

PEMANFAATAN *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* DALAM MANAJEMEN RANTAI PASOK PRODUK PERTANIAN: TINJAUAN LITERATUR SISTEMATIK

Mutiara Ria Despita Maharani¹⁾, Hilyatul Hifziah²⁾,
I Komang Pradnyananda S Rahadiarta³⁾, Yanti Nuraeni Muflikh⁴⁾,
dan Suprehatin⁵⁾

^{1,2,3)}Magister Sains Agribisnis, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University
Jl. Kamper Wing 4 Level 5 Kampus IPB Dramaga Bogor, Indonesia

^{4,5)}Departemen Agribisnis, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University
Jl. Kamper Wing 4 Level 5 Kampus IPB Dramaga Bogor, Indonesia

e-mail: ⁴⁾yantimu@apps.ipb.ac.id

(Diterima 28 Juni 2025 / Revisi 6 Agustus 2025 / Disetujui 4 September 2025)

ABSTRACT

The agricultural product supply chain frequently faces challenges, including fluctuations in demand, climate change, and the perishable nature of products, which can result in inefficiencies and losses. These issues require technology to optimize supply chain performance, one of which is through the use of Artificial Intelligence (AI). This study aims to identify the types of AI commonly used, their applications across various stages of the supply chain, their role in enhancing efficiency, and the challenges associated with their implementation. The method used is a Systematic Literature Review (SLR) based on 21 scientific articles from 2015 to 2025 sourced from the Scopus database. Articles were selected based on criteria including journals and proceedings, open access, and relevance to AI applications in agricultural product supply chains. The research results indicate that machine learning and deep learning are the most widely used types of AI, particularly for crop yield prediction, plant disease detection, product quality classification, and logistics management. AI has been applied across various stages of the supply chain, from cultivation, processing, to distribution. AI has proven to enhance efficiency, real-time monitoring, and decision-making. However, its implementation still faces challenges such as limited quality data, inadequate infrastructure, high implementation costs, and low human resource capacity. Therefore, the utilization of AI in the agricultural product supply chain requires collaboration between the government, academia, industry, and farmers. On the other hand, regulations and policies supporting AI adoption also need further review to ensure this technology can be widely and sustainably implemented.

Keywords: *agricultural product, artificial intelligence, deep learning, machine learning, supply chain*

ABSTRAK

Rantai pasok produk pertanian seringkali menghadapi tantangan seperti fluktuasi permintaan, perubahan iklim, sifat produk yang mudah rusak sehingga menyebabkan inefisiensi dan kerugian. Permasalahan ini membutuhkan teknologi untuk mengoptimalkan kinerja rantai pasok salah satunya melalui pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis AI yang banyak digunakan, penerapannya di berbagai tahapan rantai pasok, perannya terhadap efisiensi serta tantangan implementasinya. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dengan menggunakan 21 artikel ilmiah dari tahun 2015-2025 yang berasal dari *database* Scopus. Artikel dipilih berdasarkan kriteria berupa jurnal dan prosiding, akses terbuka serta relevan dengan penerapan AI dalam rantai pasok produk pertanian. Hasil penelitian menunjukkan *machine learning* dan *deep learning* merupakan jenis AI yang paling banyak digunakan, khususnya untuk prediksi hasil panen, deteksi penyakit tanaman, klasifikasi mutu produk, dan manajemen logistik. Penerapan AI telah dilakukan di berbagai tahapan rantai pasok, mulai dari budidaya, pengolahan, hingga distribusi. AI terbukti meningkatkan efisiensi, pemantauan secara *real-time*, dan pengambilan keputusan. Namun, penerapannya masih menghadapi kendala seperti keterbatasan data berkualitas, infrastruktur yang belum memadai, biaya implementasi yang tinggi, dan rendahnya kapasitas SDM. Oleh karena itu, pemanfaatan AI dalam rantai pasok produk pertanian memerlukan kolaborasi antara pemerintah,

akademisi, industri, dan petani. Di sisi lain, regulasi dan kebijakan yang mendukung adopsi AI juga perlu dikaji lebih lanjut agar teknologi ini dapat diterapkan secara luas dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *deep learning*, kecerdasan buatan, *machine learning*, produk pertanian, rantai pasok

PENDAHULUAN

Era globalisasi membawa berbagai tantangan dan peluang yang semakin kompleks dalam pengelolaan rantai pasok. Pada era ini menuntut perusahaan untuk mengadopsi strategi manajemen rantai pasok yang lebih efisien (Alberto & Takaya, 2024). Rantai pasok memiliki sistem kompleks, saling terhubung, dinamis, memiliki tujuan tertentu dan bersifat probabilistik (Suharjito & Marimin, 2012). Karakteristik ini menyebabkan rantai pasok rentan terhadap berbagai gangguan (Putri *et al.*, 2020). Oleh karena itu, efektivitas dan efisiensi rantai pasok menjadi aspek penting dalam mempengaruhi pengambilan keputusan untuk mencapai tujuan rantai pasok. Selain memperhatikan efektivitas dan efisiensi, rantai pasok khususnya produk pertanian menghadapi tantangan seperti fluktuasi permintaan pasar dan perubahan iklim. Tantangan lainnya adalah produk pertanian memiliki sifat yang mudah rusak dan busuk, *bulky* dan *voluminous* (Adriana *et al.*, 2023). Kondisi ini menuntut perlunya inovasi berbasis teknologi yang mampu meningkatkan keandalan rantai pasok. Transformasi digital seperti *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan (AI), *blockchain*, dan teknologi lainnya yang memungkinkan rantai pasok dapat adaptif, responsif dan transparan (Eryc & Deu, 2024).

Teknologi kecerdasan buatan berperan dalam memodernisasi rantai pasok produk pertanian. AI menawarkan kemampuan untuk mengintegrasikan, menganalisis serta merespons data secara *real-time* yang dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan proses mulai dari produksi, distribusi hingga konsumsi (Kamilaris *et al.*, 2019). AI muncul sebagai inovasi yang menjawab tantangan rantai pasok pertanian dengan kemampuan analisis data dan otomatisasi proses yang mengarah pada sistem pertanian yang prediktif, efisien, dan adaptif (Liakos *et al.*, 2018). Meskipun AI bukanlah topik baru dalam dunia akademik, perkembangannya telah membuka peluang pemanfaatan yang semakin luas di berbagai bidang, termasuk

pertanian. Pada sektor pertanian, AI telah berhasil digunakan untuk prediksi hasil panen (Liu *et al.*, 2025), deteksi penyakit tanaman (Majeed *et al.*, 2024), klasifikasi mutu buah (Garillos-Manliguez & Chiang, 2021), serta pengelolaan logistik dan distribusi (Le *et al.*, 2024).

Rantai pasok produk pertanian yang bersifat kompleks dan rentan terhadap ketidakefisienan memerlukan teknologi yang mampu mengatasi berbagai tantangan. Penelitian oleh Mustanirroh *et al.*, (2023) dan Sari & Nurmawati, (2011) menyatakan tantangan utama dalam rantai pasok adalah kurangnya integrasi dan koordinasi antar pelaku, aliran informasi dan finansial yang belum optimal serta tidak mampu memprediksi pasokan dan permintaan. Di sisi lain, penelitian Lailia *et al.* (2020) menyatakan produk pertanian juga rentan mengalami penurunan kualitas akibat sistem pengiriman yang tidak efisien. Berdasarkan permasalahan tersebut, AI tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi telah memengaruhi berbagai bidang dari perspektif yang lebih holistik (Toorajipour *et al.*, 2021). AI dapat menjawab tantangan rantai pasok produk pertanian seperti inefisiensi distribusi, tingginya tingkat kehilangan pasca panen, prediksi yang tidak akurat hingga fluktuasi harga pasar.

Saat ini, terdapat sejumlah penelitian mengenai penerapan AI dalam rantai pasok produk pertanian. Selain itu, terdapat pemetaan sistematis yang membahas kontribusi AI dalam manajemen rantai pasok (Teixeira & Ferreira, 2025), transformasi rantai pasok susu (Serrano-torres *et al.*, 2025), dan penerapan AI dalam perencanaan permintaan rantai pasok (Walter *et al.*, 2025). Namun, tanpa pemahaman yang komprehensif, penerapan AI berisiko tidak optimal terutama di negara berkembang yang menghadapi keterbatasan infrastruktur dan literasi teknologi (Shamshiri *et al.*, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini akan memberikan pemahaman mengenai pemanfaatan AI dalam rantai pasok produk pertanian menggunakan pendekatan tinjauan literatur sistematis. Penelitian ini mengkaji berbagai aspek termasuk jenis AI,

pemanfaatannya di setiap tahapan rantai pasok, peran *AI* dalam meningkatkan efisiensi rantai pasok dan tantangan yang dihadapi dalam penerapannya. Adapun tujuan penelitian meliputi (1) mengidentifikasi jenis *AI* yang diterapkan dalam rantai pasok produk pertanian, (2) mengidentifikasi pemanfaatan *AI* pada setiap tahapan rantai pasok, (3) mengidentifikasi peran *AI* dalam meningkatkan efisiensi rantai pasok, dan (4) mengidentifikasi tantangan dalam penerapan *AI* pada rantai pasok produk pertanian.

