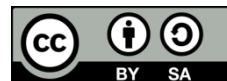


POLA-POLA PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL DALAM PENELITIAN KEAMANAN PANGAN

Bambang Suharjo

Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Pertahanan, Indonesia

Article Info	ABSTRACT
Article history: Received: 31 Mei 2025 Revised: 20 Juni 2025 Accepted: 25 Juni 2025	Abstrak Penelitian ini mengkaji penggunaan kecerdasan artifisial (AI) dalam meningkatkan ketahanan pangan melalui tinjauan sistematis dan analisis bibliometrik. Dengan meningkatnya tantangan global seperti perubahan iklim dan pertumbuhan populasi, AI menawarkan solusi inovatif dalam sektor pangan. Studi ini menggunakan data dari Scopus dan analisis dilakukan dengan perangkat lunak VOSviewer untuk mengidentifikasi tren dan kluster tematik dalam literatur yang berkaitan dengan AI dan ketahanan pangan. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan dalam publikasi terkait AI dalam lima tahun terakhir, dengan dominasi topik seperti prediksi hasil panen, deteksi penyakit tanaman, dan pengelolaan sumber daya pertanian. Klusterisasi tematik mengungkapkan adanya fokus pada pengembangan aplikasi prediktif dan diagnostik yang memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan pembelajaran mendalam. Penelitian ini menyarankan integrasi lebih lanjut antara teknologi AI dan sistem pertanian presisi untuk mendukung keputusan berbasis data dalam ketahanan pangan dan pertanian berkelanjutan. Kata Kunci: Kecerdasan Artifisial, Ketahanan Pangan, Analisis Bibliometrik Abstract <i>This study examines the use of artificial intelligence (AI) in improving food security through a systematic review and bibliometric analysis. With the increasing global challenges such as climate change and population growth, AI offers innovative solutions in the food sector. This study uses data from Scopus and analysis is done with VOSviewer software to identify trends and thematic clusters in the literature related to AI and food security. The results show a significant increase in AI-related publications in the last five years, with topics such as crop yield prediction, plant disease detection, and agricultural resource management dominating. Thematic clustering reveals a focus on the development of predictive and diagnostic applications that utilize remote sensing and deep learning technologies. This study suggests further integration between AI technologies and precision agriculture systems to support data-driven decisions in food security and sustainable agriculture.</i> Keywords: Artificial Intelligence, Food Security, Bibliometric Analysis Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi oleh Universitas Dharmawangsa Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan dengan Lisensi Internasional Creative Commons Attribution NonCommercial ShareAlike 4.0 (CC-BY-NC-SA). 
Corresponding Author: E-mail : bambang_suharjo@tnial.mil.id	

1. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan isu global yang semakin kompleks, melibatkan dinamika lingkungan, sosial, ekonomi, dan teknologi. Menurut laporan [1], lebih dari 2,3

miliar orang di dunia mengalami kerawanan pangan sedang hingga parah, dengan penyebab utama meliputi perubahan iklim, konflik, degradasi lahan, dan dampak pandemi COVID-19 [1]. Kondisi ini menuntut inovasi yang dapat meningkatkan efisiensi sistem produksi dan distribusi pangan secara adaptif dan berkelanjutan. Dalam konteks ini, kecerdasan artifisial (AI) telah muncul sebagai teknologi kunci yang mampu mengelola kompleksitas sistem pangan data besar secara cepat dan presisi [2].

Penerapan AI dalam pertanian dan ketahanan pangan mencakup berbagai domain, mulai dari prediksi hasil panen [3], deteksi penyakit tanaman [4], [5], pengelolaan irigasi dan input produksi [6], hingga pemetaan spasial berbasis citra satelit [7], [8]. Kemajuan ini didukung oleh ketersediaan data spasial-temporal dan perkembangan IoT, *big data analytics*, algoritma pembelajaran mesin dan *deep learning* [9]. Namun, meskipun literatur di bidang ini berkembang pesat, masih terdapat keterbatasan dalam pemetaan struktur tematik penelitian dan integrasi lintas pendekatan.

Kajian sistematis dengan pendekatan bibliometrik diperlukan untuk memahami bagaimana pola penelitian ini berkembang dan ke arah mana ia bergerak. Dalam konteks inilah, pendekatan bibliometrik menjadi penting. Metodologi ini memungkinkan peneliti untuk secara sistematis menganalisis struktur, tren, dan jaringan dalam literatur ilmiah yang sangat luas. Dengan bibliometrik, kita tidak hanya mengidentifikasi tema yang dominan dan peneliti kunci, tetapi juga memahami dinamika perkembangan topik dari waktu ke waktu, hubungan antar bidang, serta potensi arah penelitian ke depan. Informasi ini sangat relevan tidak hanya bagi komunitas akademik, tetapi juga bagi perumus kebijakan dan praktisi yang ingin merancang strategi berbasis bukti untuk inovasi teknologi di sektor pertanian dan ketahanan pangan.

