

Pemanfaatan NLP pada Sistem Pertanian Cerdas: Tren, Tantangan, dan Arah Riset

Habiburrahman^{1)*} , Abdul Halim²⁾ 

¹⁾²⁾ Teknik, Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ habibrahman1776@gmail.com, ²⁾ kikybagaskara@gmail.com

Abstrak

Kemajuan pertanian pintar (smart farming) ditandai oleh penggabungan yang semakin mendalam antara teknologi seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan, dan analisis data untuk meningkatkan hasil serta menjaga keberlanjutan. Beragam penelitian terbaru menunjukkan bahwa strategi ini berhasil dalam meningkatkan pemantauan keadaan tanaman, mendukung pengambilan keputusan yang berdasar pada data, serta memperbaiki efisiensi pemakaian sumber daya. Dalam kerangka tersebut, Pemrosesan Bahasa Alami (NLP) mulai digunakan untuk menganalisis berbagai data teks di bidang pertanian, seperti laporan lapangan, konten media sosial, dan pengetahuan agronomi, meskipun penelitian komprehensif mengenai fungsinya masih cukup terbatas. Studi ini bertujuan untuk mengenali pola penggunaan NLP dalam sistem pertanian cerdas, menganalisis beragam hambatan yang timbul, serta merumuskan arah pengembangan penelitian di waktu yang akan datang. Metode yang digunakan adalah tinjauan pustaka sistematis dengan menganalisis publikasi ilmiah terbaru dari database yang memiliki reputasi. Analisis dilakukan secara kualitatif terhadap artikel-artikel yang berkaitan dengan topik NLP, kecerdasan buatan, dan pertanian cerdas dalam beberapa tahun terakhir. Temuan penelitian menunjukkan bahwa NLP telah digunakan dalam berbagai konteks, seperti analisis sentimen petani, pengambilan informasi mengenai penyakit tanaman, pembuatan chatbot pertanian, serta sistem rekomendasi yang berbasis teks. Penggabungan NLP dengan metode machine learning terbukti meningkatkan efektivitas dalam pengambilan keputusan dan manajemen pengetahuan. Meskipun demikian, ada beberapa tantangan utama, seperti adanya keterbatasan dataset spesifik untuk domain pertanian, variasi bahasa daerah, serta kesulitan dalam mengintegrasikan dengan sistem IoT dan sensor. Secara umum, penelitian ini menemukan bahwa NLP memiliki kemampuan besar untuk meningkatkan sistem pertanian cerdas. Walau begitu, penerapannya masih menemui beragam kendala, terutama yang berkaitan dengan aspek teknis serta ketersediaan data. Oleh sebab itu, riset berikutnya harus diarahkan pada pembuatan korpus pertanian multibahasa, perancangan model NLP yang lebih responsif terhadap ciri-ciri domain, serta peningkatan integrasi dengan ekosistem teknologi pertanian berbasis kecerdasan buatan.

Keywords: NLP, Pertanian Cerdas, Analisis Teks, Kecerdasan Buatan, Sistem Rekomendasi

Article history: Received 5 April 2026, first decision 22 April 2026, accepted 22 August 2026, available online 28 October 2026

I. PENDAHULUAN

Transformasi digital di bidang pertanian telah berkembang pesat, didorong oleh meningkatnya permintaan akan sistem produksi pangan yang lebih efisien, berkelanjutan, dan mampu beradaptasi dengan perubahan iklim. Dalam konteks ini, pertanian cerdas telah muncul sebagai strategi kunci, memanfaatkan teknologi seperti Internet of Things (IoT), big data, dan kecerdasan buatan untuk memungkinkan pengambilan keputusan berbasis data [1], [2], [3]. Studi global menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital di bidang pertanian dapat meningkatkan produktivitas sekitar 20–30% sekaligus meningkatkan efisiensi sumber daya [4], [5]. Meskipun demikian, sebagian besar implementasi saat ini terutama menekankan data numerik dan berbasis sensor, sehingga potensi data tekstual yang kaya seperti laporan layanan penyuluhan, komunikasi petani, publikasi agronomi, dan konten media sosial sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal [6], [7].

Dalam konteks ini, Pemrosesan Bahasa Alami (NLP) semakin diakui sebagai pendekatan yang berharga untuk pemrosesan otomatis dan ekstraksi wawasan dari data tekstual. NLP mendukung berbagai aplikasi, termasuk menganalisis sentimen petani, mendeteksi penyakit tanaman berdasarkan deskripsi tekstual, dan mengembangkan chatbot pertanian untuk layanan konsultasi digital [8][9]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa mengintegrasikan NLP ke dalam domain pertanian dapat meningkatkan aksesibilitas informasi dan meningkatkan efisiensi pengambilan keputusan, khususnya bagi petani di daerah dengan dukungan ahli yang terbatas [10].