METODE

METODE ANALISIS DATA

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR). SLR merupakan suatu metode untuk mengumpulkan dan mengevaluasi penelitian yang berfokus pada topik tertentu. Tujuan utama penggunaan metode SLR adalah untuk mengidentifikasi, mengkaji, mengevaluasi dan menafsirkan penelitian-penelitian yang tersedia mengenai topik tertentu dengan menggunakan pertanyaan penelitian yang relevan (Barricelli *et al.*, 2019). Adapun tahapan metode SLR meliputi (1) merumuskan pertanyaan penelitian, (2) melakukan penelusuran literatur, (3) mengevaluasi literatur yang sesuai dengan topik penelitian, (4) menganalisis data dan (5) melaporkan hasil penelitian yang dilakukan (Wirda *et al.*, 2025).

Perumusan Pertanyaan Penelitian

Penelitian ini menyusun pertanyaan penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan *AI* dalam rantai pasok produk pertanian. Tinjauan literatur sistematis mengenai pemanfaatan *AI* dalam rantai pasok produk pertanian penting untuk memahami beberapa jenis *AI* yang diterapkan, perannya dalam rantai pasok serta tantangan yang dihadapi di lapangan.

Database Penelitian

Penelitian ini menggunakan *database* Scopus untuk mencari literatur yang relevan dengan topik penelitian berupa artikel ilmiah dan prosiding. Scopus dipilih dikarenakan salah satu *database* yang dikenal luas dalam dunia akademis. Scopus menyediakan literatur yang relevan berupa artikel jurnal maupun prosiding yang mendukung topik penelitian ini. Topik yang dipilih dalam pene-

litian ini adalah peran dan tantangan penerapan *AI* dalam rantai pasok produk pertanian. Proses pencarian dan penelusuran literatur menggunakan kata kunci yang relevan (Tabel 1).

Keywords Pencarian Literatur

Tabel 1. Kata Kunci Pencarian Literatur

Database	Pencarian	Hasil
Scopus	TITLE-ABS-KEY (((“supply chain” OR “supply chain management” OR “SCM”) AND (“artificial intelligence” OR “AI” OR “machine learning” OR “deep learning”) AND (“agriculture”)))	331

Kriteria Kelayakan Artikel

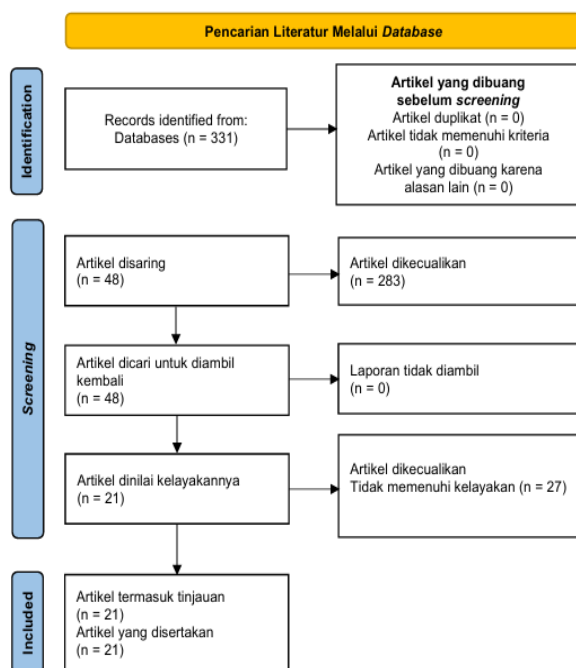
Setelah melakukan pencarian literatur, artikel akan diseleksi berdasarkan kriteria kelayakan. Adapun kriteria kelayakan yang telah ditetapkan sebagai berikut:

- 1) Literatur berbahasa Inggris yang terbit pada rentang tahun 2015-2025. Pemilihan waktu yang kontemporer untuk memastikan bahwa metodologi dan hasil penelitian mencerminkan kondisi terkini (Kraus *et al.*, 2022).
- 2) Literatur yang digunakan berupa artikel ilmiah dan prosiding yang telah melewati proses *peer review* untuk menjamin validitas penelitian (Boell & Cecez-Kecmanovic, 2015).
- 3) Literatur membahas spesifik mengenai rantai pasok produk pertanian untuk memastikan kesesuaian hasil penelitian dengan topik yang dibahas (Colamaria *et al.*, 2021).
- 4) Literatur dengan akses terbuka untuk menjamin transparansi dan kemudahan akses bagi pembaca dan peneliti (Page *et al.*, 2021).

Tahapan Seleksi Artikel

Pemilihan artikel dilakukan dengan tahap penyaringan berdasarkan kriteria kelayakan yang ditetapkan. Literatur yang digunakan dalam penelitian hanya artikel yang memenuhi kriteria inklusi. Proses ini melibatkan pencarian artikel melalui *database* Scopus. Pencarian literatur dengan menggunakan kata kunci diperoleh sebanyak 331 artikel. Hasil penyaringan diperoleh 48 artikel dan tersisa 21 artikel yang memenuhi kriteria kela-

yakan. Artikel tersebut juga dipilih berdasarkan relevansi dengan topik dan kualitasnya. Pada Gambar 1 diagram alur PRISMA menunjukkan proses identifikasi, penyaringan dan kelayakan artikel untuk tinjauan literatur sistematis. Metode ini merujuk pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) yang dikembangkan oleh (Page *et al.*, 2021). Diagram ini menunjukkan bagaimana data awal yang besar disaring melalui beberapa tahap untuk menghasilkan sejumlah artikel yang relevan dan layak untuk masuk dalam tinjauan literatur sistematis (Wirda *et al.*, 2025).



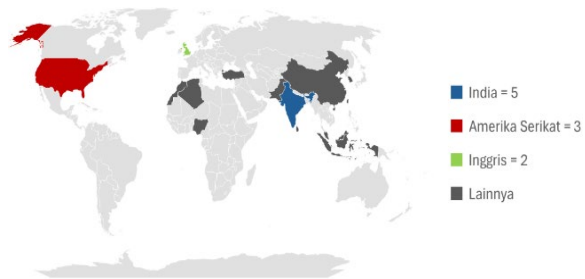
Gambar 1. Diagram PRISMA

HASIL DAN PEMBAHASAN

PROFIL LITERATUR PENELITIAN

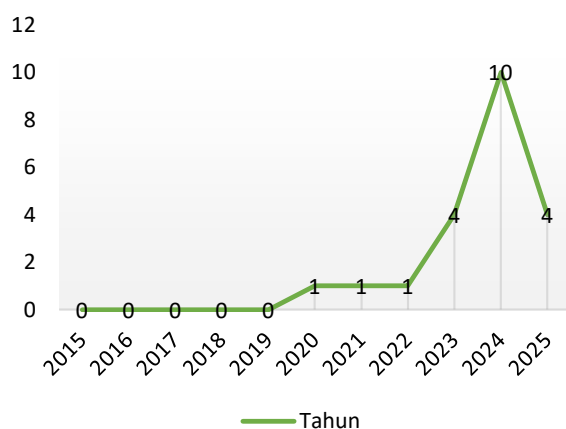
Pada Gambar 2 menunjukkan distribusi artikel yang memenuhi kriteria berdasarkan negara. India berada di posisi paling atas dengan total lima artikel, diikuti oleh Amerika Serikat sebanyak tiga artikel dan Inggris sebanyak dua artikel. Sementara, negara-negara seperti Turki, Taiwan, Sri Lanka, Pakistan, Nigeria, Maroko, Malaysia, Indonesia, Korea Selatan, China dan Algeria masing-masing menyumbang satu artikel. Hal ini mencerminkan keberagaman geografis mengenai pemanfaatan AI dalam rantai pasok. Namun, distribusi ini menun-

jukkan sebagian besar penelitian masih terkonsentrasi di negara-negara dengan teknologi maju seperti India, Amerika Serikat dan Inggris.



Gambar 2. Distribusi Artikel Berdasarkan Negara

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui perkembangan jumlah publikasi yang digunakan dari tahun ke tahun. Jumlah publikasi tertinggi pada tahun 2024 yang artinya terjadi peningkatan minat terhadap penelitian mengenai pemanfaatan AI dalam rantai pasok. Peningkatan ini salah satunya didorong oleh kemajuan metode *forecasting* yang mampu meningkatkan efisiensi distribusi dan ketahanan pangan global (Dhal & Kar, 2024). Sementara, penelitian oleh Shahzadi *et al.* (2024) menyatakan bahwa meningkatnya adopsi AI dalam SCM disebabkan oleh kebutuhan efisiensi operasional, ketahanan dan keberlanjutan rantai pasok. Namun, terjadi fluktuasi jumlah publikasi pada tahun 2015 hingga 2019 sehingga publikasi topik AI masih rendah. Hal ini disebabkan keterbatasan adopsi teknologi pada rantai pasok dan kurangnya infrastruktur yang mendukung.



Gambar 3. Distribusi Jumlah Artikel Berdasarkan Tahun

JENIS AI DALAM RANTAI PASOK PRODUK PERTANIAN

Penggunaan teknologi AI diharapkan mampu mengoptimalkan jalannya rantai pasok, meningkatkan efisiensi produksi dan logistik serta mendukung pengambilan keputusan di lapangan.