Beberapa studi literatur telah dilakukan untuk menganalisis tren penelitian pada bidang terkait [10], [11]. Contohnya, [12] mengulas aplikasi AI dalam pertanian cerdas, sementara [13], [14] menekankan peran AI dalam keberlanjutan sistem pangan global. Namun, belum banyak kajian sistematis yang secara spesifik memetakan *emerging patterns* atau pola kemunculan riset AI dalam konteks ketahanan pangan secara komprehensif berdasarkan dimensi waktu, wilayah, serta kluster tematik.

Untuk itu, kajian ini bertujuan menyusun peta intelektual penelitian melalui tinjauan sistematis dan analisis bibliometrik menggunakan perangkat lunak VOSviewer, sebuah alat visualisasi yang populer dalam analisis bibliometrik untuk memetakan

hubungan antar istilah, penulis, dan publikasi dalam basis data ilmiah. Melalui klusterisasi, ditemukan beberapa tema utama yang mencerminkan keragaman pendekatan dan teknologi yang digunakan. Dari hasil tersebut, peluang penelitian masa depan juga dapat dieksplorasi.

Dengan demikian, studi ini menyusun tiga tujuan penelitian yaitu untuk (1) mengidentifikasi tren pertumbuhan publikasi berdasarkan dimensi waktu dan wilayah, (2) mengeksplorasi struktur kluster tematik utama dalam penelitian AI untuk ketahanan pangan, dan (3) merumuskan peluang riset strategis untuk pengembangan keilmuan dan implementasi nyata di masa depan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menyintesis perkembangan penelitian yang mengaitkan kecerdasan artifisial (AI) dan ketahanan pangan (*food security*). Tahapan pelaksanaan kajian sistematik ini mengacu pada kerangka kerja yang dikembangkan oleh [15], [16], yang mencakup: (1) perumusan tujuan dan pertanyaan penelitian, (2) pencarian literatur yang sistematis, (3) penyaringan dan pembersihan data, (4) visualisasi dan klusterisasi bibliometrik, dan (5) analisis serta sintesis tematik.

Data bibliografis diperoleh dari Scopus, yang diakui sebagai salah satu basis data ilmiah terbesar dan bereputasi tinggi [17], [18]. Proses pengambilan data dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Publish or Perish* (PoP) versi terbaru, yang memungkinkan ekstraksi metadata dari hasil pencarian berbasis Scopus. Strategi pencarian menggunakan kata kunci gabungan:

("food security" OR "food systems") AND ("artificial intelligence" OR "machine learning").

Selanjutnya duplikasi dihilangkan, dengan memeriksa duplikasi artikel di Mendeley menggunakan menu *tools* dan *check for duplicates*. Sebagai contoh duplicates terjadi pada artikel berjudul: *The Malicious Use of Artificial Intelligence: Forecasting, Prevention, and Mitigation*. Selanjutnya secara manual di Mendeley memeriksa artikel yang tidak relevan berdasarkan telaah awal judul dan abstrak, menghasilkan dataset akhir yang akan dianalisis lebih lanjut. Sebagai contoh artikel berjudul: *An assessment of statistical interpolation methods suited for gridded rainfall datasets* dihapus karena isinya kurang relevan dengan tema penelitian ini tentang penggunaan AI dalam ketahanan

pangan. Banyaknya hasil pencarian dan hasil akhir setelah dihilangkan duplikasi serta artikel yang tidak relevan disajikan pada tabel 1 di bagian pembahasan.

Dataset yang telah disusun kemudian diekspor dalam format ris dan dianalisis menggunakan VOSviewer [19], sebuah perangkat lunak visualisasi bibliometrik yang berbasis *co-occurrence analysis* pada kata kunci, judul, serta metadata penulis dan institusi. Sebelum analisis, dilakukan proses *data cleaning* yang mencakup: penyamaan istilah sinonim, penghapusan kata umum (*stop words*), serta konsolidasi nama penulis dan institusi untuk meningkatkan akurasi pemetaan bibliometrik [18].

Analisis literatur dilakukan dalam tiga dimensi utama, yakni:

1. Tren Temporal Publikasi. Distribusi jumlah publikasi per tahun dianalisis untuk mengidentifikasi dinamika dan pertumbuhan penelitian dalam topik ini, mengikuti pendekatan bibliometrik temporal seperti yang diuraikan oleh [17].
2. Analisis Kluster Tematik. Visualisasi dan klusterisasi dilakukan berdasarkan kata kunci penulis (*author keywords*) menggunakan algoritma VOSviewer berbasis *modularity-based clustering*. Hasil klusterisasi dievaluasi secara kualitatif untuk mengidentifikasi pola tematik utama dan teknologi yang dominan digunakan pada setiap kelompok.
3. Identifikasi Peluang Penelitian Masa Depan. Berdasarkan hasil pemetaan dan sintesis literatur, dilakukan perumusan peluang riset lintas-kluster. Fokus diberikan pada area yang belum tergarap, potensi integrasi teknologi antar-kluster, serta tantangan aplikatif di sektor pangan dan pertanian global.