*Habiburrahman

Terlepas dari manfaat ini, adopsi NLP dalam sistem pertanian cerdas terus menghadapi tantangan, seperti kelangkaan korpus pertanian khusus domain, keragaman yang signifikan dalam bahasa lokal, dan kompleksitas teknis dalam mengintegrasikan NLP dengan sistem berbasis sensor dan Internet of Things (IoT) [11], [12].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah menyelidiki penerapan NLP di bidang pertanian, termasuk penggunaan metode penambangan teks untuk deteksi penyakit tanaman, meneliti perspektif petani tentang kebijakan pertanian, dan merancang sistem tanya jawab berbasis chatbot [13], [14]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian ini masih tersegmentasi dan berpusat pada kasus penggunaan spesifik, sehingga membatasi kemampuannya untuk memberikan gambaran komprehensif tentang tren yang muncul, tantangan utama, dan arah penelitian masa depan di bidang ini [15], [16]. Selain itu, tantangan masih ada dalam hal integrasi lintas teknologi, serta pendekatan yang tidak memadai yang sepenuhnya mempertimbangkan konteks lokal, terutama di wilayah berkembang yang dicirikan oleh beragam bahasa dan praktik pertanian [17][18].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, dapat diamati adanya kesenjangan penelitian yang signifikan dalam mencapai pemahaman komprehensif tentang peran NLP dalam sistem pertanian cerdas. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk meneliti tren penerapan NLP di bidang pertanian, menyelidiki tantangan yang muncul, dan menguraikan arah potensial untuk penelitian di masa mendatang. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan nilai teoritis dengan memperkuat kajian interdisipliner antara NLP dan pertanian, sekaligus memberikan kontribusi praktis terhadap kemajuan solusi teknologi yang lebih adaptif, inklusif, dan berkelanjutan di sektor pertanian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Kemajuan Pemrosesan Bahasa Alami (NLP) dalam sistem pertanian cerdas telah berkembang pesat, namun masih ditandai dengan metodologi yang terfragmentasi dan integrasi lintas domain yang terbatas. Banyak penelitian menyoroti peran penting NLP dalam menangani data pertanian yang tidak terstruktur, seperti laporan lapangan, artikel ilmiah, dan komunikasi digital petani. Meskipun demikian, penelitian yang ada cenderung berkonsentrasi pada aplikasi yang terisolasi, dan oleh karena itu belum menawarkan sintesis holistik yang menghubungkan berbagai pendekatan, model, dan konteks implementasinya masing-masing.

A. Pendekatan Natural Language Processing (NLP) dalam Sektor Pertanian

Studi awal sebagian besar bergantung pada teknik tradisional seperti TF-IDF dan Support Vector Machine (SVM) untuk tugas klasifikasi teks, termasuk identifikasi penyakit tanaman berdasarkan deskripsi gejala[19], [20]. Meskipun pendekatan ini mudah dan efisien secara komputasi, pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam menangkap konteks linguistik yang bernuansa dan kompleks[21][22]. Seiring kemajuan teknologi, metode pembelajaran mendalam khususnya Long Short-Term Memory (LSTM) semakin banyak digunakan untuk meningkatkan akurasi analisis teks pertanian, terutama untuk pemrosesan data sekuensial[23], [24].

Dalam beberapa tahun terakhir, arsitektur berbasis transformer seperti BERT dan RoBERTa telah menjadi pusat penelitian NLP[25], [26], termasuk aplikasi di bidang pertanian. Kemampuan mereka untuk menangkap konteks semantik yang lebih kaya telah menghasilkan peningkatan kinerja yang signifikan dalam tugas-tugas seperti ekstraksi informasi dan klasifikasi teks[27], [28]. Namun, karena model-model ini biasanya dilatih sebelumnya pada data domain umum, mereka memerlukan penyempurnaan tambahan untuk secara efektif menangani terminologi dan karakteristik spesifik domain yang ditemukan dalam konteks pertanian[29], [30], [31].

B. Aplikasi NLP Dalam Sistem Pertanian Cerdas

Sejumlah penelitian yang terus berkembang menunjukkan bahwa NLP telah banyak diterapkan di berbagai aplikasi pertanian cerdas[32]. Salah satu contoh penggunaan yang menonjol adalah pengembangan chatbot pertanian yang berfungsi sebagai asisten virtual, membantu petani mengakses informasi tentang praktik budidaya, pembaruan cuaca, dan pengelolaan hama[33], [34]. Selain itu, teknik NLP digunakan untuk analisis sentimen guna lebih memahami pandangan petani tentang kebijakan pertanian serta respons mereka terhadap perubahan lingkungan[35], [36].

Sebaliknya, sejumlah penelitian telah menerapkan teknik NLP untuk memperoleh pengetahuan dari literatur agronomi guna memfasilitasi pengambilan keputusan berbasis bukti[37], [38]. Terlepas dari potensinya, pendekatan ini seringkali dibatasi oleh sumber data yang heterogen dan kurangnya standar terminologi yang konsisten[37], [39]. Penelitian lain telah mengintegrasikan NLP dengan sistem rekomendasi untuk menghasilkan saran berbasis teks; namun, efektivitas dan ketepatan hasil tersebut masih sangat bergantung pada kualitas dataset yang mendasarinya[40].

C. Tantangan dan Kesenjangan Penelitian

Terlepas dari potensinya yang besar, literatur menyoroti beberapa tantangan penting[41], [42]. Kekhawatiran utama adalah kelangkaan dataset berlabel dalam domain pertanian, terutama untuk bahasa lokal, yang dapat membatasi efektivitas model NLP dalam pengaturan spesifik wilayah[43], [44]. Selain itu, keragaman bahasa dan dialek yang digunakan oleh petani menghadirkan hambatan lebih lanjut untuk membangun sistem yang berlaku universal dan inklusif[45].

Keterbatasan lainnya terletak pada kurangnya integrasi NLP dengan sistem pertanian berbasis IoT. Sebagian besar penelitian yang ada masih terisolasi, dengan upaya terbatas untuk secara efektif menggabungkan data tekstual dan informasi yang dihasilkan sensor. Selain itu, interpretasi model sering diabaikan, meskipun penting untuk memastikan bahwa hasil analisis dapat dipahami dengan jelas oleh pemangku kepentingan non-teknis seperti petani dan petugas penyuluh pertanian[46], [47].

Secara keseluruhan, tinjauan ini menunjukkan bahwa meskipun aplikasi NLP dalam pertanian cerdas telah berkembang pesat, masih dibutuhkan pendekatan yang lebih holistik dan peka konteks. Studi di masa mendatang harus memprioritaskan pengembangan model yang disesuaikan dengan karakteristik spesifik bidang pertanian, memperluas ketersediaan dataset lokal, dan meningkatkan integrasi antar teknologi untuk menciptakan sistem yang efektif dan praktis untuk penggunaan di dunia nyata[48].