Penggunaan AI secara menyeluruh membuat rantai pasok produk pertanian menjadi responsif dan fleksibel. Pada Tabel 2 menyajikan sejumlah 21 artikel yang membahas pemanfaatan AI dalam rantai pasok produk pertanian.

Tabel 2. Teknologi AI dalam Rantai Pasok Produk Pertanian

No.	Artikel	Jenis AI
1.	AI-driven time series analysis for predicting strawberry weekly yields integrating fruit monitoring and weather data for optimized harvest planning	Model <i>machine learning</i> dan <i>deep learning</i> untuk memprediksi panen stroberi
2.	Food fraud detection using explainable artificial intelligence	<i>Deep Neural Network</i> (DNN) dan <i>Explainable AI</i> (XAI) untuk mendeteksi penipuan makanan
3.	Standalone edge AI-based solution for Tomato diseases detection	Deteksi penyakit tomat berbasis <i>deep learning</i> dengan <i>Convolutional Neural Networks</i> (CNN)
4.	An ensemble deep learning models approach using image analysis for cotton crop classification in AI-enabled smart agriculture	Penggabungan <i>deep learning</i> dan <i>ensemble learning</i> untuk mendeteksi kondisi dan penyakit tanaman kapas
5.	Development of a uas-based multi-sensor deep learning model for predicting napa cabbage fresh weight and determining optimal harvest time	Model <i>Deep Neural Network</i> (DNN) untuk memprediksi bobot segar kubis dan menentukan waktu panen optimal
6.	Digital twins for real-time monitoring and operation of coffee value chain and supply chain	Pengembangan <i>Digital Twin</i> yang terintegrasi dengan IoT, AI, dan YOLOv8 untuk memantau rantai pasok kopi secara <i>real-time</i>
7.	Improved commodity supply chain performance through AI and computer vision techniques	Pemanfaatan AI seperti <i>Computer Vision</i> dan <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) untuk mendeteksi penyakit tanaman gandum
8.	Challenges facing AI adoption during Covid-19 pandemic: an investigation into the agriculture and agri-food supply chain in India	Pemanfaatan teknologi AI seperti <i>machine learning</i> , <i>artificial neural networks</i> dan <i>deep learning</i> untuk mendukung pengambilan keputusan rantai pasok
9.	Intelligent spatial decision support system concept in the potato agro-industry supply chain	Teknologi AI, GIS dan IoT untuk memprediksi hasil panen, melacak distribusi kentang dan mengelola pengiriman
10.	Sustainable farming with machine learning solutions for minimizing food waste	Penggabungan teknologi AI dan <i>machine learning</i> mengurangi <i>food waste</i>
11.	A risk assessment model for the entire rice processing chain based on Kmeans++ and extreme learning machine	Pendekatan berbasis AI untuk mendeteksi tingkat bahaya beracun dalam tahap pengolahan beras
12.	Innovative deep learning approach for cross-crop plant disease detection: A generalized method for identifying unhealthy leaves	Model <i>deep learning</i> mendeteksi penyakit tanaman melalui daun yang tidak sehat
13.	Optimizing warehouse management system with blockchain and machine learning predictive data analytics	Sistem manajemen gudang gabungan <i>blockchain</i> dan <i>machine learning</i> untuk menjaga keamanan dan transparansi serta memprediksi waktu pengiriman
14.	Forecasting livestock feed sales using machine learning techniques: an analysis of the Moroccan market	Model <i>machine learning</i> untuk meramalkan penjualan pakan ternak menurut data transaksi penjualan dan iklim
15.	Predicting oil palm yield using a comprehensive agronomy dataset and 17 machine learning and deep learning models	Kombinasi <i>machine learning</i> dan <i>deep learning</i> untuk memprediksi hasil panen kelapa sawit dan
16.	A multi-farm global-to-local expert-informed machine learning system for strawberry yield forecasting	Model <i>machine learning</i> untuk memprediksi hasil panen dan mendukung keputusan petani dalam manajemen logistik
17.	Refinement of chipless RFID tags across multiple positions for improved recognition reliability through machine learning techniques	Model <i>machine learning</i> untuk meningkatkan keandalan identifikasi tag RFID pada berbagai posisi dan kondisi lingkungan
18.	Analysis of demand forecasting of agriculture using machine learning algorithm	Model <i>machine learning</i> seperti regresi linier, regresi logaritmik dan <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) untuk meramalkan permintaan dan merekomendasikan jenis tanaman berdasarkan kondisi lingkungan seperti iklim, tanah, air dan sebagainya
19.	Machine learning based crop suitability prediction and fertiliser recommendation system	Model <i>machine learning</i> <i>Random Forest</i> untuk memprediksi tanaman paling cocok berdasarkan data hasil panen dan wilayah. <i>K-Means Clustering</i> untuk memberikan rekomendasi pupuk
20.	Best profitable crops prediction with profit, cost, and farmland optimization using machine learning	Kombinasi model <i>machine learning</i> dan <i>deep learning</i> seperti <i>Random Forest</i> , <i>XGBoost</i> , LSTM, dan ARIMA untuk memprediksi tanaman paling menguntungkan berdasarkan iklim, biaya dan harga
21.	Model <i>deep learning</i> , cahaya tampak dan <i>hyperspectral</i> untuk estimasi kematangan buah	Menggunakan <i>multimodal deep learning</i> (CNN) yang menggabungkan citra RGB dan hiperspektral untuk memprediksi tingkat kematangan buah pepaya

Sumber : Penulis, 2025

Berdasarkan Tabel 2 diketahui jenis AI yang paling banyak diterapkan dalam rantai pasok produk pertanian adalah *machine learning* (ML). Model ML secara luas digunakan untuk memprediksi hasil panen, peramalan permintaan dan memprediksi waktu pengiriman. Model *deep learning* terutama *Convolutional Neural Networks* (CNN) juga banyak digunakan untuk mendeteksi penyakit pada tanaman dan buah serta mengestimasi tingkat kematangan buah. Selain itu, model pendukung lainnya seperti *Explainable AI* (XAI), IoT, GIS, *blockchain* dan *Digital Twin* digunakan untuk memantau rantai pasok secara *real-time*, melacak distribusi dan mengelola pengiriman secara efisien. Secara keseluruhan, AI mendukung efisiensi rantai pasok produk pertanian.

PEMANFAATAN AI PADA SETIAP TAHAPAN RANTAI PASOK PRODUK PERTANIAN

Penerapan AI pada rantai pasok produk pertanian menunjukkan tingkat adopsi yang beragam pada setiap tahapan rantai pasok. Penerapan AI mencakup tahapan budidaya, pengolahan serta distribusi dan logistik. Klasifikasi ini memberikan gambaran mengenai bagaimana AI diintegrasikan secara bertahap sesuai dengan kebutuhan dan tantangan spesifik pada setiap tahapan rantai pasok. Adapun berbagai penerapan AI pada setiap tahapan rantai pasok produk pertanian sebagai berikut:

Penerapan pada Tahap Budidaya

Pemanfaatan AI pada tahapan budidaya menggunakan teknologi sensor, kamera dan *machine learning*. Pada penelitian Liu *et al.* (2025) penerapan AI membantu memprediksi hasil panen dengan penggunaan teknologi sensor, kamera dan ML untuk pengambilan keputusan agronomis secara presisi. Penelitian oleh Beddows & Leontidis (2024) menekankan penggunaan AI untuk memprediksi hasil panen berdasarkan data waktu seperti cuaca dan monitoring tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa AI digunakan untuk perencanaan panen yang optimal serta meningkatkan akurasi prediksi hasil panen untuk mencegah kelebihan atau kekurangan *supply*. Komoditas yang menjadi objek adalah *strawberry* dan kelapa sawit yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap cuaca dan lingkungan. Sementara penelitian oleh Garillos-Manliguez dan Chiang (2021) membahas deteksi

tingkat kematangan buah menggunakan *hyper-spectral imaging*. Kematangan buah merupakan faktor krusial dalam rantai pasok pertanian, karena memengaruhi permintaan konsumen dan nilai produk. Penelitian tersebut menggunakan klasifikasi kematangan dengan membedakan antara buah matang dan belum matang.

Adapun penelitian Majeed *et al.* (2024) dan Bouacida *et al.* (2025) menggarisbawahi peran AI untuk deteksi dini penyakit tanaman melalui citra daun atau pengamatan sensor. Penggunaan AI memungkinkan respon cepat terhadap penyakit, mengurangi kerugian dan meningkatkan kualitas hasil. Penerapan teknologi tersebut penting pada komoditas seperti kopi dan kapas yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Beberapa tahun terakhir, pendekatan berbasis visi komputer semakin populer karena efektivitas dan efisiensinya dalam deteksi penyakit yang cepat sejak dini. Hal ini dapat diketahui dengan mengevaluasi kinerja solusi Edge-AI mandiri untuk deteksi penyakit daun tomat (Majeed *et al.*, 2024). Adanya penerapan AI dapat mendeteksi penyakit tanaman dengan model *deep learning*. Deteksi dapat dilakukan lebih mudah dengan hasil yang akurat. Penelitian Shahid *et al.* (2024) menggunakan model tersebut untuk mengklasifikasikan tanaman kapas yang sehat dan tidak sehat.