Melalui pendekatan ini, studi ini tidak hanya bertujuan untuk memetakan lanskap pengetahuan yang berkembang, tetapi juga menyusun agenda penelitian strategis yang berbasis bukti dan tren bibliometrik kontemporer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tren Publikasi Berdasarkan Tahun (2016–2025)

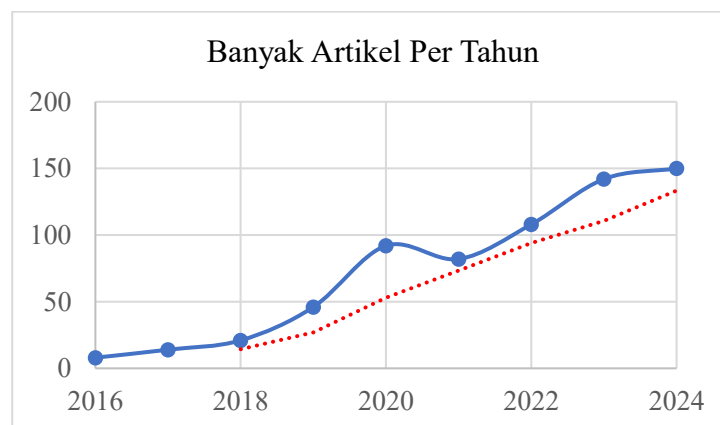
Hasil analisis terhadap 700 publikasi yang diperoleh dari database Scopus melalui PoP. Data dilakukan pengecekan, *cleaning*, dan di *exclude* sebanyak 37 artikel sehingga diperoleh sejumlah 663 artikel. Secara rinci disajikan sesuai tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Statistik hasil pencarian, *exclude* dan sisa data

Tahun	Hasil Pencarian menggunakan PoP	Dilakukan exclude data	Sisa
2016	9	1	8
2017	16	2	14
2018	23	2	21
2019	49	3	46
2020	96	4	92
2021	86	4	82
2022	114	6	108
2023	150	8	142
2024	157	7	150
Total	700	37	663

(Sumber: Analisis data dari PoP, diolah)

Hasil tabulasi data pada tabel 1 di atas, menunjukkan bahwa terdapat peningkatan signifikan dalam jumlah penelitian yang mengintegrasikan topik *artificial intelligence* dan *food security* selama lima tahun terakhir. Selanjutnya tren banyaknya penelitian pertahun dan model *moving average* (MA) disajikan pada gambar 1.



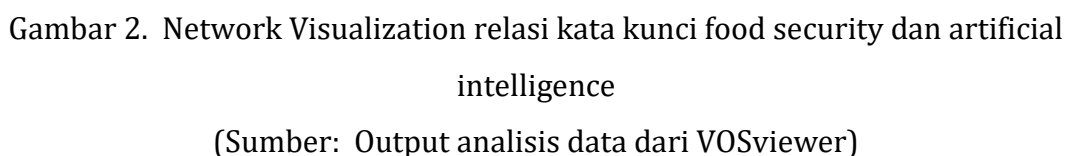
Gambar 1. Banyaknya publikasi dan tren publikasi dengan kata kunci *food security* dan *artificial intelligence*

(Sumber: Analisis data dari PoP, diolah)

Gambar tersebut menunjukkan tren jumlah artikel selama periode 2016 hingga 2024, dimana garis berwarna merah menunjukkan model *moving average* (MA) periode 2 tahun. Dengan menggunakan MA 2, tren ini memuluskan fluktuasi data asli dan menampilkan arah umum perkembangan jumlah artikel. Dari grafik terlihat bahwa selama awal periode (2016-2018), jumlah artikel secara perlahan meningkat. Tahun 2019 dan 2020 menunjukkan peningkatan yang tinggi, tetapi tahun 2021 sedikit menurun tetapi tidak sampai kurang dari 2018. Puncak pertumbuhan terjadi sekitar

Moving average ini dihitung dengan averaging data dari dua tahun berturut-turut, sehingga memberikan gambaran yang lebih halus terhadap pola kenaikan dan penurunan jumlah artikel daripada data asli yang sering mengalami fluktuasi. Penggunaan *moving average* membantu mengidentifikasi tren jangka menengah dan mengurangi pengaruh fluktuasi jangka pendek. Hal ini sangat berguna dalam analisis tren data disetiap periode waktu agar dapat melihat arah umum perkembangan penelitian atau publikasi dalam bidang tertentu.

