

Intelligent Supply Chain Management: Optimasi Distribusi Farmasi Berbasis Artificial Intelligence dan Data Mining di Kabupaten Maros

Nurdin*, Nur Salman, ST. Aminah Dinayati Ghani, Michael Oktavianus, Abdul Ibrahim, Erny Marlina

Universitas Dipa Makassar; Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 9 Makassar, Telp. (0411) 587194 – Fax. (0411) 588284

e-mail: *¹nurdin@undipa.ac.id, ²nursalman.halim@undipa.ac.id, ³dinayati.amy@undipa.ac.id,

⁴michael@undipa.ac.id, ⁵abdulibrahim@dipanegara.ac.id, ⁶ernimarlina@undipa.ac.id

Abstrak

Distribusi obat dan alat kesehatan di sektor publik menghadapi berbagai tantangan, seperti ketidakpastian permintaan, risiko kedaluwarsa, dan kendala geografis yang berat. Di Kabupaten Maros, perbedaan topografi antara wilayah pesisir dan pegunungan menyebabkan distribusi logistik konvensional tidak efisien, sehingga terjadi kekosongan stok di daerah terpencil dan penumpukan di area perkotaan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem Manajemen Rantai Pasok Cerdas (ISCM) yang mengintegrasikan kecerdasan buatan untuk mengotomatiskan pengambilan keputusan logistik. Pendekatan yang digunakan adalah metode eksperimen melalui pembuatan prototipe sistem cerdas. Dalam penelitian ini, algoritma K-Means digunakan untuk mengelompokkan fasilitas kesehatan berdasarkan aksesibilitas, sementara Machine Learning dengan metode Arima Time Series digunakan untuk memprediksi kebutuhan obat secara tepat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengelompokkan fasilitas kesehatan ke dalam tiga klaster prioritas dan merekomendasikan buffer stock dinamis (penambahan 20-50%) untuk daerah pegunungan. Implementasi modul FEFO (First Expired, First Out) dan visualisasi peta GIS dari dashboard sistem meningkatkan pengawasan stok secara real-time dan meminimalkan risiko kedaluwarsa obat. Sistem ini menawarkan solusi proaktif untuk memastikan ketersediaan farmasi yang merata.

Kata kunci: SCM Cerdas, Kecerdasan Buatan, Penambangan Data, Peramalan ARIMA, GIS, Kabupaten Maros.

Abstract

The distribution of medicines and medical devices in the public sector faces various challenges, such as demand uncertainty, expiration risks, and severe geographical constraints. In Maros Regency, the topography differences between coastal and mountainous regions make traditional logistics inefficient, leading to stock shortages in remote areas and surpluses in urban zones. This research aims to create an Intelligent Supply Chain Management (ISCM) system that uses artificial intelligence to automate logistics decisions. The approach involves an experimental prototyping of an intelligent system. In this study, the K-Means algorithm grouped health facilities by accessibility, while Machine Learning with the ARIMA time series model predicted drug requirements accurately. Results indicated the system classified health facilities into three priority clusters and suggested a flexible buffer stock (20-50% increases) for mountainous areas. Incorporating the FEFO (First Expired, First Out) module and GIS map visualization on the dashboard enhances real-time stock monitoring and reduces drug expiration risks. Overall, the system provides a proactive method to ensure equitable access to pharmaceuticals.

Keywords: Intelligent SCM, Artificial Intelligence, Data Mining, Forecasting ARIMA, GIS, Kabupaten Maros.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan obat dan Alat Kesehatan (Alkes) merupakan indikator vital dalam pelayanan kesehatan primer. Di Kabupaten Maros, distribusi obat dari Instalasi Farmasi Kabupaten (IFK) ke jaringan Puskesmas, Pustu, dan Rumah Sakit seringkali terkendala oleh dua faktor utama: variabilitas permintaan yang tinggi dan tantangan geografis.

Wilayah kerja Dinas Kesehatan Maros mencakup area perkotaan (Turikale), pesisir (Maros Baru, Bontoa), hingga pegunungan yang sulit dijangkau (Camba, Mallawa, Cenrana). Model distribusi

konvensional yang memukul rata alokasi stok seringkali gagal mengakomodasi perbedaan karakteristik ini, menyebabkan fenomena Bullwhip Effect—dimana terjadi distorsi informasi permintaan dari hilir ke hulu. Hal ini berujung pada kekosongan stok obat vital di satu fasilitas, sementara terjadi penumpukan obat yang berujung kedaluwarsa di fasilitas lain.