Penerapan pada Tahap Pengolahan dan Manufaktur

Pada tahap ini, teknologi AI dimanfaatkan untuk mengidentifikasi kualitas dan kelayakan produk. Meskipun penerapan AI pada level manufaktur belum seumum pada tahap produksi, tetapi kontribusinya dalam meningkatkan mutu produk cukup signifikan. Penelitian oleh Qi *et al.* (2025) membahas mengenai penilaian risiko dalam pengolahan beras. Pemanfaatan teknologi *big data* dan AI, dapat menentukan tingkat risiko dalam proses pengolahan beras dengan cepat dan akurat. Selain itu, mampu menyediakan pengambilan keputusan bagi otoritas regulasi keamanan pangan. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi ini berperan penting dalam menjaga kesehatan dan keselamatan publik. Penelitian Buyuktepe *et al.* (2023) menunjukkan pemanfaatan AI melalui implementasi sistem deteksi penipuan makanan (*food fraud detection*). Teknologi tersebut dapat meningkatkan transparansi dan pelacakan produk dari hulu

ke hilir serta memastikan kepatuhan terhadap standar mutu dan keamanan pangan.

Penerapan pada Tahap Distribusi dan Logistik

Penggunaan AI dalam distribusi dan logistik pertanian menunjukkan perkembangan, tetapi masih terbatas pada beberapa studi. Penelitian Sun *et al.* (2024) dan Hande & Chandak (2024) memanfaatkan AI untuk merancang prediksi pengelolaan gudang dan perencanaan distribusi yang berdampak pada minimalisasi biaya penyimpanan dan pengiriman. Pemanfaatan AI memungkinkan perusahaan mengambil keputusan berbasis data yang lebih akurat dan responsif terhadap perubahan permintaan pasar. Gudang merupakan titik penyimpanan fisik sekaligus pergerakan produk. Seiring bertambahnya ukuran dan kompleksitas operasi gudang, pengelolaannya menjadi semakin kompleks. Sistem manajemen gudang (*Warehouse Management System*) dapat meningkatkan keamanan dan transparansi. Setiap item diberi label dengan kode batang yang berfungsi sebagai kembaran digital. Pendekatan ini memungkinkan pelacakan produk secara menyeluruh, sehingga mampu meningkatkan efisiensi dalam proses pengiriman (Hande & Chandak, 2024).

Penelitian Le *et al.* (2024) menggunakan *digital twins* untuk pemantauan *real-time* pada rantai pasok kopi. Teknologi ini memungkinkan pelacakan asal-usul produk secara transparan dari lahan pertanian hingga ke tangan konsumen, serta membantu pemangku kepentingan dalam memenuhi regulasi keamanan pangan. *Digital twins* dapat digunakan untuk mensimulasikan dampak berbagai skenario seperti perubahan iklim terhadap produksi tanaman. Penggunaan teknologi ini memungkinkan petani membuat keputusan berbasis data untuk mengoptimalkan produktivitas. Selain itu, integrasi *digital twins* ke dalam platform pertanian cerdas berfokus pada pemantauan dan pengelolaan rantai pasok kopi secara *real-time*.

PERAN PEMANFAATAN AI DALAM RANTAI PASOK PRODUK PERTANIAN

AI menjadi teknologi kunci dalam transformasi rantai pasok produk pertanian, dengan peran yang semakin strategis dalam meningkatkan efisiensi, akurasi, dan keberlanjutan sistem pertanian modern. Beragam jenis AI seperti *machine*

learning, *computer vision*, dan *Internet of Things* (IoT) berbasis kecerdasan buatan, digunakan dalam berbagai tahap rantai pasok, mulai dari prediksi dan deteksi dini *input*, klasifikasi dan kontrol mutu, pengelolaan logistik dan distribusi, prediksi permintaan pasar dan manajemen inventori, serta peningkatan aspek keamanan dan ketertelusuran produk tersebut. Peran AI tidak hanya mempercepat proses pengambilan keputusan, tetapi memungkinkan integrasi data secara *real time* untuk mendukung ketahanan pangan dan meningkatkan pendapatan petani melalui pengelolaan yang lebih cerdas dan responsif terhadap dinamika pasar. Berbagai peran penerapan AI dalam rantai pasok produk pertanian sebagai berikut (Tabel 3):

Peran AI dalam Prediksi dan Deteksi Dini *Input*

Peran AI dalam tahap awal rantai pasok didominasi pada proses prediksi hasil panen, deteksi dini penyakit tanaman, serta estimasi cuaca ekstrem yang berdampak pada jumlah produksi. Pendekatan ini mampu meningkatkan akurasi pengambilan keputusan pertanian, memperbaiki perencanaan tanam, dan mengurangi potensi gagal panen. Algoritma seperti YOLO (*You Only Look Once version 8 nano*) telah digunakan secara luas dalam menghitung bunga, buah yang belum matang, serta buah matang per tanaman yang digunakan untuk melakukan peramalan hasil produksi dan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) digunakan untuk deteksi otomatis dan dini terhadap penyakit tanaman (Majeed *et al.*, 2024). Adanya deteksi otomatis dan dini terhadap hasil panen serta penyakit ini dapat membantu petani untuk segera mengadopsi strategi mitigasi guna membatasi penyebaran penyakit yang mengarah pada peningkatan produksi. Penelitian oleh Liu *et al.* (2025) menunjukkan peran AI yang mampu mengotomatiskan peramalan hasil panen, mengurangi biaya tenaga kerja dan perencanaan panen lebih efisien.

Peran AI dalam Klasifikasi dan Pengendalian Mutu Pascapanen

Pada tahapan pascapanen, banyak produk pertanian akan mengalami kerusakan selama masa pengiriman dan penyimpanan jika tidak ditangani secara cepat dan tepat yang akan berdampak pada penurunan mutu kualitas dan dapat

Tabel 3. Teknologi AI yang Digunakan dalam Rantai Pasok Produk Pertanian

No.	Peran AI	Artikel Terkait
1.	Deteksi Dini Penyakit Tanaman	Shahid <i>et al.</i> , (2024), Olawale <i>et al.</i> , (2025), Bouacida <i>et al.</i> , (2025), Beddows & Leontidis (2024)
2.	Manajemen Risiko Produksi dan Cuaca	Le <i>et al.</i> , (2024), Thomas <i>et al.</i> , (2024)
3.	Prediksi Hasil Panen	Liu <i>et al.</i> , (2025), Buyuktepe <i>et al.</i> , (2023), Le <i>et al.</i> , (2024), Sun <i>et al.</i> , (2024)
4.	Peningkatan Kualitas dan Keberlanjutan Produksi	Liu <i>et al.</i> , (2025), Le <i>et al.</i> , (2024), Jamshidi <i>et al.</i> , (2024), Garillos-Manliguez & Chiang (2021)
5.	Klasifikasi dan Sortasi Produk	Majeed <i>et al.</i> , (2024), Mishra <i>et al.</i> , (2023), Yusianto <i>et al.</i> , (2020), Nebri <i>et al.</i> , (2024)
6.	Logistik dan Distribusi	Le <i>et al.</i> , (2024), Hande & Chandak (2024), Thomas <i>et al.</i> , (2024)
7.	Prediksi Permintaan dan Manajemen Inventori	Liu <i>et al.</i> , (2025), Lee & Park (2024), Thomas <i>et al.</i> , (2024)
8.	Keamanan Pangan dan Ketertelusuran	Qi <i>et al.</i> , (2025), Bouacida <i>et al.</i> , (2025), Hande & Chandak (2024), Thomas <i>et al.</i> , (2024)
9.	Pengambilan Keputusan dan Perencanaan	Liu <i>et al.</i> , (2025), Lee & Park (2024), Thomas <i>et al.</i> , (2024), Garillos-Manliguez & Chiang (2021)
10.	Otomatisasi dan Efisiensi Operasional	Shahid <i>et al.</i> , (2024), Nebri <i>et al.</i> , (2024), (Alagalla & Weerasinghe, 2023)

Sumber : Penulis, 2025

mengakibatkan penurunan nilai jual bahkan kerugian. AI berperan dalam klasifikasi kualitas hasil panen menggunakan *computer vision* dan model klasifikasi berbasis ML. Model seperti YOLO (*You Only Look Once*) mampu mendeteksi cacat buah dalam hitungan milidetik, membantu dalam proses sortasi otomatis di gudang (Sun *et al.*, 2024). Selain itu, AI juga dimanfaatkan dalam *monitoring* suhu dan kelembaban melalui sensor IoT yang dikombinasikan dengan pembelajaran mesin untuk memberikan peringatan dini terhadap potensi pembusukan (Yusianto *et al.*, 2020; Olawale *et al.*, 2025). Hal ini dapat mengurangi *food waste*, yang merupakan salah satu penyumbang utama inefisiensi dalam rantai pasok pangan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hande & Chandak (2024) melihat peran AI dalam menciptakan sistem manajemen gudang menjadi lebih cerdas, aman, dan efisien. Kombinasi ML digunakan untuk memperkirakan berapa lama proses dari pesanan masuk hingga barang dikirim, sehingga dapat mempercepat proses kerja, mengurangi keterlambatan, dan membuat gudang bekerja lebih efisien. Selain itu, sistem *blockchain* yang digunakan berguna untuk menyimpan data dengan aman dan transparan, serta mengotomatisasi transaksi seperti pembayaran dan verifikasi.