Selanjutnya hasil output dari VOSviewer dalam bentuk *Network Visualization* [19] disajikan sesuai dengan gambar 2, sebagai berikut:



Gambar *output* VOSviewer ini menunjukkan jaringan konsep yang saling terkait dalam bidang penelitian tentang penggunaan teknologi AI untuk pertanian dan ketahanan pangan. Ukuran dan warna node merepresentasikan tingkat centralitas dan kategori tema utama. Node dengan ukuran besar, seperti "*machine learning*," "*prediction*," dan "*model*," menunjukkan topik utama yang paling terhubung dan penting dalam jaringan ini. Warna hijau dan kuning menunjukkan kelompok tema terkait aplikasi

dan inovasi teknologi, sementara warna merah menyoroti fokus pada aspek keilmuan dan keberlanjutan, seperti "*artificial intelligence*" dan "*food security*."

Koneksi yang rapat antar node memperlihatkan bahwa topik-topik ini sangat saling terkait dan sering dipelajari secara bersamaan, mendukung cita-cita pengembangan sistem berbasis AI yang mampu meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan keamanan dalam pertanian. Selanjutnya dilakukan klusterisasi. Klusterisasi merupakan salah satu teknik penting dalam pembelajaran mesin tanpa pengawasan (*unsupervised learning*) yang berfungsi untuk mengelompokkan data ke dalam kluster berdasarkan kemiripan karakteristik (Alasali & Ortakci, 2024). Menggunakan VOSviewer, hasil klusterisasi disajikan sebagai berikut.

Tabel 2. Klusterisasi hasil penelitian berdasarkan kata kunci menggunakan VOSviewer

Cluster	Item Dalam Cluster
1	<i>agriculture, analysis, artificial intelligence, climate change, global food security, impact, implementation, internet, precision agriculture, review, role, sustainable agriculture, technology, thing</i>
2	<i>application, comprehensive review, computer vision, deep estimation, framework, India, maize yield, regression, remote sensing, rice, sensing, smart agriculture</i>
3	<i>algorithm, Australia, climate data, crop type mapping, crop yield prediction, machine learning app, satellite, sentinel, time series, weather data, wheat yield</i>
4	<i>classification, convolutional neural network, detection, imagery, model, plant, transfer learning, approach</i>
5	<i>approach, case study, food security, implication, machine, machine learning, satellite data, satellite data, security, systematic literature review</i>
6	<i>deep learning, image, machine learning algorithms, plant disease detection, systematic literature review</i>
7	<i>data, food, google earth engine, landsat, mapping, remote sensing, satellite</i>
8	<i>big data, climate, crop yield, machine learning metrics, prediction</i>

(Sumber : Hasil output VOSviewer)

Hasil klusterisasi sesuai tabel 2 yang menghasilkan sembilan kluster menunjukkan keberagaman fokus penelitian dalam bidang pertanian cerdas dan ketahanan pangan berbasis teknologi. Setiap kluster mencerminkan tema khusus. Pola ini mencerminkan dinamika penelitian multidisipliner yang menggabungkan pertanian, data spasial, pembelajaran mesin, dan ketahanan pangan. Secara rinci tema-tema setiap cluster disajikan sebagai berikut.

Tabel 3. Tema Publikasi setiap Kluster

Cluster	Tema Publikasi
1	Studi tentang penerapan teknologi AI dan perubahan iklim dalam meningkatkan ketahanan pangan dan pertanian berkelanjutan.
2	Pengembangan aplikasi dan metode pengolahan citra untuk meningkatkan hasil panen dan pengelolaan pertanian melalui penginderaan jauh dan AI.
3	Pemanfaatan algoritma dan data satelit untuk prediksi hasil panen dan analisis iklim berbasis machine learning.
4	Penerapan teknik deep learning untuk klasifikasi gambar dan deteksi tanaman serta penyakitnya.
5	Pendekatan studi kasus menggunakan data satelit dan machine learning untuk mendukung ketahanan pangan dan analisis keamanan pangan.
6	Penelitian mengenai penggunaan deep learning untuk mendeteksi penyakit tanaman dan analisis literatur terkait.
7	Pemanfaatan <i>Google Earth Engine</i> dan <i>Landsat</i> untuk penginderaan jauh dalam aplikasi pertanian dan keamanan pangan.
8	Analisis data besar dan metrik <i>machine learning</i> untuk prediksi hasil panen dan perubahan iklim.

(Sumber : Output VOSviewer, diolah penulis)

Berdasarkan tema publikasi pada delapan kluster di atas, dapat dijelaskan masing-masing sebagai berikut.

1. Studi tentang penerapan teknologi AI dan perubahan iklim dalam meningkatkan ketahanan pangan dan pertanian berkelanjutan. Teknologi AI telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan keberlanjutan pertanian dan ketahanan pangan melalui prediksi hasil panen, deteksi dini penyakit, dan pengelolaan input agronomi. Perubahan iklim memperparah tantangan ini, karena peningkatan suhu dan ketidakpastian iklim mengancam produksi pangan global [21]. Pengintegrasian AI dan data iklim dapat membantu petani dalam adaptasi terhadap perubahan tersebut dan merancang strategi pertanian yang berkelanjutan [1]. Literatur menunjukkan bahwa teknologi ini bisa memperkuat ketahanan pangan lewat sistem monitoring otomatis dan prediksi yang akurat.
2. Pengembangan aplikasi dan metode pengolahan citra untuk meningkatkan hasil panen dan pengelolaan pertanian melalui penginderaan jauh dan AI. Penginderaan jauh dan *computer vision* dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan pertanian melalui analisis citra untuk memantau tanaman, mendeteksi penyakit, dan

memperkirakan hasil panen [7], [8]. Berbagai studi mengonfirmasi bahwa teknik citra dan AI mampu memperbaiki estimasi hasil dan mengurangi risiko gagal panen, sekaligus memberikan data secara *real-time* kepada petani dan pengambil kebijakan [2]. Pengembangan aplikasi berbasis AI ini dianggap sebagai revolusi digital dalam pertanian cerdas.