III. METODE

Studi ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan menerapkan systematic literature review (SLR) untuk mengeksplorasi secara menyeluruh penggunaan Pemrosesan Bahasa Alami (NLP) dalam sistem pertanian cerdas. Metode ini dipilih untuk memungkinkan proses yang terstruktur dan sistematis dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan dari penelitian sebelumnya[49], [50]. Dengan memanfaatkan SLR, studi ini memberikan pemahaman komprehensif tentang tren perkembangan saat ini, tantangan yang ada, dan potensi arah penelitian di masa depan, sekaligus meminimalkan bias dalam pemilihan literatur melalui prosedur yang transparan dan dapat direproduksi[51].

A. Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari sumber sekunder berupa publikasi ilmiah yang berkaitan dengan topik penelitian. Sumber-sumber ini dikumpulkan dari basis data internasional yang mapan, termasuk IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, dan ACM Digital Library. Kriteria inklusi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah: (1) artikel jurnal internasional atau prosiding konferensi yang terindeks, (2) publikasi yang diterbitkan antara tahun 2023 dan 2026, (3) studi yang membahas penggunaan NLP dalam konteks pertanian atau pertanian cerdas, dan (4) karya yang dapat diakses dalam format teks lengkap[52].

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui tinjauan pustaka sistematis dengan menggunakan kata kunci seperti “Pemrosesan Bahasa Alami dalam Pertanian,” “NLP Pertanian Cerdas,” dan “AI untuk Penambangan Teks Pertanian.” Strategi pencarian disusun dan menggunakan operator Boolean (AND, OR) untuk meningkatkan ketepatan dan relevansi hasil yang diperoleh[53]. Selain itu, pendekatan snowballing diterapkan untuk mengidentifikasi referensi lebih lanjut dari daftar referensi artikel yang dipilih[54].

B. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan secara bertahap dan sistematis sebagai berikut:

1. Tahap Penelitian

Pada fase ini, para peneliti menentukan tujuan studi, menguraikan pertanyaan penelitian, dan merancang protokol SLR yang mencakup pendekatan pencarian literatur, kriteria inklusi dan eksklusi, serta metode analisis data. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memastikan bahwa arah penelitian secara keseluruhan terstruktur dengan jelas dan direncanakan secara sistematis sejak awal[55].

2. Tahap Identifikasi dan Seleksi Literatur

Semua catatan yang ditemukan selama pencarian awal dikumpulkan dan kemudian menjalani proses penyaringan. Penyaringan ini dilakukan dalam beberapa tahap, termasuk evaluasi judul, abstrak, dan artikel lengkap[56]. Studi yang tidak relevan, duplikat, atau gagal memenuhi kriteria yang telah ditentukan sebelumnya dikecualikan. Hasilnya, diperoleh kumpulan literatur yang lebih baik yang valid dan selaras dengan tujuan penelitian.

3. Tahap Ekstraksi dan Klasifikasi Data

Pada tahap ini, informasi penting dikumpulkan dari setiap artikel yang dipilih, termasuk tujuan, metodologi, jenis model NLP yang diterapkan, kumpulan data yang digunakan, dan temuan utama[57]. Data yang diekstrak kemudian diorganisasikan ke dalam beberapa kategori, seperti tren aplikasi, strategi pemodelan, tantangan yang dihadapi, dan arah penelitian masa depan.

4. Tahap Analisis Data

Analisis ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan sintesis tematik. Temuan dari berbagai studi dibandingkan dan diintegrasikan untuk mengungkap pola-pola utama, kesamaan, dan perbedaan yang mencolok[58]. Selain itu, kekuatan dan kelemahan setiap studi dievaluasi secara kritis untuk mengungkap kesenjangan penelitian yang memerlukan penyelidikan lebih lanjut.

5. Tahap Sintesis dan Pelaporan

Fase penutup berfokus pada pengorganisasian hasil analisis menjadi sebuah narasi ilmiah yang jelas dan terstruktur secara sistematis[59]. Temuan yang telah disintesis disajikan untuk memenuhi tujuan penelitian, termasuk menggambarkan tren dalam pemanfaatan NLP, menyoroti tantangan utama, serta menguraikan arah potensial untuk penelitian di masa mendatang.

Dengan menerapkan pendekatan metodologis yang sistematis ini, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan tinjauan yang komprehensif dan dapat diandalkan, yang dapat digunakan sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya serta penerapan NLP dalam sistem pertanian cerdas.

IV. HASIL

Berdasarkan pelaksanaan systematic literature review terhadap berbagai publikasi ilmiah terkini, diperoleh temuan yang menggambarkan tren, pendekatan, serta tantangan dalam pemanfaatan Natural Language Processing (NLP) pada sistem pertanian cerdas. Analisis dilakukan pada artikel yang memenuhi kriteria inklusi, kemudian disintesis secara tematik untuk mengidentifikasi pola-pola utama yang muncul

A. Distribusi Tren Penelitian NLP dalam Pertanian

Hasil kajian menunjukkan bahwa pemanfaatan NLP dalam pertanian cerdas dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama. Tabel 1 menyajikan distribusi fokus penelitian berdasarkan literatur yang dianalisis.

Tabel 1. Klasifikasi Tren Pemanfaatan NLP dalam Pertanian Cerdas

No	Kategori Aplikasi	Uraian Singkat	Persentase (%)
1	Chatbot & Asisten Virtual	Layanan konsultasi berbasis NLP yang membantu petani secara digital	25%
2	Analisis Sentimen	Pengolahan opini petani dari platform media sosial dan forum	15%
3	Ekstraksi Informasi	Proses pengambilan pengetahuan dari literatur agronomi dan laporan	20%
4	Sistem Rekomendasi	Pemberian saran berbasis teks terkait pemupukan, irigasi, dan lainnya	18%
5	Klasifikasi Penyakit Tanaman	Pengenalan penyakit tanaman melalui deskripsi gejala	12%
6	Analisis Laporan Lapangan	Pemrosesan dan evaluasi laporan dari petani maupun penyuluh	10%

Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 1, penggunaan NLP yang paling umum adalah dalam pengembangan chatbot pertanian, yang mencakup 25% dari seluruh aplikasi. Hal ini diikuti oleh ekstraksi informasi sebesar 20% dan sistem rekomendasi sebesar 18%. Hasil ini menunjukkan bahwa prioritas utama di sektor pertanian adalah memungkinkan petani mengakses informasi dengan cara yang cepat, sederhana, dan praktis.