Transformasi digital dalam manajemen rantai pasok sektor kesehatan menjadi krusial untuk mengatasi ineffisiensi tersebut. Ramadhan dan Mansur [1] menyoroti bahwa adopsi teknologi cerdas seperti Business Intelligence masih belum merata di sektor kesehatan, padahal hal ini vital untuk mencegah keterlambatan keputusan dan pemborosan sumber daya akibat distribusi yang tidak optimal. Studi literatur terbaru oleh Virgineta, Hamdani, dan Dwiyanti [2] menegaskan bahwa penerapan Big Data dalam SCM memberikan manfaat signifikan, termasuk peningkatan akurasi peramalan permintaan dan visibilitas jaringan rantai pasok yang lebih baik.

Lebih lanjut, integrasi teknologi Artificial Intelligence (AI) dan Machine Learning telah terbukti merevolusi efisiensi operasional logistik [3]. Teknik Data Mining berperan strategis dalam mengekstraksi pola berharga dari dataset yang kompleks untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih tajam [4]. Dalam konteks optimasi stok, pendekatan algoritma seperti Random Forest telah menunjukkan kinerja yang unggul dalam memprediksi permintaan dibandingkan metode tradisional [5]. Selain itu, integrasi Internet of Things (IoT) dengan Big Data juga menawarkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi rute dan manajemen risiko logistik [6].

Keandalan Machine Learning dalam menangani data dengan fluktuasi tinggi juga telah dibuktikan dalam domain peramalan cuaca, yang memiliki karakteristik ketidakpastian serupa dengan permintaan obat. Intan dkk. [7] menunjukkan bahwa penggunaan algoritma pembelajaran mesin mampu meningkatkan performansi akurasi prakiraan secara signifikan dibandingkan metode konvensional. Lebih spesifik, penerapan algoritma Bayesian Regularization pada Neural Network terbukti efektif dalam mencapai konvergensi yang stabil dan akurat dalam analisis peramalan data yang kompleks [8]. Oleh karena itu, penerapan pendekatan berbasis data mining dan machine learning sangat relevan untuk memecahkan kompleksitas distribusi obat di Kabupaten Maros.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem Intelligent SCM yang memanfaatkan data historis LPLPO (Laporan Pemakaian dan Lembar Permintaan Obat) guna meningkatkan akurasi perencanaan dan efisiensi distribusi melalui pendekatan eksperimental.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Metode Eksperimental dengan pendekatan simulasi sistem untuk menguji efektivitas model algoritma yang diusulkan terhadap data riil. Pendekatan ini dipilih untuk memvalidasi kinerja model Data Mining dan Machine Learning dalam satu siklus pengembangan sistem sebelum implementasi massal. Pemanfaatan data historis menjadi basis eksperimen, sejalan dengan studi Bimantara, Rokim, dan Rilvani [9] yang membuktikan efektivitas penggunaan data riwayat proyek dalam estimasi presisi menggunakan algoritma data mining.

Selain aspek temporal (data historis), metodologi ini juga mengintegrasikan dimensi spasial (geografis). Pendekatan ini mengadopsi strategi yang diterapkan oleh Farhan, Nurdin, dan Maryana [10] dalam optimasi rantai pasok pertanian, di mana pengumpulan data geografis titik distribusi menjadi basis vital untuk pemetaan dan penentuan rute yang efisien. Kombinasi kedua pendekatan ini divisualisasikan dalam alur penelitian pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1, penelitian dimulai dengan pengumpulan dataset sekunder dari Dinas Kesehatan Kabupaten Maros. Data tersebut melalui tahap preprocessing untuk memastikan kualitas data. Tahap inti eksperimen melibatkan konfigurasi dua model algoritma: K-Means untuk segmentasi wilayah dan ARIMA untuk peramalan time-series. Kedua model ini kemudian diintegrasikan ke dalam sebuah prototipe aplikasi berbasis web ("E-LPLPO Maros") untuk diuji fungsionalitasnya dalam menangani kasus distribusi nyata (seperti skenario zona pegunungan).

2.1. Pengumpulan Dataset

Dataset yang digunakan dalam eksperimen ini adalah data sekunder periode 3 tahun terakhir, yang mencakup:

1. Data Transaksi LPLPO: Volume pemakaian, sisa stok, dan permintaan obat per bulan dari seluruh Puskesmas.
2. Data Inventori: Detail Batch Number dan Tanggal Kedaluwarsa (Expiry Date).
3. Data Geospasial: Koordinat (Latitude/Longitude) dan kondisi aksesibilitas setiap fasilitas kesehatan.