3. Pemanfaatan algoritma dan data satelit untuk prediksi hasil panen dan analisis iklim berbasis machine learning. Penggunaan algoritma *machine learning* dan data satelit, dan Sentinel, terbukti efektif dalam memodelkan hasil panen berdasarkan variabel iklim dan ekosistem [7], [8]. Teknik ini memungkinkan prediksi yang lebih akurat dan geografis dalam skala luas, dengan manfaat besar untuk pengambilan keputusan dan pengelolaan risiko iklim [22], [23]. Selanjutnya, model berbasis satelit ini dapat digunakan dalam berbagai iklim dan kondisi lahan di seluruh dunia.
4. Penerapan teknik *deep learning* untuk klasifikasi gambar dan deteksi tanaman serta penyakitnya. Teknologi *deep learning*, terutama *convolutional neural networks* (CNN), telah merevolusi bidang pengenalan citra dan deteksi dini penyakit tanaman. Dengan kemampuan untuk belajar dari dataset besar, CNN mampu mengidentifikasi pola kompleks yang tidak dapat dideteksi secara manual [24], [25]. *Transfer learning*, metode yang memanfaatkan model yang telah dilatih sebelumnya, semakin meningkatkan efisiensi dan akurasi sistem deteksi otomatis. Aplikasi ini sangat potensial dalam meningkatkan efisiensi pengendalian penyakit, mengurangi kerugian hasil panen, dan mempercepat respons petani terhadap serangan penyakit tanaman.
5. Pendekatan studi kasus menggunakan data satelit dan machine learning untuk mendukung ketahanan pangan dan analisis keamanan pangan. Studi kasus menggunakan data satelit dalam kombinasi dengan algoritma *machine learning* memberikan wawasan mendalam tentang ketahanan pangan serta faktor risiko yang mempengaruhinya. Sistem ini dapat menilai variabel seperti distribusi hasil panen, tingkat kerawanan, dan risiko kekurangan pangan secara luas dan *real-time* [7], [8]. Literatur menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif untuk membantu pengambil kebijakan menentukan langkah strategis dalam mengelola sumber daya dan mengantisipasi krisis pangan di tingkat nasional maupun regional.

6. Penelitian mengenai penggunaan *deep learning* untuk mendeteksi penyakit tanaman dan analisis literatur terkait. Penggunaan *deep learning* dalam deteksi penyakit tanaman telah menunjukkan akurasi tinggi, terutama melalui analisis citra daun dan tanaman. *Deep learning* mampu mengenali pola penyakit yang tersembunyi dan memberikan diagnosis awal, sehingga membantu petani dalam mengelola kesehatan tanaman secara lebih efisien [4]. Sistem ini juga terus dikembangkan dan diulas secara sistematis untuk mengevaluasi efektivitas model dan mencari inovasi algoritma terbaru yang makin akurat dan robust dalam aplikasi lapangan [26], [27].
7. Pemanfaatan *Google Earth Engine* dan Landsat untuk penginderaan jauh dalam aplikasi pertanian dan keamanan pangan. *Google Earth Engine* menyediakan platform yang kuat dan efisien untuk analisis citra satelit secara besar-besaran dan biaya rendah. Penggunaan data Landsat dan Citra satelit lainnya memungkinkan pemetaan lahan, identifikasi kelembapan tanah, dan analisis perubahan penggunaan lahan secara akurat [28], [29]. Dalam konteks pertanian dan keamanan pangan, teknologi ini memberikan alat penting untuk pengawasan wilayah secara berkelanjutan dan pengambilan keputusan berbasis data spasial yang tepat. Keunggulan utama adalah kemampuannya untuk mengintegrasikan berbagai data dalam skala global secara cepat dan *real-time*.
8. Analisis data besar dan metrik machine learning untuk prediksi hasil panen dan perubahan iklim. Penggunaan *big data* dan analisis metrik *machine learning* memungkinkan pengembangan model prediksi yang sangat akurat terkait hasil panen dan dampak perubahan iklim. Dengan data yang meliputi variabel iklim, data historis panen, dan parameter lingkungan lainnya, algoritma machine learning dapat mengidentifikasi pola dan hubungan kompleks yang sulit dideteksi secara manual [30], [31][32].