Peran AI dalam Logistik dan Distribusi

Rantai logistik dan distribusi dalam pertanian mengalami transformasi signifikan dengan

penerapan AI yang mampu meningkatkan efisiensi, transparansi, dan keamanan operasional (Halder *et al.*, 2025). Salah satu contoh nyata adalah pengembangan sistem manajemen gudang pintar berbasis Web3 yang mengintegrasikan teknologi *blockchain* dan pembelajaran ML. Pemanfaatan ML untuk memprediksi waktu total proses dari penerimaan hingga pengiriman pesanan, sistem ini mengoptimalkan alur kerja dan mengurangi penundaan (Hande & Chandak, 2024). Selain itu, teknologi RFID tanpa *chip* yang dioptimalkan menggunakan algoritma klasifikasi AI seperti SVM dan k-NN memungkinkan pelacakan aset dan barang dalam rantai pasok dengan biaya rendah dan keandalan tinggi, meski dalam kondisi lingkungan bersuhu tinggi (Thomas *et al.*, 2022). Integrasi AI dalam proses logistik membantu menciptakan ekosistem distribusi yang lebih responsif dan dapat dipercaya, yang sangat penting dalam rantai pasok pertanian yang kompleks dan dinamis.

Peran AI dalam Prediksi Permintaan dan Manajemen Inventori

AI berperan strategis dalam memodelkan dan memprediksi pola permintaan konsumen, yang menjadi dasar penting dalam pengelolaan rantai pasok modern (Rejeb *et al.*, 2025). Dengan memanfaatkan algoritma pembelajaran ML, sistem AI dapat menganalisis data penjualan historis, tren musiman, promosi, hingga perilaku pembe-

lian konsumen secara *real time* (Nebri *et al.*, 2024). Hasil analisis ini digunakan untuk memperkirakan permintaan secara akurat, bahkan dalam kondisi pasar yang berubah-ubah. Sistem prediksi permintaan berbasis AI banyak diintegrasikan dengan *e-commerce* dan sistem ERP (*Enterprise Resource Planning*) untuk menciptakan proses pengambilan keputusan yang lebih cepat dan responsif dalam rantai pasok hulu hingga hilir. Dengan kemampuan untuk menyesuaikan pasokan secara dinamis terhadap fluktuasi permintaan, perusahaan dapat mengoptimalkan strategi pemesanan ulang (*reorder*), promosi penjualan, dan alokasi distribusi barang, sehingga mampu meningkatkan efisiensi operasional dan kepuasan konsumen.

Peran AI dalam Keamanan Pangan dan Ketertelusuran (*Traceability*)

Pada aspek keamanan pangan, AI berperan penting dalam deteksi dini kontaminasi biologis maupun kimia yang membahayakan kesehatan konsumen (Qi *et al.*, 2025). Adanya algoritma analitik canggih, AI mampu memproses data besar dari berbagai sensor. Misalnya pada pengolahan beras, metode AI seperti Kmeans++ dan *Extreme Learning Machine* (ELM) dapat mendeteksi risiko polusi dengan akurasi tinggi (hingga 93%), sehingga membantu mengawasi kualitas makanan (Qi *et al.*, 2025). Teknologi ini memungkinkan sistem pengawasan kualitas untuk bertindak proaktif, bukan hanya reaktif, sehingga dapat mengurangi risiko penyebaran produk tercemar dan menjamin standar keamanan pangan tetap terjaga dari tahap awal produksi hingga distribusi.

Sementara dalam hal ketertelusuran (*traceability*), AI berfungsi sebagai penghubung cerdas yang memperkuat transparansi dan akuntabilitas dalam rantai pasok pangan. Adanya kombinasi AI dan *blockchain* dapat menciptakan sistem pelacakan yang transparan dan aman, sehingga konsumen dan produsen bisa mengetahui asal-usul produk secara jelas, serta merespons lebih cepat jika ada masalah keamanan pangan (Hande & Chandak, 2024). Integrasi AI dengan *blockchain* membuat terciptanya jejak digital yang aman dan tidak dapat dimanipulasi dari petani, manufaktur, distributor, pengecer, hingga konsumen akhir. Secara keseluruhan, integrasi AI dalam keamanan pangan

dan ketertelusuran menciptakan sistem pangan yang cerdas, responsif dan bertanggung jawab dalam mendukung upaya global menyediakan pangan yang aman, berkualitas dan dapat dipercaya.

TANTANGAN PEMANFAATAN AI DALAM RANTAI PASOK PRODUK PERTANIAN

Teknologi AI berperan penting dalam rantai pasok, tetapi pada kenyataannya menghadapi sejumlah tantangan di lapangan. Penerapan AI dalam rantai pasok produk pertanian menghadapi faktor pembatas yang menghambat adopsi di lapangan terutama di kalangan petani dan di wilayah yang kurang berkembang (Serrano-torres *et al.*, 2025). Secara keseluruhan faktor utama yang menghambat adopsi AI dalam rantai pasok adalah ketersediaan data yang berskala besar, konsisten dan berkualitas (Liu *et al.*, 2025). Di sisi lain pengumpulan data di lapangan memerlukan biaya yang tinggi dan kelengkapan infrastruktur. Berbagai tantangan penerapan AI dalam rantai pasok produk pertanian sebagai berikut (Tabel 4):

Ketergantungan terhadap Kualitas dan Kelengkapan Data

Secara keseluruhan, tantangan utama yang dihadapi adalah penerapan AI dalam rantai pasok produk pertanian bergantung pada ketersediaan dan kualitas data di lapangan. Model ML membutuhkan kumpulan data berskala besar dan berkualitas tinggi (Liu *et al.*, 2025). Di sisi lain, model *deep learning* juga memerlukan jumlah data yang besar dan beragam agar mampu mendeteksi secara akurat (Shahid *et al.*, 2024). Selain itu, dataset yang digunakan harus bervariasi dan representatif dari kondisi nyata (Majeed *et al.*, 2024). Penelitian oleh (Sun *et al.*, 2024) menyatakan model seperti *Detection Transformer* (DETR) memerlukan data berskala besar dan berkualitas tinggi untuk menghasilkan akurasi yang tepat. Keterbatasan data akan menurunkan akurasi model karena membatasi kinerjanya. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Olawale *et al.* (2025) bahwa kurangnya kelengkapan data *real-time* mampu membatasi akurasi prediksi. Sementara, AI berbasis *high-resolution* RGB, *multispectral* (MSP) dan *thermal infrared* (TIR) memerlukan kualitas data sensor tinggi (Lee & Park, 2024; Beddows & Leontidis, 2024; Garillos-Manliguez & Chiang, 2021).

Tabel 4. Tantangan Pemanfaatan AI dalam Rantai Pasok Produk Pertanian

No.	Peran AI	Artikel Terkait
1.	Ketergantungan terhadap kelengkapan dan kualitas data	Liu <i>et al.</i> , (2025), Buyuktepe <i>et al.</i> , (2023), Majeed <i>et al.</i> , (2024), Shahid <i>et al.</i> , (2024), Lee & Park (2024), Le <i>et al.</i> , (2024), Sun <i>et al.</i> , (2024), Mishra <i>et al.</i> , (2023), Yusianto <i>et al.</i> , (2020), Olawale <i>et al.</i> , (2025), Qi <i>et al.</i> , (2025), Bouacida <i>et al.</i> , (2024), Hande & Chandak (2024), Jamshidi <i>et al.</i> , (2024), Beddows & Leontidis (2024), Thomas <i>et al.</i> , (2024), Chelliah <i>et al.</i> , (2024), Gayathiri <i>et al.</i> , (2023), Alagalla & Weerasinghe (2023), Garillos-Manliguez & Chiang (2021)
2.	Ketidaktepatan dan kerentanan kesalahan dalam prediksi	Majeed <i>et al.</i> , (2024), Shahid <i>et al.</i> , (2024), Mishra <i>et al.</i> , (2023), Olawale <i>et al.</i> , (2025), Hande & Chandak (2024), Alagalla & Weerasinghe (2023)
3.	Kendala komputasi dan kompleksitas dalam keputusan <i>real-time</i>	Liu <i>et al.</i> , (2025), Buyuktepe <i>et al.</i> , (2023), Majeed <i>et al.</i> , (2024), Shahid <i>et al.</i> , (2024), Le <i>et al.</i> , (2024), Sun <i>et al.</i> , (2024), Hande & Chandak (2024), Thomas <i>et al.</i> , (2024), Chelliah <i>et al.</i> , (2024), Gayathiri <i>et al.</i> , (2023), Garillos-Manliguez & Chiang (2021)
4.	Keterbatasan infrastruktur dan tingginya biaya implementasi	Majeed <i>et al.</i> , (2024), Shahid <i>et al.</i> , (2024), Le <i>et al.</i> , (2024), Sun <i>et al.</i> , (2024), Mishra <i>et al.</i> , (2023), Yusianto <i>et al.</i> , (2020), Olawale <i>et al.</i> , (2025), Qi <i>et al.</i> , (2025), Hande & Chandak (2024), Chelliah <i>et al.</i> , (2024)
5.	Ketidakpastian dalam rantai pasok	Buyuktepe <i>et al.</i> , (2023), Yusianto <i>et al.</i> , (2020), Nebri <i>et al.</i> , (2024), Alagalla & Weerasinghe (2023)
6.	Keterbatasan generalisasi model	Liu <i>et al.</i> , (2025), Buyuktepe <i>et al.</i> , (2023), Lee & Park (2024), Sun <i>et al.</i> , (2024), Mishra <i>et al.</i> , (2023), Olawale <i>et al.</i> , (2025), Qi <i>et al.</i> , (2025), Bouacida <i>et al.</i> , (2024), Nebri <i>et al.</i> , (2024), Jamshidi <i>et al.</i> , (2024), Beddows & Leontidis (2024), Thomas <i>et al.</i> , (2024), Alagalla & Weerasinghe (2023)
7.	Kurangnya regulasi dan integrasi dalam sistem logistik	Liu <i>et al.</i> , (2025), Lee & Park (2024), Sun <i>et al.</i> , (2024), Mishra <i>et al.</i> , (2023), Olawale <i>et al.</i> , (2025), Gayathiri <i>et al.</i> , (2023)
8.	Kesulitan interpretasi	Liu <i>et al.</i> , (2025), Buyuktepe <i>et al.</i> , (2023), Mishra <i>et al.</i> , (2023), Qi <i>et al.</i> , (2025), Nebri <i>et al.</i> , (2024), Gayathiri <i>et al.</i> , (2023)
9.	Kesenjangan akses dan kapasitas SDM	Le <i>et al.</i> , (2024), Mishra <i>et al.</i> , (2023), Olawale <i>et al.</i> , (2025)