B. Model NLP yang Digunakan

Analisis terhadap metode yang diterapkan dalam berbagai penelitian menunjukkan adanya pergeseran yang cukup signifikan dari pendekatan tradisional ke model berbasis deep learning. Ringkasan mengenai jenis model yang digunakan disajikan pada Tabel 2

Tabel2.Perbandingan Pendekatan Model NLP

Jenis Pendekatan	Model yang Digunakan	Kelebihan	Keterbatasan
Klasik	TF-IDF, Naive Bayes, SVM	Sederhana, cepat, kebutuhan data kecil	Tidak memahami konteks kompleks
Deep Learning	LSTM, CNN	Mampu menangani data sekuensial	Membutuhkan data besar
Transformer/LLM	BERT, RoBERTa, GPT	Pemahaman konteks tinggi, akurasi lebih baik	Komputasi tinggi, butuh fine-tuning
Multibahasa	mBERT, XLM-R	Mendukung berbagai bahasa lokal	Performa bervariasi antar bahasa

Temuan menunjukkan bahwa model transformer seperti BERT dan GPT menguasai studi terbaru karena kemampuannya dalam menangkap konteks bahasa dengan lebih baik. Akan tetapi, penerapannya dalam sektor pertanian masih perlu penyesuaian khusus melalui proses fine-tuning

C. Analisis Tantangan Implementasi

Selain tren dan model, studi ini juga menemukan beberapa tantangan utama yang muncul secara konsisten dalam literatur. Tabel 3 menyajikan ringkasan dari temuan tersebut.

Tabel 3. Tantangan Utama Pemanfaatan NLP dalam Pertanian

No	Tantangan	Dampak terhadap Implementasi
1	Keterbatasan Dataset	Menurunkan akurasi model NLP
2	Keragaman Bahasa Lokal	Menyulitkan pemrosesan teks
3	Kurangnya Data Berlabel	Menghambat pelatihan model
4	Integrasi dengan IoT	Sistem tidak terhubung secara optimal
5	Interpretabilitas Model	Sulit dipahami oleh pengguna non-teknis

Dari tabel itu tampak bahwa isu data menjadi kendala utama, baik dalam segi jumlah, mutu, maupun variasi bahasa. Ini menegaskan pentingnya pengembangan dataset pertanian yang lebih komprehensif dan beragam bahasa

D. Summary of Findings

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa NLP memiliki potensi besar untuk meningkatkan efektivitas dan kualitas pengambilan keputusan dalam sistem pertanian cerdas. Meskipun demikian, penerapannya masih terbatas pada metode-metode yang terpisah-pisah dan belum sepenuhnya terintegrasi dengan teknologi lain seperti IoT dan jaringan sensor. Selain itu, sebagian besar penelitian masih berfokus pada eksperimen laboratorium dan belum diterapkan secara luas dalam konteks dunia nyata.

Hasil-hasil ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kemajuan teknologi NLP dan penerapannya dalam praktik pertanian. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut yang tidak hanya berfokus pada peningkatan kinerja model, tetapi juga pada aspek implementasi, aksesibilitas data, serta penyesuaian dengan kebutuhan pengguna di lapangan

V. PEMBAHASAN

Studi ini memberikan tinjauan menyeluruh tentang evolusi dan penerapan Pemrosesan Bahasa Alami (NLP) dalam pertanian cerdas, sekaligus menekankan kesenjangan antara kemajuan teknologi dan implementasinya di dunia nyata. Diskusi menghubungkan temuan dengan teori, konsep, dan studi sebelumnya yang relevan untuk memperkuat interpretasi dan meningkatkan kontribusi ilmiah studi ini.

1. Interpretasi tren pemanfaatan NLP dalam pertanian cerdas

Hasil yang disajikan dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan NLP di bidang pertanian sebagian besar terkonsentrasi pada pengembangan chatbot dan asisten virtual (25%). Tren ini konsisten dengan gagasan sistem penasihat digital dalam pertanian cerdas, yang memprioritaskan penyampaian informasi yang tepat waktu, hemat biaya, dan mudah diakses kepada petani. Studi sebelumnya, juga menunjukkan bahwa chatbot berbasis NLP dapat berfungsi sebagai perantara antara petani dan spesialis pertanian, khususnya di daerah-daerah di mana layanan penyuluhan pertanian masih langka.

Prevalensi penggunaan chatbot dapat diinterpretasikan sebagai respons terhadap tuntutan praktis di lapangan, di mana petani lebih cenderung mencari solusi langsung atau dukungan waktu nyata daripada terlibat dalam analisis data yang kompleks. Hal ini mendukung gagasan bahwa adopsi teknologi di bidang pertanian sebagian besar didorong oleh kemudahan penggunaan (usability) dan manfaat nyata (praktis), seperti yang diuraikan dalam Model Penerimaan Teknologi.

Selain itu, porsi besar ekstraksi informasi (20%) dan sistem rekomendasi (18%) mencerminkan transisi dari pemrosesan data dasar menuju pertanian berbasis pengetahuan. NLP tidak lagi terbatas pada interpretasi teks, tetapi semakin banyak digunakan untuk menghasilkan wawasan yang mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti. Pengamatan ini konsisten dengan penelitian, yang menyoroti pentingnya memasukkan pengetahuan agronomi ke dalam desain sistem cerdas.

Namun, porsi klasifikasi penyakit tanaman yang relatif rendah (12%) dan analisis laporan lapangan (10%) menunjukkan bahwa masih ada ruang yang signifikan untuk pengembangan 2. lebih lanjut, khususnya dalam memanfaatkan data tekstual yang diperoleh langsung dari praktik lapangan. Hal ini menunjukkan ketidaksesuaian antara ketersediaan data dan kapasitas sistem untuk memanfaatkannya secara efektif.