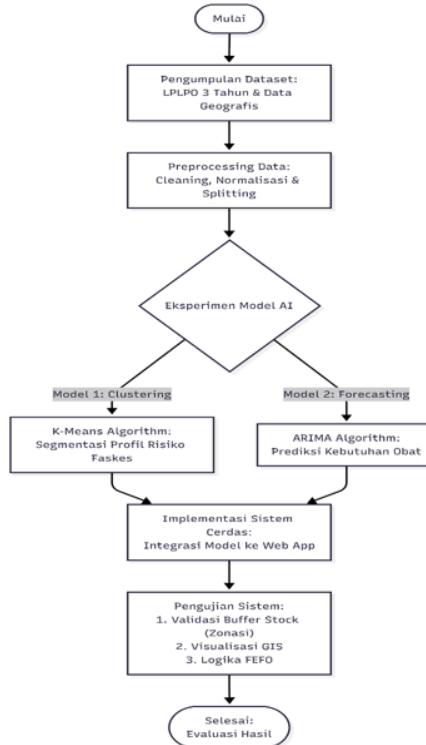
2.2. Eksperimen Model 1: Clustering Fasilitas Kesehatan

Algoritma K-Means Clustering diterapkan untuk mengelompokkan fasilitas kesehatan berdasarkan parameter: (1) Rata-rata pemakaian obat, dan (2) Jarak tempuh dari IFK. Output klaster digunakan sebagai dasar penentuan kebijakan Buffer Stock.

1. Klaster 1 (Zona Kota): Akses mudah, lead time pendek.
2. Klaster 2 (Zona Pesisir): Akses sedang, lead time menengah.
3. Klaster 3 (Zona Pegunungan): Akses sulit, lead time panjang (membutuhkan stok pengaman tinggi).

2.3. Eksperimen Model 2: Prediksi Permintaan (ARIMA)

Model ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) dikonfigurasi untuk mempelajari pola tren dan musiman dari data pemakaian obat historis. Hasil prediksi dari model ini digunakan oleh sistem untuk memberikan rekomendasi jumlah permintaan ("Smart Suggestion") pada formulir digital, mengurangi subjektivitas petugas.

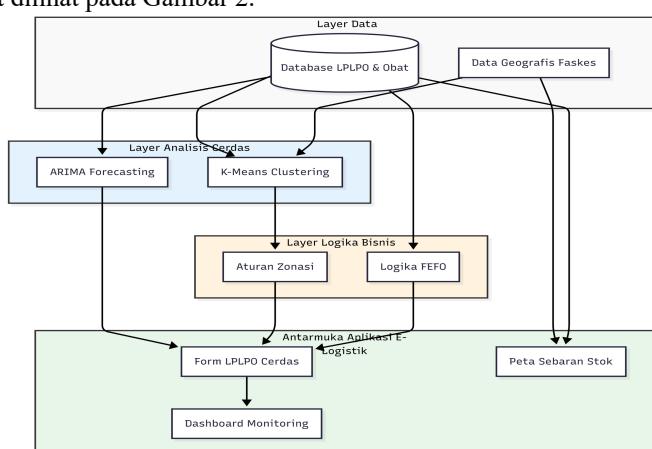


Gambar 1. Alur Penelitian Eksperimen Sistem Intelligent SCM

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Arsitektur Sistem E-Logistik

Arsitektur sistem dibangun untuk mendukung pemrosesan data cerdas secara real-time. Sistem terdiri dari Layer Data yang menyimpan riwayat transaksi, Layer Analisis yang menjalankan algoritma K-Means dan ARIMA, serta Layer Aplikasi yang menyajikan antarmuka visual bagi pengguna. Visualisasi arsitektur sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur Sistem E-Logistik Farmasi Maros

Gambar 2 menunjukkan aliran informasi dari data mentah menuju aplikasi pengguna. Layer Analisis Cerdas bertindak sebagai "otak" sistem, di mana algoritma K-Means menentukan profil risiko setiap puskesmas, dan ARIMA memberikan estimasi kuantitatif kebutuhan obat. Hasil analisis ini kemudian diproses oleh Layer Logika Bisnis untuk menerapkan aturan Buffer Stock (penambahan stok pengaman untuk daerah sulit) dan aturan FEFO (prioritas pengeluaran barang).