Sumber : Penulis, 2025

Pada kenyataannya dalam rantai pasok produk pertanian, ketersediaan data kurang lengkap, tidak konsisten dan mengandung *noise* (Qi *et al.*, 2025). Kumpulan data di lapangan seringkali mengalami *missing values*, *data imbalance*, *noise* dan *outlier* (Buyuktepe *et al.*, 2023; Qi *et al.*, 2025; Bouacida *et al.*, 2024; Hande & Chandak, 2024; Beddows & Leontidis, 2024). Di sisi lain data diperoleh dari berbagai sumber seperti sensor IoT, kamera, data cuaca, logistik dan sumber lainnya yang menyebabkan sulitnya melakukan sinkronisasi *real-time* (Le *et al.*, 2024; Yusianto *et al.*, 2020; Chelliah *et al.*, 2024; Garillos-Manliguez & Chiang, 2021). Berbagai kondisi tersebut menyebabkan data memiliki kualitas yang rendah, sehingga prediksi tidak akurat, akurasi rendah dan keputusan logistik yang salah. Hal tersebut dikarenakan pengumpulan data di lapangan masih terbatas serta penyimpanan dan pengolahan di lapangan belum memadai (Mishra *et al.*, 2023).

Ketidaktepatan dan Kerentanan Kesalahan dalam Prediksi

Penggunaan data yang tidak lengkap dan berkualitas rendah menyebabkan kesalahan prediksi dalam menggunakan AI (Mohammed *et al.*, 2025). Jika hasil prediksi salah atau data tidak akurat akan menyebabkan keputusan yang dibuat tidak tepat, sehingga dapat merugikan petani (Alagalla & Weerasinghe, 2023). Di sisi lain, deteksi buah menggunakan AI seperti YOLOv8n (*You Only Look Once version 8 nano*) kurang akurat akibat buah tertutup daun, pencahayaan berubah-ubah dan kemiripan warna buah yang matang dengan belum matang. Ketidakakuratan tersebut berdampak terhadap prediksi hasil panen yang menjadi dasar dalam perencanaan logistik dan distribusi rantai pasok (Liu *et al.*, 2025).

Kesalahan dalam klasifikasi penyakit pada tanaman dapat menghasilkan prediksi yang bias, sehingga berdampak pada produksi dan distribusi dalam rantai pasok (Majeed *et al.*, 2024; Shahid *et al.*, 2024). Penelitian oleh Mishra *et al.* (2023)

menyatakan AI di lapangan belum mampu menghasilkan prediksi yang cepat dan akurat. Hal ini dikarenakan model seringkali gagal dalam mencapai tingkat akurasi dan waktu respons yang diinginkan. Pada pelaksanaannya, AI masih sulit dalam memperkirakan permintaan pasar secara akurat. Terjadinya kesalahan prediksi tersebut membuat kelebihan produksi dan peningkatan *food waste* terutama pada hasil pertanian segar (Olawale *et al.*, 2025).

Kendala Komputasi & Kompleksitas dalam Keputusan *Real-Time*

Beberapa model AI membutuhkan waktu komputasi yang cukup lama, sehingga tidak praktis untuk pengambilan keputusan *real time* dalam rantai pasok (Buyuktepe *et al.*, 2023). Penerapan AI berbasis *deep learning* menggunakan pendekatan CNN memerlukan daya komputasi tinggi dan proses yang kompleks (Majeed *et al.*, 2024; Bouacida *et al.*, 2024). Sebagian besar model AI membutuhkan waktu pelatihan panjang, konsumsi daya tinggi dan keterampilan teknis (Shahid *et al.*, 2024; Le *et al.*, 2024; Sun *et al.*, 2024; Hande & Chandak, 2024; Thomas *et al.*, 2024; Gayathiri *et al.*, 2023; Chelliah *et al.*, 2024). Kondisi ini menjadi penghambat dalam penerapan AI di lapangan, sehingga sulit diterapkan oleh petani kecil. Rantai pasok membutuhkan prediksi *real-time* untuk pengambilan keputusan dengan cepat mengenai distribusi.

Keterbatasan Infrastruktur dan Tingginya Biaya Implementasi

Sebagian besar petani tinggal di wilayah pedesaan dengan keterbatasan infrastruktur digital. Banyak petani di negara berkembang tidak memiliki akses koneksi internet, perangkat keras, *software* AI, dan dukungan teknis yang tidak tersedia (Majeed *et al.*, 2024; Shahid *et al.*, 2024; Mishra *et al.*, 2023; Yusianto *et al.*, 2020; Olawale *et al.*, 2025). Kurangnya infrastruktur digital menghambat integrasi teknologi AI dalam sistem logistik dan distribusi produk pertanian. Pada pelaksanaannya, penerapan model AI menuntut infrastruktur digital seperti sensor, manajemen data dan SDM yang mampu mengoperasikan (Qi *et al.*, 2025).

Di sisi lain, penerapan AI memerlukan biaya investasi besar untuk integrasi data, pelatihan SDM, infrastruktur dan pemeliharaan teknologi AI (Le *et al.*, 2024; Mishra *et al.*, 2023; Hande & Chandak, 2024). Hal ini dikarenakan *Return on Investment* (ROI) sulit diukur dengan cepat, sehingga menimbulkan keraguan untuk mengadopsi teknologi AI (Le *et al.*, 2024). AI mampu meningkatkan efisiensi rantai pasok, tetapi tingginya biaya awal untuk pengembangan, pelatihan dan integrasi sistem menjadi penghambat terbesar (Qi *et al.*, 2025). Selain itu, banyak petani yang tidak bisa memperoleh kredit dan dukungan finansial dari bank atau lembaga keuangan (Chelliah *et al.*, 2024).

Ketidakpastian Dalam Rantai Pasok

Produk pertanian memiliki karakteristik seperti produk yang mudah rusak, sensitif terhadap waktu, harga fluktuatif serta ketergantungan dengan kondisi cuaca dan geografi (Yusianto *et al.*, 2020). Perubahan iklim berpengaruh pertumbuhan tanaman, sehingga model AI harus mampu menyesuaikan prediksinya terhadap berbagai perubahan suhu, kelembapan, curah hujan dan lainnya (Nebri *et al.*, 2024). Hal ini dikarenakan tanpa adanya akurasi yang tinggi terhadap perkiraan cuaca, maka rekomendasi AI akan berisiko salah (Alagalla & Weerasinghe, 2023). Di sisi lain, saat ini aliran rantai pasok semakin kompleks karena banyaknya pihak yang terlibat. Kondisi tersebut justru dapat menyebabkan peningkatan penipuan yang membahayakan keamanan pangan (Buyuktepe *et al.*, 2023).

Keterbatasan Generalisasi Model

Model AI seringkali dibangun untuk kasus khusus dalam suatu wilayah yang akan sulit digeneralisasi ke wilayah lainnya (Buyuktepe *et al.*, 2023; Qi *et al.*, 2025; Lee & Park, 2024; Jamshidi *et al.*, 2024; Alagalla & Weerasinghe, 2023). Sebagian besar model AI hanya diuji dalam satu lokasi dan penyakit tertentu, sehingga belum diketahui apakah model tersebut akan bekerja dengan akurat di lokasi lain yang memiliki kondisi lingkungan berbeda (Lee & Park, 2024; Sun *et al.*, 2024). Setiap wilayah memiliki permasalahan yang berbeda seperti iklim, serangan hama, akses pasar dan tek-

nik pertanian, sehingga penerapan model AI harus disesuaikan secara lokal (Olawale *et al.*, 2025).