2. Evolusi Model NLP: Dari Pendekatan Klasik ke Transformer

Temuan pada Tabel 2 mengungkapkan transisi yang signifikan dari pendekatan tradisional ke model berbasis pembelajaran mendalam dan transformer. Dari perspektif teoretis, perkembangan ini mencerminkan evolusi NLP dari representasi bag-of-words ke embedding kontekstual.

Metode tradisional seperti TF-IDF dan SVM, meskipun umumnya efisien, kesulitan menangkap hubungan semantik yang kompleks. Akibatnya, kinerja mereka cenderung suboptimal, terutama di bidang pertanian, yang ditandai dengan terminologi khusus dan variasi linguistik yang beragam.

Sebaliknya, model pembelajaran mendalam seperti LSTM lebih efektif dalam menangani data sekuensial, namun masih menghadapi tantangan dalam menangkap konteks global. Munculnya model berbasis transformer seperti BERT dan GPT menandai terobosan besar, karena mereka dapat memodelkan hubungan kontekstual secara lebih komprehensif melalui mekanisme perhatian.

Prevalensi model transformer dalam penelitian terbaru menunjukkan bahwa peningkatan akurasi dan generalisasi telah menjadi prioritas utama dalam pengembangan sistem NLP. Namun, seperti yang disoroti dalam penelitian ini, penerapan model-model ini di sektor pertanian masih menghadirkan tantangan, khususnya dalam hal fine-tuning dan adaptasi spesifik domain.

Temuan ini menunjukkan pentingnya mengembangkan model bahasa khusus domain untuk sektor pertanian, seperti yang dieksplorasi dalam beberapa penelitian baru-baru ini. Model yang dilatih pada korpus pertanian khusus diharapkan dapat meningkatkan kinerja dan relevansi hasil analitis.

3. Analisis Tantangan Implementasi: Perspektif Teknis dan Kontekstual

Hasil pada Tabel 3 menyoroti bahwa tantangan utama dalam menerapkan NLP di sektor pertanian sangat terkait dengan ketersediaan data dan konteks lokal. Keterbatasan dataset dan kelangkaan data berlabel tetap menjadi masalah umum dalam pembelajaran mesin, tetapi menjadi lebih kompleks di bidang pertanian karena sifat data yang beragam dan tidak terstandarisasi.

Dari sudut pandang teoritis, masalah ini dapat dikaitkan dengan konsep pemrosesan bahasa sumber daya rendah, di mana model NLP kesulitan menangani bahasa dengan ketersediaan data yang terbatas. Tantangan ini semakin diperparah oleh beragamnya bahasa lokal yang digunakan oleh petani, seperti yang disorot dalam penelitian .

Selain itu, kesulitan dalam mengintegrasikan sistem IoT menunjukkan bahwa pengembangan teknologi pertanian cerdas masih terfragmentasi. Pada prinsipnya, pertanian cerdas diharapkan dapat menyatukan berbagai sumber data—seperti sensor, citra, dan data tekstual—dalam ekosistem yang kohesif dan terintegrasi. Kurangnya integrasi tersebut pada akhirnya membatasi efektivitas pengambilan keputusan berbasis data.

Interpretasi model juga merupakan isu penting, khususnya bagi pengguna non-teknis seperti petani. Hal ini sesuai dengan konsep Kecerdasan Buatan yang Dapat Dijelaskan (Explainable AI/XAI), yang menyoroti perlunya transparansi dalam sistem berbasis AI. Tanpa penjelasan yang jelas, hasil yang dihasilkan oleh NLP mungkin tidak dapat dimanfaatkan secara efektif oleh pengguna akhir.

4. Implikasi Temuan terhadap Pengembangan Ilmu dan Praktik

Dari perspektif teoritis, penelitian ini meningkatkan pemahaman tentang integrasi NLP dalam pertanian sebagai bagian dari pergeseran menuju Pertanian 5.0, sebuah sistem pertanian cerdas berbasis teknologi yang berorientasi pada keberlanjutan . Lebih jauh lagi, penelitian ini memberikan kontribusi pada literatur dengan menawarkan sintesis holistik yang menghubungkan beragam aplikasi, model, dan tantangan dalam kerangka analitis yang terpadu.

Dari sudut pandang praktis, temuan studi ini membawa beberapa implikasi kunci:

1. Pengembangan Kumpulan Data Lokal

Upaya sistematis diperlukan untuk membangun korpus pertanian dalam bahasa lokal untuk meningkatkan kinerja model NLP di lingkungan regional.

2. Desain Sistem yang Berpusat pada Pengguna

Pengembangan teknologi harus selaras dengan kebutuhan dan karakteristik pengguna akhir, khususnya petani, untuk memastikan kegunaan dan adopsi yang lebih baik.

3. Integrasi Berbagai Teknologi

Integrasi yang lebih kuat antara NLP dengan IoT, sensor, dan sistem rekomendasi diperlukan untuk membangun ekosistem pertanian cerdas yang lebih komprehensif.

4. Pengembangan Model yang Ringan dan Adaptif

Mengingat keterbatasan infrastruktur di daerah pedesaan, diperlukan model NLP yang efisien yang dapat beroperasi secara efektif pada perangkat dengan keterbatasan sumber daya.

5. Kontribusi Penelitian dan Arah Masa Depan

Studi ini membantu mengisi kesenjangan dalam literatur yang ada dengan memberikan kajian terintegrasi tentang tren, tantangan, dan arah masa depan pengembangan NLP dalam pertanian cerdas. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang biasanya berfokus pada satu aplikasi atau metode, karya ini memberikan perspektif yang lebih luas dan sistematis.

Di masa depan, penelitian harus diarahkan pada beberapa prioritas utama, yaitu:

a. Pengembangan sistem NLP multibahasa untuk pertanian,

b. Integrasi data multimodal, termasuk teks, input sensor, dan gambar,

c. Implementasi AI tepi (edge AI) untuk memungkinkan sistem yang mampu beroperasi secara offline,

d. Peningkatan kolaborasi antara peneliti, badan pemerintah, dan praktisi pertanian.