3.2. Implementasi Logika Zonasi pada Kasus Maros

Berdasarkan hasil clustering, sistem menerapkan aturan bisnis (Business Rules) yang dinamis:

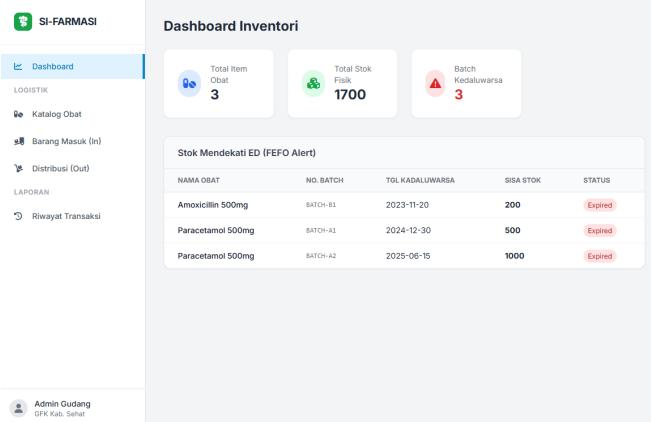
1. Kasus Zona Pegunungan (Camba/Mallawa): Sistem mendeteksi lokasi unit. Jika unit berada di zona rawan longsor atau akses sulit, algoritma secara otomatis menambahkan Buffer Stock sebesar 20-50% pada rekomendasi permintaan. Hal ini untuk mengantisipasi terputusnya akses distribusi saat musim hujan.
2. Kasus Zona Kota (Turikale/Mandai): Sistem menerapkan sistem Just-In-Time dengan frekuensi pengiriman lebih sering namun volume stok lebih efisien untuk mengurangi biaya penyimpanan.

3.3. Implementasi Prototipe Aplikasi

Berdasarkan arsitektur yang telah dirancang, sebuah prototipe aplikasi berbasis web dikembangkan ("E-LPLPO Maros") untuk memvalidasi fungsionalitas sistem. Implementasi ini mencakup tiga modul utama: Dashboard Pemantauan, Modul Input LPLPO Cerdas, dan Sistem Pemetaan GIS.

1. Dashboard Monitoring Stok

Dashboard utama (Gambar 3) dirancang untuk memberikan visibilitas real-time kepada eksekutif Dinas Kesehatan. Tampilan ini menyajikan ringkasan total permintaan, status persetujuan, dan peringatan dini untuk stok yang menipis.



Gambar 3. Tampilan Dashboard E-Logistik Farmasi Maros

Gambar 3 memperlihatkan antarmuka utama bagi pengambil keputusan di Dinas Kesehatan. Dashboard ini menyajikan ringkasan statistik vital, termasuk total permintaan obat yang masuk, status persetujuan (Menunggu/Disetujui), dan daftar aktivitas terbaru. Fitur ini memungkinkan pimpinan untuk memantau performa rantai pasok secara makro dan mendeteksi anomali permintaan dengan cepat tanpa perlu memeriksa dokumen fisik satu per satu.

2. Validasi Logika Buffer Stock (Smart LPLPO)

Sistem diuji menggunakan skenario input dari Puskesmas di zona berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengenali karakteristik wilayah berdasarkan hasil klasterisasi K-Means dan menerapkan penyesuaian stok secara otomatis (Tabel 1).

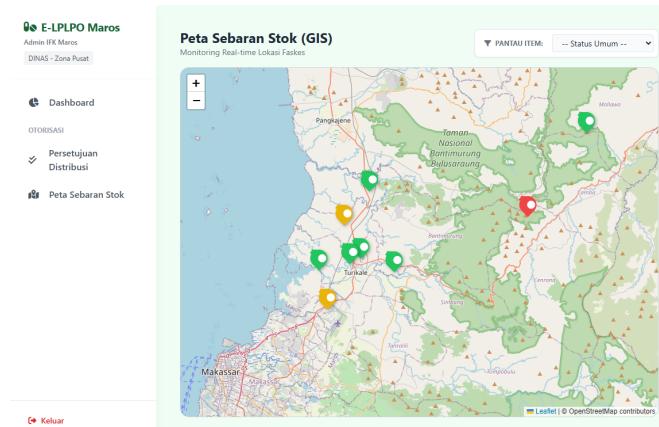
Tabel 1. Parameter Logika Zonasi dalam Aplikasi

Zona Distribusi	Kategori Faskes	Faktor Buffer Stock	Respon Sistem
Zona Kota	RSUD dr. La Palaloi	1.1x (10%)	Rekomendasi standar sesuai prediksi tren
Zona Pesisir	PKM Maros Baru	1.2x (20%)	Penambahan moderat untuk antisipasi pasang surut
Zona Pegunungan	PKM Camba	1.5x (50%)	Alert: "Zona Pegunungan Terdeteksi". Rekomendasi stok ditambah 50% untuk cadangan keamanan.