Salah satunya adalah *deep learning* yang cenderung gagal menghadapi jenis tanaman dan penyakit baru yang tidak terdapat dalam data pelatihan (Bouacida *et al.*, 2024). Penelitian oleh Nebri *et al.*, (2024) menyatakan model AI bekerja dengan baik untuk sebagian besar bulan, tetapi kinerjanya menurun pada bulan tertentu seperti Agustus dan Desember. Hal ini menunjukkan model AI belum mampu generalisasi untuk menangani kondisi pasar. Selain itu, terdapat model AI yang tidak menyesuaikan faktor ekonomi seperti harga dan biaya serta kondisi lingkungan yang berubah (Beddows & Leontidis, 2024). Model RFID juga tidak mampu mengenali *tag* baru dan kondisi yang berbeda dengan data latihan (Thomas *et al.*, 2024). Pada rantai pasok, generalisasi model diperlukan karena iklim, lokasi dan lingkungan akan selalu mengalami perubahan.

Kurangnya Regulasi & Integrasi Dalam Sistem Logistik

Beberapa penelitian menyatakan bahwa kurangnya standarisasi dan regulasi penerapan AI dalam rantai pasok produk pertanian. Hal ini membuat teknologi sulit diintegrasikan secara luas dalam sistem rantai pasok (Mishra *et al.*, 2023). Di sisi lain, belum terdapat integrasi antara prediksi AI dengan perencanaan logistik (Liu *et al.*, 2025). Saat ini, penerapan AI hanya berfokus pada akurasi prediksi (Lee & Park, 2024). Penelitian oleh Sun *et al.*, (2024) menyatakan meskipun AI mampu mendeteksi tetapi tidak terdapat integrasi dengan sistem logistik, manajemen gudang dan perencanaan distribusi. Kondisi tersebut akan mengurangi potensi nilai tambah dari penggunaan AI dalam efisiensi rantai pasok. Sebagian besar model hanya fokus pada hasil prediksi tanpa memperhatikan ketersediaan *input*, distribusi, logistik, permintaan pasar dan stok produk (Gayathiri *et al.*, 2023).

Kesulitan Interpretasi

Model AI dianggap sebagai *black box* karena memiliki interpretabilitas yang buruk (Liu *et al.*, 2025). Model *deep learning* memiliki akurasi yang tinggi, tetapi hasilnya sulit dijelaskan dan dipahami (Buyuktepe *et al.*, 2023; Mishra *et al.*, 2023; Qi

et al., 2025; Nebri *et al.*, 2024; Gayathiri *et al.*, 2023) Kondisi ini menjadi hambatan untuk rantai pasok yang membutuhkan pengambilan keputusan *real time*. Di sisi lain, dapat menurunkan kepercayaan dan adopsi dari para pelaku rantai pasok. Selain itu, penggunaan AI dalam rantai pasok produk pertanian perlu menjaga privasi dan keamanan data (Majeed *et al.*, 2024; Olawale *et al.*, 2025). Hal ini dikarenakan data yang digunakan dalam AI mencakup informasi seperti lokasi, produksi dan akses pasar. Oleh karena itu, keamanan informasi dan kepemilikan data menjadi pertimbangan dalam penerapan AI rantai pasok untuk skala luas.

Kesenjangan Akses & Kapasitas SDM

Sebagian besar pelaku rantai pasok terutama petani skala kecil belum memiliki kapasitas untuk mengadopsi model AI secara mandiri (Le *et al.*, 2024). Banyak *stakeholders* tidak memiliki keahlian teknis untuk mengoperasikan dan membaca interpretasi hasil analisis AI (Olawale *et al.*, 2025). Penelitian Mishra *et al.*, (2023) juga menyatakan bahwa petani yang tinggal di pedesaan belum mampu menerima teknologi baru.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

1. Jenis teknologi AI yang paling banyak digunakan adalah *machine learning* dan *deep learning* dengan kombinasi teknologi pendukung seperti *blockchain*, *digital twins*, dan *IoT*.
2. Teknologi AI telah diterapkan secara luas mulai dari tahap budidaya, pengolahan hingga distribusi dan logistik.
3. Pemanfaatan AI terbukti mampu memprediksi hasil panen, deteksi penyakit tanaman, klasifikasi mutu produk, manajemen inventori hingga pelacakan rantai pasok secara *real-time*.
4. Penerapan AI di lapangan menghadapi berbagai tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, kelengkapan data, tingginya biaya implementasi, kesenjangan kapasitas SDM serta kurangnya regulasi dan integrasi sistem. Beberapa tantangan tersebut menjadi hambatan terutama di negara-negara berkembang.

SARAN

1. Pengembangan model AI yang adaptif perlu dilakukan untuk mengatasi keterbatasan generalisasi model yang ditemukan dalam penelitian.
2. Studi empiris yang berfokus pada pemanfaatan AI di negara berkembang untuk mengidentifikasi hambatan nyata yang dihadapi oleh petani kecil di lapangan.
3. Kolaborasi antara pemerintah, akademisi, industri dan petani perlu diperkuat untuk mendukung pemanfaatan AI dalam rantai pasok produk pertanian.
4. Regulasi dan kebijakan yang mendukung adopsi AI perlu dikaji lebih lanjut agar penerapan teknologi ini dapat diterapkan secara luas dan berkelanjutan.
5. Pengembangan sistem pelatihan untuk petani perlu disesuaikan dengan kebutuhan lokal yang dapat diakses dengan mudah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriana, S. N., Sadeli, A. H., Sulistyodewi, & Syamsiyah, N. (2023). Minat Konsumen Terhadap Produk Pertanian. *Prospek Agribisnis*, 1(1), 331-344. <https://doi.org/https://jurnal.unpad.ac.id/prospekagribisnis/article/view/53400>
- Alagalla, A. W. H. P., & Weerasinghe, L. (2023). Best Profitable Crops Prediction with Profit, Cost, and Farmland Optimization using Machine Learning. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, 15(2023), 550-565. <https://doi.org/https://cspub-ijcism.org/index.php/ijcism/article/view/575>
- Alberto, F., & Takaya, R. (2024). Analisis Kritis Tentang Pengelolaan Rantai Pasokan Dalam Konteks Globalisasi. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Terpadu*, 8(7), 177-183. <https://doi.org/https://sejurnal.com/pub/index.php/jimt/article/view/3684>
- Barricelli, B. R., Cassano, F., Fogli, D., & Piccinno, A. (2019). End-User Development, End-User Programming And End-User Software Engineering: A Systematic Mapping Study. *Journal of Systems and Software*, 149, 101-137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.js.2018.11.041>
- Beddows, M., & Leontidis, G. (2024). A Multi-Farm Global-to-Local Expert-Informed Machine Learning System for Strawberry Yield Forecasting. *Agriculture (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture14060883>
- Boell, Sebastian K, & Cecez-Kecmanovic, Dubravka. (2015). On being 'Systematic' in Literature Reviews in IS. *Journal of Information Technology*, 30(2), 161-173. <https://doi.org/10.1057/jit.2014.26>
- Bouacida, I., Farou, B., Djakhjakha, L., Seridi, H., & Kurulay, M. (2024). Innovative Deep Learning Approach For Cross-Crop Plant Disease Detection: A Generalized Method For Identifying Unhealthy Leaves. *Information Processing in Agriculture*, 12(1), 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2024.03.002>
- Buyuktepe, O., Catal, C., Kar, G., Bouzembrak, Y., Marvin, H., & Gavai, A. (2023). Food Fraud Detection Using Explainable Artificial Intelligence. *Expert Systems, February 2023*, 1-20. <https://doi.org/10.1111/exsy.13387>
- Chelliah, B. J., Latchoumi, T. P., & Senthilselvi, A. (2024). Analysis Of Demand Forecasting Of Agriculture Using Machine Learning Algorithm. *Environment, Development and Sustainability*, 26(1), 1731-1747. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02783-9>
- Colamaria, A., Sacco, M., Parbonetti, G., Blagia, M., Carbone, F., & de Notaris, M. (2021). Isolated Lumbar Intradural Tailgut Cyst: A Case Report And Review Of The Literature. *Heliyon*, 7(10), e08223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08223>
- Dhal, S. B., & Kar, D. (2024). Transforming Agricultural Productivity with AI-Driven Forecasting: Innovations in Food Security and Supply Chain Optimization. *Forecasting*, 6(4), 925-951. <https://doi.org/10.3390/forecast6040046>
- Eryc, & Deu, I. (2024). Integrasi Teknologi Digital Dan Ai Dalam Memperkuat Akuntabilitas