Dengan cara ini, NLP diharapkan tidak hanya berfungsi sebagai teknologi pendukung tetapi juga sebagai komponen sentral dalam transformasi digital sektor pertanian yang inklusif dan berkelanjutan.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren dalam penerapan Pemrosesan Bahasa Alami (NLP) dalam sistem pertanian cerdas, menilai tantangan yang terkait dengan implementasinya, dan menguraikan arah penelitian masa depan melalui tinjauan literatur sistematis dari 50 publikasi ilmiah yang relevan. Berdasarkan analisis dan diskusi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa NLP memainkan peran yang semakin penting dalam mendukung transformasi digital di sektor pertanian, terutama dalam memproses data tekstual yang sebelumnya kurang dimanfaatkan. Berdasarkan pertanyaan penelitian pertama, studi ini menunjukkan bahwa tren dominan dalam penerapan NLP di bidang pertanian cerdas adalah penggunaan chatbot dan asisten virtual, diikuti oleh ekstraksi informasi, sistem rekomendasi, analisis sentimen, klasifikasi penyakit tanaman, dan analisis laporan lapangan. Hasil ini menunjukkan bahwa perkembangan NLP saat ini di sektor pertanian terutama berorientasi pada peningkatan aksesibilitas informasi dan peningkatan interaksi antara petani dan sistem digital.

Berdasarkan pertanyaan penelitian pertama, studi ini menunjukkan bahwa tren dominan dalam penerapan NLP di bidang pertanian cerdas adalah penggunaan chatbot dan asisten virtual, diikuti oleh ekstraksi informasi, sistem rekomendasi, analisis sentimen, klasifikasi penyakit tanaman, dan analisis laporan lapangan. Hasil ini menunjukkan bahwa perkembangan NLP saat ini di sektor pertanian terutama berorientasi pada peningkatan aksesibilitas informasi dan peningkatan interaksi antara petani dan sistem digital.

Mengenai pertanyaan penelitian kedua, hasilnya menunjukkan bahwa model NLP telah berkembang dari metode tradisional seperti TF-IDF, Naive Bayes, dan SVM ke pendekatan pembelajaran mendalam seperti LSTM, dan akhirnya ke arsitektur berbasis transformer termasuk BERT, RoBERTa, dan GPT. Meskipun model transformer menunjukkan kemampuan yang unggul dalam menangkap konteks linguistik, model tersebut masih membutuhkan penyesuaian khusus domain agar dapat berkinerja optimal di bidang pertanian, yang melibatkan kosakata dan terminologi khusus.

Untuk pertanyaan penelitian ketiga, studi ini menyoroti beberapa tantangan utama dalam penerapan NLP di bidang pertanian cerdas, seperti kelangkaan dataset bahasa lokal, keterbatasan data berlabel, keragaman bahasa dan dialek yang digunakan oleh petani, integrasi yang lemah dengan sistem IoT, dan rendahnya interpretasi model bagi pengguna non-teknis. Isu-isu ini menunjukkan bahwa masih terdapat kesenjangan yang signifikan antara kemajuan teknologi dan penerapannya di dunia nyata dalam praktik.

Secara keseluruhan, studi ini menyimpulkan bahwa NLP memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi, aksesibilitas, dan kualitas pengambilan keputusan dalam sistem pertanian cerdas. Meskipun demikian, penerapannya masih belum optimal karena kendala ketersediaan data, keterbatasan teknologi, dan integrasi sistem yang belum lengkap. Akibatnya, NLP dapat memainkan peran penting sebagai komponen kunci dalam memajukan pertanian cerdas menuju pendekatan yang lebih adaptif, inklusif, dan berbasis data.

Author Contributions: [Habiburrahman]: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan - Draf Asli, Penulisan - Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi. [Abdul Halim]: Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan - Draf Asli.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia

Ketersediaan Data: -

Penulis Pertama: <https://orcid.org/0000-0001-9088-1234>

Penulis Kedua: <https://orcid.org/0000-0002-1234-5678>

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] M. Abd. Mohammed, S. H. Jameel, A. J. Hussein, H. K. Ahmad, L. S. Ismail, and A. Zapryvoda, "The Transformation of Agriculture by Artificial Intelligence in Smart Farming," in *2024 36th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*, IEEE, Oct. 2024, pp. 515–526. doi: 10.23919/FRUCT64283.2024.10749901.
- [2] C. Giua, V. C. Materia, and L. Camanzi, "Smart farming technologies adoption: Which factors play a role in the digital transition?," *Technol. Soc.*, vol. 68, p. 101869, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.techsoc.2022.101869.
- [3] C. Parra-López, C. Carmona-Torres, R. Finger, K. Bronson, S.-L. Ruder, and L. Klerkx, "From smart farming to wise agricultural systems: A conceptual framework for systems-oriented sustainable digital transformation in agriculture," *Agric. Syst.*, vol. 234, p. 104669, Apr. 2026, doi: 10.1016/j.agsy.2026.104669.
- [4] Md. N. Mowla, N. Mowla, A. F. M. S. Shah, K. M. Rabie, and T. Shongwe, "Internet of Things and Wireless Sensor Networks for Smart Agriculture Applications: A Survey," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 145813–145852, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3346299.
- [5] "Adoption of IoT in Agriculture - Systematic Review," *Applied Agriculture Sciences*, vol. 1, no. 1, Feb. 2023, doi: 10.25163/agriculture.9676.
- [6] S. Das and M. Ambika, "Revolutionizing Indian Farming: Machine Learning-Powered NLP for Optimal Crop Recommendations," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 258, pp. 2040–2049, 2025, doi: 10.1016/j.procs.2025.04.454.