Riset menunjukkan bahwa penerapan metrik khusus dan pengolahan data yang optimal mampu menyempurnakan prediksi hasil panen di berbagai kondisi iklim, menyediakan alat penting bagi petani, pengelola sumber daya, dan pembuat kebijakan dalam merancang strategi adaptasi dan mitigasi [31].

Peluang Penelitian di Masa Mendatang

Berikut adalah penjelasan lebih detail untuk setiap peluang penelitian masa depan yang menggabungkan beberapa cluster:

1. Integrasi Data Satelit dan Sensor Digital untuk Prediksi Hasil Panen Berkelanjutan.
Penggunaan data satelit yang semakin akurat dan sensor digital terkoneksi dapat merevolusi prediksi hasil panen di berbagai wilayah. Dengan menggabungkan teknik penginderaan jauh dari satelit (Cluster 3) dan aplikasi komputer vision serta algoritma pemrosesan citra (Cluster 2), dapat dikembangkan model prediksi hasil panen yang lebih cepat dan tepat. Model ini bisa mengintegrasikan data cuaca, kondisi tanah, dan citra hasil tanaman yang diambil secara real-time, memungkinkan petani dan pemangku kebijakan untuk mengantisipasi kebutuhan logistik dan distribusi hasil panen secara lebih efisien. Selain itu, model ini dapat dipakai untuk mengidentifikasi area yang membutuhkan intervensi segera, memperkuat ketahanan pangan dan mendukung pertanian berkelanjutan secara global. Pengembangan platform terpadu ini akan mempercepat pengambilan keputusan dan memastikan keberlanjutan sumber daya alam.
2. Penggunaan *Deep Learning* untuk Deteksi Dini Penyakit Tanaman dan Manajemen Ketahanan Pangan.
Penyakit tanaman merupakan salah satu faktor utama yang mengancam ketahanan pangan di seluruh dunia. Dengan menggabungkan teknologi *deep learning* (Cluster 6) dan klasifikasi citra berbasis CNN (Cluster 4), para peneliti dapat mengembangkan sistem deteksi dini penyakit tanaman dari citra daun maupun batang yang diambil melalui drone atau kamera digital. Sistem ini dapat otomatis mengidentifikasi gejala penyakit dan menyarankan langkah penanggulangan yang tepat. Potensi pengembangan ini sangat besar dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengendalian penyakit, serta mengurangi kerugian panen secara mendadak. Dengan sistem yang akurat dan cepat, para petani dapat melakukan tindakan preventif dan memperkuat ketahanan tanaman, membuka peluang pengelolaan pertanian yang lebih cerdas dan berkelanjutan.
3. Model Prediksi Perubahan Iklim dan Pengaruhnya terhadap Hasil Pertanian.
Perubahan iklim merupakan tantangan besar yang mengancam masa depan ketahanan pangan. Menggabungkan data iklim global (Cluster 1), data cuaca dan

prediksi hasil panen (Cluster 3), serta analisis big data (Cluster 8) dapat menghasilkan model prediksi yang mampu memperkirakan dampak perubahan suhu, curah hujan, dan fenomena ekstrem lainnya terhadap hasil panen di masa depan. Model ini akan membantu petani, peneliti, dan pembuat kebijakan dalam merencanakan adaptasi strategis, seperti penyesuaian jadwal tanam dan pengelolaan sumber daya alam secara lebih efisien. Selain itu, model ini juga dapat digunakan untuk mengembangkan kebijakan mitigasi yang lebih tepat sasaran dan berbasis data ilmiah, mendukung pengembangan pertanian yang tahan terhadap perubahan iklim global.

4. Pengembangan Sistem Terpadu untuk Keamanan Pangan Berbasis Big Data dan AI. Ketahanan pangan merupakan isu yang kompleks dan multidimensional. Melalui penggabungan data dari berbagai sumber (Cluster 1 dan 5), termasuk citra satelit, data sensori, dan analisis big data, dapat dikembangkan sebuah platform cerdas yang mampu memantau dan menganalisis risiko keamanan pangan secara holistik. Sistem ini dapat menyediakan peringatan dini terhadap potensi kelangkaan pangan, perubahan harga, atau risiko kontaminasi tanpa perlu intervensi manual yang memakan waktu. Dengan dukungan AI dan machine learning, platform ini akan mampu mengidentifikasi pola risiko, mengoptimalkan distribusi hasil panen, serta mempercepat respons terhadap krisis pangan. Pengembangan sistem ini akan mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dan mendukung stabilitas ketahanan pangan secara nasional maupun global.
5. Pemanfaatan Teknologi AI dan Penginderaan Jauh untuk Optimalisasi Pengelolaan Sumber Daya Pertanian di Era Digital.