- Pada Operasi Manajemen Rantai Pasokan: Analisis Literatur Sistematis. *TEKNIMEDIA*, 5(2), 200–211. <https://doi.org/https://doi.org/10.46764/teknimedia.v5i2.219>
- Garillos-Manliguez, C. A., & Chiang, J. Y. (2021). Multimodal Deep Learning And Visible-Light And Hyperspectral Imaging For Fruit Maturity Estimation. *Sensors (Switzerland)*, 21(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/s21041288>
- Gayathiri, B., Brindha, P., Karthika, I., Saranya, E., Rajeshkumar, G., & Rajesh Kanna, P. (2023). Machine Learning based Crop Suitability Prediction and Fertiliser Recommendation System. *2023 4th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems, ICESC 2023 - Proceedings, July, 1023–1028*. <https://doi.org/10.1109/ICESC57686.2023.10193542>
- Halder, S., Islam, M. R., Mamun, Q., Mahmoudi, A., Walsh, P., Islam, M. Z. (2025). A Comprehensive Survey On AI-Enabled Secure Social Industrial Internet Of Things In The Agri-Food Supply Chain. *Smart Agricultural Technology*, (11). <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100902>.
- Hande, K. N., & Chandak, M. B. (2024). Optimizing Warehouse Management System With Blockchain And Machine Learning Predictive Data Analytics. *International Journal of Informatics and Communication Technology*, 13(3), 362–369. <https://doi.org/10.11591/ijict.v13i3.pp362-369>
- Jamshidi, E. J., Yusup, Y., Hooy, C. W., Kamaruddin, M. A., Mat Hassan, H., Muhammad, S. A., Mohd Shafri, H. Z., Then, K. H., Norizan, M. S., & Tan, C. C. (2024). Predicting Oil Palm Yield Using A Comprehensive Agronomy Dataset And 17 Machine Learning And Deep Learning Models. *Ecological Informatics*, 81(December 2023), 102595. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102595>
- Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The Rise Of Blockchain Technology In Agriculture And Food Supply Chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640–652. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.034>
- Kraus, S., Breier, M., Lim, W. M., Dabić, M., Kumar, S., Kanbach, D., Mukherjee, D., Corvello, V., Piñeiro-Chousa, J., Liguori, E., Palacios-Marqués, D., Schiavone, F., Ferraris, A., Fernandes, C., & Ferreira, J. J. (2022). Literature Reviews As Independent Studies: Guidelines For Academic Practice. *Review of Managerial Science*, 16(8), 2577–2595. <https://doi.org/10.1007/s11846-022-00588-8>
- Lailia, N., Rondhi, M., & Soejono, D. (2020). Analisis Rantai Pasok dan Strategi Pengembangan Susu Kambing Pasteurisasi di Goatzilla Farm & Cafe. *Forum Agribisnis : Agribusiness Forum*, 10(1), 11–26. <https://doi.org/10.29244/fagb.10.1.11-26>
- Le, C. A., Le, C. H., Nguyen, V. D., Zlatov, N., Le, T. H., Nguyen, T. A., Chu, A. M., Mahmud, J., Le, V. D., Nguyen, H. Q., Ramesh, D., Mengistu, S., Behera, A., & Packianather, M. S. (2024). Digital Twins for Real-Time Monitoring and Operation of Coffee Value Chain and Supply Chain. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 2024(17), 114–124. <https://doi.org/10.17683/ijomam/issue17.13>
- Lee, D. H., & Park, J. H. (2024). Development of a UAS-Based Multi-Sensor Deep Learning Model for Predicting Napa Cabbage Fresh Weight and Determining Optimal Harvest Time. *Remote Sensing*, 16(18). <https://doi.org/10.3390/rs16183455>
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. In *Sensors* (Vol. 18, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/s18082674>
- Liu, S., Ampatzidis, Y., Zhou, C., & Lee, W. S. (2025). AI-Driven Time Series Analysis For Predicting Strawberry Weekly Yields Integrating Fruit Monitoring And Weather Data For Optimized Harvest Planning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 233(January), 110212. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110212>
- Majeed, Y., Ojo, M. O., & Zahid, A. (2024). Standalone Edge AI-Based Solution For

- Tomato Diseases Detection. *Smart Agricultural Technology*, 9(August), 100547. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100547>
- Mishra, D., Muduli, K., Raut, R., Narkhede, B. E., Shee, H., & Jana, S. K. (2023). Challenges Facing Artificial Intelligence Adoption during COVID-19 Pandemic: An Investigation into the Agriculture and Agri-Food Supply Chain in India. *Sustainability (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086377>
- Mohammed, S., Budach, L., Feuerpfeil, M., Ihde, N., Nathansen, A., Noack, N., Patzlaff, H., Naumann, F., & Harmouch, H. (2025). The Effects of Data Quality on Machine Learning Performance on Tabular Data. *Information Systems*, 132, 1–50. <https://doi.org/10.1016/j.is.2025.102549>
- Nebri, M. A., Moussaid, A., & Bouikhalene, B. (2024). Forecasting Livestock Feed Sales Using Machine Learning Techniques: An Analysis Of The Moroccan Market. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 35(2), 1139–1150. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v35.i2.pp1139-1150>
- Olawale, R. A., Olawumi, M. A., & Oladapo, B. I. (2025). Sustainable Farming With Machine Learning Solutions For Minimizing Food Waste. *Journal of Stored Products Research*, 112(March), 102611. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102611>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline For Reporting Systematic Reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Putri, F. P., Marimin, & Yuliasih, I. (2020). Peningkatan Efektivitas Dan Efisiensi Manajemen Rantai Pasok Agroindustri Buah: Tinjauan Literatur Dan Riset Selanjutnya. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(3), 338–354. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.3.338>
- Qi, B., Ma, X., Yu, J., Dong, J., Cui, X., Zhang, X., Cai, Y., & Zhao, Z. (2025). A Risk Assessment Model For The Entire Rice Processing Chain Based On Kmeans++ And Extreme Learning Machine. *Lwt*, 223(March). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117803>
- Rejeb, A., Rejeb, K. & Hassoun, A. (2025). The Impact Of Machine Learning Applications In Agricultural Supply Chain: A Topic Modeling-Based Review. *Discov Food*, 5(141). <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00419-1>
- Sari, P. N., & Nurmalina, R. (2011). Manajemen Rantai Pasok Pada Rantai Pasok Berjaring Beras Organik. *Forum Agribisnis: Agribusiness Forum*, 3(2), 111–128. <https://doi.org/https://doi.org/10.29244/fagb.3.2.111-128>
- Serrano-torres, G. J., López-naranjo, A. L., Larrea-cuadrado, P. L., & Mazón-fierro, G. (2025). Transformation of the Dairy Supply Chain Through Artificial Intelligence : A Systematic Review. *MDPI Sustainability*, 17(3), 1–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su17030982>
- Shahid, M. F., Khanzada, T. J. S., Aslam, M. A., Hussain, S., Baowidan, S. A., & Ashari, R. B. (2024). An Ensemble Deep Learning Models Approach Using Image Analysis For Cotton Crop Classification In AI-Enabled Smart Agriculture. *Plant Methods*, 20(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01228-w>
- Shahzadi, G., Jia, F., Chen, L., & John, A. (2024). AI Adoption In Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 35(6), 1125–1150. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2023-0431>
- Shamshiri, R. R., Weltzien, C., Hameed, I. A., Yule, I. J., Grift, T. E., Balasundram, S. K., Pitonakova, L., Ahmad, D., & Chowdhary, G. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4), 1–14. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.4278>

- Suharjito, S., & Marimin, M. (2012). Risks Balancing Model Of Agri-Supply Chain Using Fuzzy Risks Utility Regression. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 41(2), 134–144. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/250002833_Risks_balancing_model_of_Agri-Supply_chain_using_fuzzy_risks_utility_regression
- Sun, Y., Ahmed, I., Alkahtani, M., Khalid, Q. S., & Alqahtani, F. M. (2024). Improved Commodity Supply Chain Performance Through AI and Computer Vision Techniques. *IEEE Access*, 12, 24116–24132. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3361756>
- Teixeira, A. R., & Ferreira, J. V. (2025). Intelligent Supply Chain Management: A Systematic Literature Review on Artificial Intelligence Contributions. *MDPI Information*, 16(5), 1–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/info16050399>
- Thomas, A., Sylaja, M. M., & Kurian, J. (2024). Refinement of Chipless RFID Tags across Multiple Positions for Improved Recognition Reliability through Machine Learning Techniques. *Progress in Electromagnetics Research C*, 150(November), 57–68. <https://doi.org/10.2528/PIERC24092505>
- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial Intelligence In Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>
- Walter, A., Ahsan, K., & Rahman, S. (2025). Application Of Artificial Intelligence In Demand Planning For Supply Chains: A Systematic Literature Review. *The International Journal of Logistics Management*, 36(3), 672–719. <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2024-0120>
- Wirda, B., Irwandi, P., Muflikh, Y. N., & Nurmawati, R. (2025). The Use Of Supply Chain Operations Reference (SCOR) In Measuring The Performance Of Supply Chain Management In The Agribusiness Sector. *Journal Agromix*, 16(1), 71–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.35891/agromix.v16i1.5742>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Yusianto, R., Marimin, Suprihatin, & Hardjomidjojo, H. (2020). Intelligent Spatial Decision Support System Concept In The Potato Agro-Industry Supply Chain. *2020 International Conference on Computer Science and Its Application in Agriculture, ICOSICA 2020*, November. <https://doi.org/10.1109/ICOSICA49951.2020.9243233>