat multivariat. Mayoritas studi menekankan peningkatan akurasi peramalan melalui pemanfaatan algoritma ensemble, model hirarki, serta integrasi data operasional. Temuan ini mengindikasikan bahwa pendekatan ML tidak hanya digunakan untuk memprediksi permintaan secara univariat, tetapi juga menangkap kompleksitas hubungan antar level rantai pasok. Dengan demikian, ML berperan penting dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis prediksi yang lebih presisi dibanding metode tradisional.

Selain itu, literatur yang dianalisis juga menunjukkan pergeseran fokus riset menuju keberlanjutan implementasi, seperti efisiensi komputasi, interpretabilitas model, serta mitigasi risiko operasional. Beberapa studi menyoroti pentingnya seleksi fitur dan desain model agar solusi forecasting dapat diterapkan secara maksimal di lingkungan industri dengan keterbatasan sumber daya. Di sisi lain, penggunaan pendekatan seperti sistem peringatan dini dan pemodelan risiko menunjukkan bahwa forecasting berbasis ML tidak hanya bersifat prediktif, tetapi juga mulai berfungsi secara perspektif dalam mendukung resiliensi rantai pasok. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa ML memiliki potensi strategis sebagai fondasi utama pengembangan sistem SCM yang lebih responsif terhadap dinamika dan gangguan yang wujud.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil review terhadap tujuh artikel terpilih, dapat disimpulkan bahwa ML telah dimanfaatkan secara luas dalam aktivitas forecasting pada SCM untuk meningkatkan akurasi dan ketepatan prediksi. Berbagai pendekatan seperti model ensemble, hierarchical forecasting, serta pemanfaatan data multivariat terbukti mampu mengatasi keterbatasan metode peramalan tradisional yang cenderung bersifat statis dan univariat. Temuan ini menunjukkan bahwa machine learning berperan signifikan dalam menangkap pola kompleks, ketergantungan antar level rantai pasok, serta dinamika permintaan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Meskipun demikian, temuan dalam literatur juga mengindikasikan adanya tantangan terkait ketersediaan data berkualitas, kompleksitas implementasi, serta keterbatasan sumber daya komputasi, khususnya pada skala usaha kecil dan menengah. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas eksplorasi pada pemilihan model yang adaptif, efisiensi, dan mudah diimplementasikan, serta mengkaji integritas ML dengan sistem peringatan dini dan analitik perspektif. Dari sisi praktis, perusahaan diharapkan dapat menyesuaikan penerapan model forecasting dengan karakteristik data dan kebutuhan operasional agar manfaat machine learning dapat dirasakan secara optimal dan berkelanjutan.

REFERENCES

- [1] G. Z. A. Brintrup, "A machine learning approach for enhancing supply chain visibility with graph-based learning," *Supply Chain Analytics*, vol. 11, p. 100135, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.sca.2025.100135.
- [2] S. Taghiyeh, D. C. Lengacher, A. H. Sadeghi, A. Sahebi-Fakhrabad, and R. B. Handfield, "A novel multi-phase hierarchical forecasting approach with machine learning in supply chain management," *Supply Chain Analytics*, vol. 3, p. 100032, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.sca.2023.100032.
- [3] M. Gabellini, F. Calabrese, F. G. Galizia, M. Ronchi, and A. Regattieri, "An information-sharing and cost-aware custom loss machine learning framework for 3PL supply chain forecasting," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 210, p. 111573, 2025, doi: 10.1016/j.cie.2025.111573.
- [4] N. Liu, Y. Bouzembrak, L. M. Den Bulk, A. Gavai, L. J. Den Heuvel, and H. J. P. Marvin, "Automated food safety early warning system in the dairy supply chain using machine learning," *Food Control*, vol. 136, p. 108872, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.foodcont.2022.108872.

- [5] A. M. K. S. R. S, “Enhancing supply chain management with deep learning and machine learning techniques: A review,” *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 10, no. 4, p. 100379, 2024, doi: 10.1016/j.joitmc.2024.100379.
- [6] M. P. R. Mahin, M. Shahriar, R. R. Das, A. Roy, and A. W. Reza, “Enhancing Sustainable Supply Chain Forecasting Using Machine Learning for Sales Prediction,” *Procedia Computer Science*, vol. 252, pp. 470-479, 2025, doi: 10.1016/j.procs.2025.01.006.
- [7] I. Jebbor, Z. Benmamoun, and H. Hachimi, “Forecasting supply chain disruptions in the textile industry using machine learning: A case study,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 12, p. 103116, 2024, doi: 10.1016/j.asej.2024.103116.
- [8] Y. X. M. Watson, “Guidance on Conducting a Systematic Literature Review,” *Journal of Planning Education and Research*, vol. 39, no. 1, pp. 93-112, Mar. 2019, doi: 10.1177/0739456X17723971.
- [9] G. Timperio, S. Tiwari, J. M. G. Sánchez, R. A. G. Martín, and Souza, “Integrated decision support framework for distribution network design,” *International Journal of Production Research*, vol. 58, no. 8, pp. 2490-2509, Apr. 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1680894.
- [10] M. Ben-Daya, E. Hassini, and Z. Bahroun, “Internet of things and supply chain management: a literature review,” *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 15–16, pp. 4719-4742, 2019, doi: 10.1080/00207543.2017.1402140.
- [11] K. A. B. Hamou, Z. Jarir, and S. Elfirdoussi, “Using machine learning for production scheduling problems in the supply chain: A review,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 206, p. 111243, 2025, doi: 10.1016/j.cie.2025.111243.
- [12] A. Ali, R. Jayaraman, E. Azar, and M. Maalouf, “Maximizing supply chain performance leveraging machine learning to anticipate customer backorders,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 194, p. 110414, 2024, doi: 10.1016/j.cie.2024.110414.
- [13] L. C.-A. dkk, “MAIC–10 brief quality checklist for publications using artificial intelligence and medical images,” *Insights Imaging*, vol. 14, no. 1, p. 11, Jan. 2023, doi: 10.1186/s13244-022-01355-9.
- [14] R. F. Assis, A. F. Faria, V. Thomasset-Laperrière, L. A. Santa-Eulalia, M. Ouhimmou, and W. D. P. Ferreira, “Machine Learning in Warehouse Management: A Survey,” *Procedia Computer Science*, vol. 232, pp. 2790-2799, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.02.096.
- [15] I. V. P. G. Reddy, “Machine learning in supply chain management: systematic literature review and future research agenda,” *International Journal of Production Research*, vol. 63, no. 16, pp. 5987-6016, 2025, doi: 10.1080/00207543.2025.2466062.