Saat petugas Puskesmas Camba (Zona Pegunungan) menginput data pemakaian, sistem akan menampilkan notifikasi "Zona Pegunungan Terdeteksi" dan secara otomatis menyarankan kuantitas permintaan yang lebih tinggi untuk mengantisipasi risiko logistik.

3. Visualisasi Peta Sebaran (GIS)

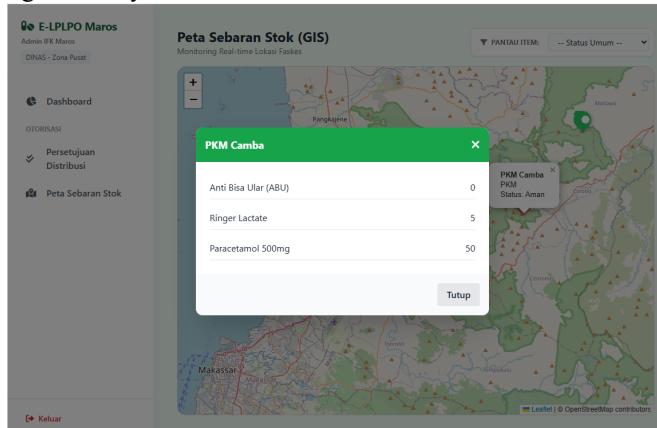
Fitur unggulan dari implementasi ini adalah pemetaan geografis menggunakan pustaka Leaflet.js (Gambar 4). Peta ini memvisualisasikan sebaran stok obat vital (seperti Anti Bisa Ular dan Oksitosin) di seluruh fasilitas kesehatan Kabupaten Maros.



Gambar 4. Peta Sebaran Stok Obat (GIS Monitoring)

Gambar 4 menunjukkan implementasi modul GIS menggunakan Leaflet.js. Peta ini memberikan representasi visual mengenai ketersediaan obat kritis (misal: Anti Bisa Ular) di seluruh wilayah Maros. Penanda (marker) pada peta bersifat interaktif dan dinamis:

- Marker Hijau: Menandakan faskes dengan stok aman.
- Marker Kuning: Memberikan peringatan dini bahwa stok mulai menipis.
- Marker Merah: Indikator kritis (stok kosong), yang memicu respon prioritas pengiriman dari IFK. Visualisasi ini terbukti memudahkan tim logistik dalam menentukan rute pengiriman prioritas berdasarkan urgensi wilayah.



Gambar 5. Contoh Peta Sebaran Stok Obat (GIS Monitoring) Kode Merah

Gambar 5 menunjukkan Peta Sebaran stok Obat (GIS Monitoring) dalam Penanda (Marker) Merah. Ini menandakan bahwa stok obat indikator kritis dan harus segera ditindaklanjuti dengan meminta pengadaan obat secara otomatis.

3.4. Analisis Dampak

Penerapan sistem ini diproyeksikan memberikan dampak signifikan:

- Efisiensi Anggaran: Pengurangan drastis pada jumlah obat yang harus dimusnahkan karena kedaluwarsa melalui mekanisme FEFO otomatis.
- Peningkatan Service Level: Menurunkan frekuensi kejadian kekosongan obat (stockout) di Puskesmas terpencil berkat logika buffer stock dinamis.
- Transparansi: Pimpinan Dinas Kesehatan dapat memantau pergerakan aset negara secara real-time melalui dashboard eksekutif.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem Intelligent Supply Chain Management yang mengintegrasikan Data Mining dan Machine Learning untuk Dinas Kesehatan Kabupaten Maros. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental pada prototipe aplikasi, dapat disimpulkan bahwa:

- Algoritma K-Means efektif dalam mengelompokkan fasilitas kesehatan menjadi tiga zona logistik (Kota, Pesisir, Pegunungan), yang memungkinkan penerapan kebijakan buffer stock yang adaptif (penambahan stok hingga 50% untuk zona sulit).

2. Fitur Smart LPLPO yang didukung prediksi ARIMA mampu memberikan rekomendasi permintaan yang objektif, mengurangi risiko human error dalam perencanaan.
3. Visualisasi GIS terbukti meningkatkan visibilitas rantai pasok, memungkinkan pemantauan stok kritis secara real-time di seluruh titik distribusi.
4. Secara keseluruhan, integrasi teknologi ini mentransformasi manajemen logistik farmasi dari yang semula reaktif dan manual menjadi proaktif, transparan, dan berbasis data.