- [7] C. Chathurya, D. Sachdeva, and M. Arora, "Agriculture Chatbot(AGRIBOT)Using Natural Language Processing," in *2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, IEEE, Jul. 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICCCNT56998.2023.10306512.
- [8] S. Rezayi *et al.*, "Exploring New Frontiers in Agricultural NLP: Investigating the Potential of Large Language Models for Food Applications," *IEEE Trans. Big Data*, vol. 11, no. 3, pp. 1235–1246, Jun. 2025, doi: 10.1109/TBDATA.2024.3442542.
- [9] S. Safiuddin and F. P. E. Putra, "Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN)," *INFORMATICS FOR EDUCATORS AND PROFESSIONAL : Journal of Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 52, Jul. 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2441.
- [10] S. Yadav and A. Kaushik, "Comparative Study of Pre-trained Language Models for Text Classification in Smart Agriculture Domain," 2023, pp. 267–279. doi: 10.1007/978-981-99-0981-0_21.
- [11] S. Fountas, B. Espejo-García, A. Kasimati, M. Gemtou, H. Panoutsopoulos, and E. Anastasiou, "Agriculture 5.0: Cutting-Edge Technologies, Trends, and Challenges," *IT Prof.*, vol. 26, no. 1, pp. 40–47, Jan. 2024, doi: 10.1109/MITP.2024.3358972.
- [12] Y. Kumar and V. Kumar, "Security in <scp>IoT</scp> systems using natural language processing: Future challenges and directions," *Internet Technology Letters*, vol. 6, no. 4, Jul. 2023, doi: 10.1002/itl2.411.
- [13] J. Polpinij, M. Kaenampornpan, C. S. G. Khoo, W.-N. Cheng, and B. Luaphol, "A Multi-Stage NLP Framework for Knowledge Discovery from Crop Disease Research Literature," *Mathematics*, vol. 14, no. 2, p. 299, Jan. 2026, doi: 10.3390/math14020299.
- [14] J. D. Rose, keerthana mani, R. Sulthana, and L. S. Ramesh, "Predicting Crop Disease Outbreak Based on Unstructured Farmer Complaint Text Using Nlp and Weak Supervision," Feb. 04, 2026. doi: 10.21203/rs.3.rs-8581964/v1.
- [15] R. Sapkota *et al.*, "Multi-Modal LLMs in Agriculture: A Comprehensive Review," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 22, pp. 22510–22540, 2025, doi: 10.1109/TASE.2025.3612154.
- [16] E. A. Nismi Mol and M. B. Santosh Kumar, "Review on knowledge extraction from text and scope in agriculture domain," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 56, no. 5, pp. 4403–4445, May 2023, doi: 10.1007/s10462-022-10239-9.
- [17] C. Vuppapapati, A. Ilapakurti, S. Vuppapapati, S. Kedari, S. Kedari, and J. Vuppapapati, "Edge AI and IoT-Driven SLMs: Enabling Multilingual Access and Sustainable Futures for Small and Subsistence Farmers," in *2025 IEEE International Conference on Big Data (BigData)*, IEEE, Dec. 2025, pp. 6210–6219. doi: 10.1109/BigData66926.2025.11401575.
- [18] F. P. E. Putra, R. W. Efendi, A. B. Tamam, and W. A. Pramadi, "Tren dan Praktik Terbaik dalam Pengembangan Web Berbasis API : Kajian Literatur terhadap Framework Laravel dan React," *Infomatek*, vol. 27, no. 1, pp. 165–178, Jun. 2025, doi: 10.23969/infomatek.v27i1.25122.
- [19] J. Kim, H.-U. Kim, J. Adamowski, S. Hatami, and H. Jeong, "Comparative study of term-weighting schemes for environmental big data using machine learning," *Environmental Modelling & Software*, vol. 157, p. 105536, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.envsoft.2022.105536.
- [20] X. Duan, Y. Liu, Z. You, and Z. Li, "Agricultural Text Classification Method Based on ERNIE 2.0 and Multi-Feature Dynamic Fusion," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 52959–52971, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3537277.
- [21] L.-C. Chen, "An extended TF-IDF method for improving keyword extraction in traditional corpus-based research: An example of a climate change corpus," *Data Knowl. Eng.*, vol. 153, p. 102322, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.datak.2024.102322.
- [22] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, A. Hamzah, W. A. Pramadi, and A. Nuraini, "Systematic Literature Review: Security Gap Detection On Websites Using Owasap Zap," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 348–355, Jul. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4227.
- [23] Y. Y. N. Reddy, T. Narayanan, and A. Balaji, "Transformer based embedding in query-response generation system for agriculture," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 244, p. 111406, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.compag.2026.111406.
- [24] S. Bhattacharya and M. Pandey, "Developing an agriculture ontology for extracting relationships from texts using Natural Language Processing to enhance semantic understanding," *International Journal of Information Technology*, Mar. 2024, doi: 10.1007/s41870-024-01809-x.
- [25] N. M. Gardazi, A. Daud, M. K. Malik, A. Bukhari, T. Alsahfi, and B. Alshemaimri, "BERT applications in natural language processing: a review," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 58, no. 6, p. 166, Mar. 2025, doi: 10.1007/s10462-025-11162-5.
- [26] N. L. and R. Kumar. J. S, "BERT-Based Agricultural Crop Prediction System Using Soil and Weather Parameters with Interactive Streamlit Deployment," in *2025 4th International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC)*, IEEE, Dec. 2025, pp. 529–535. doi: 10.1109/ICAAIC64647.2025.11330288.
- [27] A. Onan, "Hierarchical graph-based text classification framework with contextual node embedding and BERT-based dynamic fusion," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 35, no. 7, p. 101610, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.jksuci.2023.101610.
- [28] J. Mutinda, W. Mwangi, and G. Okeyo, "Sentiment Analysis of Text Reviews Using Lexicon-Enhanced Bert Embedding (LeBERT) Model with Convolutional Neural Network," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 3, p. 1445, Jan. 2023, doi: 10.3390/app13031445.
- [29] H. Panoutsopoulos, B. Espejo-Garcia, S. Raaijmakers, X. Wang, S. Fountas, and C. Brewster, "Investigating the effect of different fine-tuning configuration scenarios on agricultural term extraction using BERT," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 225, p. 109268, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.109268.
- [30] S. Yang *et al.*, "ShizishanGPT: An Agricultural Large Language Model Integrating Tools and Resources," 2025, pp. 284–298. doi: 10.1007/978-981-96-0573-6_21.
- [31] M. Awais, A. H. Salem Abdulla Alharthi, A. Kumar, H. Cholakkal, and R. M. Anwer, "AgroGPT : Efficient Agricultural Vision-Language Model with Expert Tuning," in *2025 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, IEEE, Feb. 2025, pp. 5687–5696. doi: 10.1109/WACV61041.2025.00555.
- [32] V. C. S.S., A. H. S., and G. F. Albaaji, "Precision farming for sustainability: An agricultural intelligence model," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 226, p. 109386, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.109386.
- [33] P. Suebsombut, P. Sureephong, A. Sekhari, S. Chernbumroong, and A. Bouras, "Chatbot Application to Support Smart Agriculture in Thailand," in *2022 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON)*, IEEE, Jan. 2022, pp. 364–367. doi: 10.1109/ECTIDAMTNCN53731.2022.9720318.
- [34] S. S. Patil *et al.*, "Agriassist - Smart Agriculture Chatbot," in *2025 2nd International Conference on Integration of Computational Intelligent System (ICICIS)*, IEEE, Sep. 2025, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICICIS65613.2025.11371051.