Pengelolaan sumber daya di bidang pertanian sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Dengan menggabungkan teknologi penginderaan jauh dari satelit dan platform *Google Earth Engine* (Cluster 7), serta kecerdasan buatan yang mampu menganalisis data dalam skala besar (Cluster 8), akan tercipta sistem pengelolaan pertanian digital yang mampu memantau kondisi lahan secara langsung dan akurat. Sistem ini dapat membantu petani dalam mengelola irigasi, penggunaan pupuk, dan praktik agronomi lainnya secara real-time dan berbasis data. Selain meningkatkan efisiensi sumber daya, sistem ini juga akan membantu

mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

4. SIMPULAN

AI telah menjadi alat penting dalam menghadapi tantangan ketahanan pangan global. Dengan kemampuan untuk mengolah data besar dan melakukan analisis prediktif, AI membantu dalam meningkatkan efisiensi produksi dan distribusi pangan.

Analisis bibliometrik menunjukkan peningkatan publikasi yang signifikan dalam penggunaan AI di sektor pangan, dengan fokus utama pada prediksi hasil panen dan deteksi penyakit tanaman. Klusterisasi tematik mengidentifikasi berbagai aplikasi AI yang berkontribusi pada pengembangan pertanian cerdas dan berkelanjutan. Pertama, Studi tentang penerapan teknologi AI dan perubahan iklim dalam meningkatkan ketahanan pangan dan pertanian berkelanjutan. Kedua, Pengembangan aplikasi dan metode pengolahan citra untuk meningkatkan hasil panen dan pengelolaan pertanian melalui penginderaan jauh dan AI. Ketiga, Pemanfaatan algoritma dan data satelit untuk prediksi hasil panen dan analisis iklim berbasis machine learning. Keempat, Penerapan teknik *deep learning* untuk klasifikasi gambar dan deteksi tanaman serta penyakitnya. Kelima, Pendekatan studi kasus menggunakan data satelit dan machine learning untuk mendukung ketahanan pangan dan analisis keamanan pangan. Keenam, Penelitian mengenai penggunaan deep learning untuk mendeteksi penyakit tanaman dan analisis literatur terkait. Ketujuh, Pemanfaatan *Google Earth Engine* dan Landsat untuk penginderaan jauh dalam aplikasi pertanian dan keamanan pangan. Kedelapan, Analisis data besar dan metrik machine learning untuk prediksi hasil panen dan perubahan iklim.

Selanjutnya berdasarkan hal tersebut, dapat disusun peluang penelitian sebagai berikut: Integrasi Data Satelit dan Sensor Digital untuk Prediksi Hasil Panen Berkelanjutan. Penggunaan *Deep Learning* untuk Deteksi Dini Penyakit Tanaman dan Manajemen Ketahanan Pangan. Model Prediksi Perubahan Iklim dan Pengaruhnya terhadap Hasil Pertanian. Pengembangan Sistem Terpadu untuk Keamanan Pangan Berbasis Big Data dan AI. Pemanfaatan Teknologi AI dan Penginderaan Jauh untuk Optimalisasi Pengelolaan Sumber Daya Pertanian di Era Digital. Dengan menerapkan rekomendasi ini, diharapkan dapat memperkuat ketahanan pangan global dan

meningkatkan efisiensi serta keberlanjutan dalam sektor pertanian melalui pemanfaatan teknologi AI yang inovatif.