5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perancangan sistem yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diajukan untuk pengembangan selanjutnya adalah:

1. Uji Coba Skala Terbatas (Pilot Project): Perlu dilakukan implementasi sistem secara terbatas pada satu klaster wilayah, khususnya pada puskesmas di zona pegunungan (Klaster 3), untuk menguji efektivitas aturan buffer stock dalam mengantisipasi kondisi cuaca ekstrem secara nyata di lapangan.
2. Integrasi IoT Cold Chain: Mengingat pentingnya kualitas vaksin dan obat-obatan sensitif suhu, pengembangan selanjutnya disarankan mengintegrasikan sensor Internet of Things (IoT) untuk pemantauan suhu penyimpanan obat secara real-time. Data suhu ini dapat diintegrasikan langsung ke dalam peta sebaran GIS untuk memberikan peringatan dini jika terjadi kerusakan alat pendingin.
3. Interoperabilitas Nasional: Sistem ini perlu disiapkan untuk terintegrasi dengan platform SatuSehat milik Kementerian Kesehatan. Hal ini penting untuk mendukung interoperabilitas data kesehatan nasional melalui standarisasi pertukaran data (API).
4. Komparasi Algoritma Lanjutan: Seiring bertambahnya volume data transaksi historis di masa depan, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan yang membandingkan akurasi metode ARIMA dengan algoritma Deep Learning seperti LSTM (Long Short-Term Memory) untuk mendapatkan hasil prediksi yang lebih presisi pada pola data yang kompleks.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Dipa Makassar dan jajarannya yang telah memberi dukungan financial terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. A. Ramadhan dan A. Mansur, "Analisis Bibliometrik dan Visualisasi Data: Business Intelligence dalam Digitalisasi Manajemen Rantai Pasok pada Sektor Kesehatan," *Prozima*, vol. 8, no. 2, pp. 115-131, Des. 2024.
- [2] S. A. Virgineta, A. Hamdani, dan V. Dwiyanti, "Analisis Penerapan Big Data dalam Supply Chain Management: Systematic Literature Review," *Sci-Tech Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 110-122, 2025.
- [3] S. A. Gresya, N. A. Rambe, M. G. Adelita, dan F. F. Sitompul, "Penerapan Teknologi AI dan Machine Learning dalam Manajemen Rantai Pasokan," *TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, vol. 7, no. 1, 2024.
- [4] S. Setiyani, A. Aminah, dan E. Rilvani, "Peran dan Strategi Data Mining dalam Transformasi Bisnis Perusahaan," *Jurnal Media Akademik*, vol. 3, no. 8, Agu. 2025.
- [5] A. Ichwani, E. Irawan, L. W. A. Saputro, G. P. Pradana, dan J. Maulindar, "Implementasi Algoritma Random Forest untuk Prediksi Permintaan dan Optimasi Stok pada Sistem Manajemen Inventori Layanan Pengiriman Makanan," Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (SENATIB), 2025.
- [6] Usanto, A. Sopian, N. Sucayyo, R. Syahrial, dan I. Hiswara, "Integrasi IoT dan Big Data untuk Optimasi Logistik dan Rantai Pasokan," *Jurnal Rekayasa Informasi Swadharma (JRIS)*, vol. 4, no. 2, Jul. 2024.
- [7] I. Intan, Rismayani, S. A. D. Ghani, Nurdin, dan A. T. C. Koswara, "Analisis Performansi Prakiraan Cuaca Menggunakan Algoritma Machine Learning," *Jurnal Pekommash*, vol. 6, no. 2, pp. 1-8, Okt. 2021.
- [8] I. Intan et al., "Weather Forecasting Analysis using Bayesian Regularization Algorithms," *International Journal of Informatics and Computation (IJICOM)*, vol. 3, no. 2, Des. 2021.
- [9] H. C. Bimantara, A. Rokim, dan E. Rilvani, "Data Mining untuk Estimasi Waktu Produksi dan Pengiriman Komponen Prefab Berdasarkan Riwayat Proyek," *Jurnal Media Akademik*, vol. 3, no. 7, Jul. 2025.
- [10] M. Farhan, Nurdin, dan Maryana, "Sistem Informasi Model Rantai Pasok Hasil Pertanian Menggunakan Algoritma Genetika," SENASTIKA Universitas Malikussaleh.