REFERENCES

- [1] I. U. W. and W. FAO, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO; 2023. doi: 10.4060/cc3017en.
- [2] A. Kamilaris and F. X. Prenafeta-Boldú, "Deep learning in agriculture: A survey," Apr. 01, 2018, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.compag.2018.02.016.
- [3] J. You, X. Li, M. Low, D. Lobell, and S. Ermon, "Deep Gaussian Process for Crop Yield Prediction Based on Remote Sensing Data," in *Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-17)*, 2017. [Online]. Available: www.aaai.org
- [4] S. P. Mohanty, D. P. Hughes, and M. Salathé, "Using deep learning for image-based plant disease detection," *Front Plant Sci*, vol. 7, no. September, Sep. 2016, doi: 10.3389/fpls.2016.01419.
- [5] I. Pacal *et al.*, "A systematic review of deep learning techniques for plant diseases," *Artif Intell Rev*, vol. 57, no. 11, Nov. 2024, doi: 10.1007/s10462-024-10944-7.
- [6] K. G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, and D. Bochtis, "Machine learning in agriculture: A review," Aug. 14, 2018, *MDPI AG*. doi: 10.3390/s18082674.
- [7] M. E. Brown, "Satellite remote sensing in agriculture and food security assessment," 2015.
- [8] C. Nakalembe *et al.*, "A review of satellite-based global agricultural monitoring systems available for Africa," Jun. 01, 2021, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.gfs.2021.100543.
- [9] N. N. Misra, Y. Dixit, A. Al-Mallahi, M. S. Bhullar, R. Upadhyay, and A. Martynenko, "IoT, Big Data, and Artificial Intelligence in Agriculture and Food Industry," *IEEE Internet Things J*, vol. 9, no. 9, pp. 6305–6324, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2020.2998584.
- [10] A. Kaur *et al.*, "Artificial Intelligence Driven Smart Farming for Accurate Detection of Potato Diseases: A Systematic Review," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 193902–193922, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3510456.
- [11] A. Sharma, A. Jain, P. Gupta, and V. Chowdary, "Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4843–4873, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3048415.
- [12] Y. Akkem, S. K. Biswas, and A. Varanasi, "Smart farming using artificial intelligence: A review," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 120, p. 105899, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105899.
- [13] I. P. Guma, A. S. Rwashana, and B. Oyo, "Food Security Policy Analysis Using System Dynamics: The Case of Uganda," in *Research Anthology on Strategies for Achieving Agricultural Sustainability*, IGI Global, 2022, pp. 301–320. doi: 10.4018/978-1-6684-5352-0.ch017.
- [14] K. Christos, T. Naoum, V. Dimitrios, and I. Eleftherios, "A System Dynamics Approach towards Food Security in Agrifood Supply Networks: A Critical Taxonomy of Modern Challenges in a Sustainability Context," 9th Mibes International Conference, 2014, pp. 122–173.
- [15] B. M. Napoleão, F. Petrillo, S. Hallé, and M. Kalinowski, "TOWARDS CONTINUOUS SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW IN SOFTWARE ENGINEERING A PREPRINT," 2022.
- [16] D. Stefanovic, S. Havzi, D. Nikolic, D. Dakic, and T. Lolic, "Analysis of the Tools to Support Systematic Literature Review in Software Engineering," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1163, no. 1, p. 012013, Aug. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1163/1/012013.
- [17] I. Zupic and T. Čater, "Bibliometric Methods in Management and Organization," *Organ Res Methods*, vol. 18, no. 3, pp. 429–472, Jul. 2015, doi: 10.1177/1094428114562629.
- [18] N. Donthu, S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey, and W. M. Lim, "How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines," *J Bus Res*, vol. 133, pp. 285–296, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.jbusres.2021.04.070.
- [19] N. Jan van Eck and L. Waltman, *VOSviewer Manual*. Leiden: Universiteit Leiden, 2023.
- [20] T. ALASALI and Y. ORTAKCI, "Clustering Techniques in Data Mining: A Survey of Methods, Challenges, and Applications," *Computer Science*, Mar. 2024, doi: 10.53070/bbd.1421527.
- [21] J. Hansen, R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo, "Global surface temperature change," *Reviews of Geophysics*, vol. 48, no. 4, Dec. 2010, doi: 10.1029/2010RG000345.
- [22] D. A. Tofu, "Pastoralists' and agro-pastoralists' livelihood resilience to climate change-induced risks in the Borana zone, south Ethiopia: Using resilience index measurement approach," *Pastoralism*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s13570-022-00263-3.

-
- [23] FAO, *Climate change and food security: risks and responses*. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2015.
 - [24] T. H. H. Aldhyani, "Leaf Pathology Detection in Potato and Pepper Bell Plant using Convolutional Neural Networks," 2022. doi: 10.1109/ICCES54183.2022.9835735.
 - [25] S. Ramesh *et al.*, "Plant Disease Detection Using Machine Learning," in *2018 International Conference on Design Innovations for 3Cs Compute Communicate Control (ICDI3C)*, 2018, pp. 41–45. doi: 10.1109/ICDI3C.2018.00017.
 - [26] B. S. Hamed, M. M. Hussein, and A. M. Mousa, "Plant Disease Detection Using Deep Learning," *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol. 15, no. 6, pp. 38–50, Dec. 2023, doi: 10.5815/ijisa.2023.06.04.
 - [27] B. P. Gyires-Tóth, M. Osváth, D. Papp, and G. Szucs, "Deep learning for plant classification and content-based image retrieval," *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 19, no. 1, pp. 88–100, 2019, doi: 10.2478/CAIT-2019-0005.
 - [28] H. Tamiminia, B. Salehi, M. Mahdianpari, L. Quackenbush, S. Adeli, and B. Brisco, "Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review," Jun. 01, 2020, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001.
 - [29] A. Shelestov, M. Lavreniuk, N. Kussul, A. Novikov, and S. Skakun, "Exploring Google earth engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping," *Front Earth Sci (Lausanne)*, vol. 5, pp. 1–10, Feb. 2017, doi: 10.3389/feart.2017.00017.
 - [30] K. Bronson and I. Knezevic, "Big Data in food and agriculture," Jan. 05, 2016, *SAGE Publications Ltd.* doi: 10.1177/2053951716648174.
 - [31] Vasudevan N and Karthick T, "Big Data Analytics for Yield Prediction in Precision Agriculture," in *IntechOpen*, 2024. doi: DOI:http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.114165.
 - [32] C. Zhang, W. Zhao, and L. Dong, "Design of Food Safety Supervision System in the Background of Big Data," in *2022 International Conference on Artificial Intelligence in Everything (AIE)*, 2022, pp. 413–418. doi: 10.1109/AIE57029.2022.00085.