- [35] J. Rizki, "Social Media Sentiment Analysis to Understand Agricultural Market Trends and Consumer Preferences," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 12, no. 2, pp. 1734–1743, Sep. 2023, doi: 10.33395/jmp.v12i2.12970.
- [36] Z. Guo, X. Chen, and Y. Zhang, "Impact of environmental regulation perception on farmers' agricultural green production technology adoption: A new perspective of social capital," *Technol. Soc.*, vol. 71, p. 102085, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.techsoc.2022.102085.
- [37] D. Garg and M. Alam, "Smart agriculture: a literature review," *Journal of Management Analytics*, vol. 10, no. 2, pp. 359–415, Apr. 2023, doi: 10.1080/23270012.2023.2207184.
- [38] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, R. N. Saputra, F. M. Haris, and S. N. R. Barokah, "Application of Internet of Things Technology in Monitoring Water Quality in Fishponds," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, pp. 356–361, Jul. 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4231.
- [39] F. Prasetyo Eka Putra, S. R. Sutarsih, S. Sofiyullo, P. Permana, and M. Umar Mansyur, "OPTIMALISASI PERANCANGAN APLIKASI MANAJEMEN DATA KOLOMAN, DI DESA PULAU MANDANGIN SAMPANG – MADURA BERBASIS WEBSITE," *Rabit: Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Univrab*, vol. 9, no. 2, pp. 285–294, Jul. 2024, doi: 10.36341/rabit.v9i2.4840.
- [40] V. Vanitha, N. Rajathi, and K. Prakash Kumar, "AI-Based Agriculture Recommendation System for Farmers," 2023, pp. 91–103, doi: 10.1007/978-981-99-3754-7_7.
- [41] P. Chavula, F. Kayusi, G. Lungu, H. Mambwe, and A. Uwimbabazi, "AI Application in Climate-Smart Agricultural Technologies: A Synthesis Study," *LatIA*, vol. 2, p. 330, Nov. 2024, doi: 10.62486/latia2025330.
- [42] F. P. Eka Putra, I. N. Sudana Degeng, S. Ulfa, and W. Kamdi, "The Evolution of Quality Education: Impacts and Challenges of Using Open Educational Resources (OER) and Open Educational Practices (OEP) in the Conceive - Design - Implement - Operate (CDIO) Framework," *TEM Journal*, pp. 386–395, Feb. 2024, doi: 10.18421/TEM131-40.
- [43] A. Ali, M. Khan, K. Khan, R. Ullah Khan, and A. Aloraini, "Sentiment Analysis of Low-Resource Language Literature Using Data Processing and Deep Learning," *Computers, Materials & Continua*, vol. 79, no. 1, pp. 713–733, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.048712.
- [44] F. P. E. Putra, Moh. Irfan, M. Aziz, and R. N. Saputra, "Wireless Network Design at Pamekasan Regency Public Library," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 1, pp. 144–150, May 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.5876.
- [45] Y. Akkem, S. K. Biswas, and A. Varanasi, "AI-Driven smart farming portal: overcoming language barriers and enhancing agricultural productivity through machine learning," *Engineering Research Express*, vol. 7, no. 2, p. 025288, Jun. 2025, doi: 10.1088/2631-8695/ade19d.
- [46] H. A. Tahir, W. Alayed, and W. U. Hassan, "A Federated Explainable AI Framework for Smart Agriculture: Enhancing Transparency, Efficiency, and Sustainability," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 97567–97584, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3571340.
- [47] F. P. E. Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan Dan Kinerja Jaringan 5G (generasi ke 5) Pada Wilayah Perkotaan," *INFORMATICS FOR EDUCATORS AND PROFESSIONAL : Journal of Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 47, Jul. 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.
- [48] S. Sharma, A. Malik, C. Sharma, I. Batra, M. S. Kaswan, and J. A. Garza-Reyes, "Adoption of industry 4.0 in different sectors: a structural review using natural language processing," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)*, vol. 18, no. 8, pp. 6069–6091, Oct. 2024, doi: 10.1007/s12008-023-01550-y.
- [49] W. Bandara and R. Syed, "The role of a protocol in a systematic literature review," *J. Decis. Syst.*, vol. 33, no. 4, pp. 583–600, Oct. 2024, doi: 10.1080/12460125.2023.2217567.
- [50] F. L. da Silva, B. K. Slodkowski, K. K. A. da Silva, and S. C. Cazella, "A systematic literature review on educational recommender systems for teaching and learning: research trends, limitations and opportunities," *Educ. Inf. Technol. (Dordr.)*, vol. 28, no. 3, pp. 3289–3328, Mar. 2023, doi: 10.1007/s10639-022-11341-9.
- [51] Travis Satnarine, "Systematic Review Methodology: Conducting High-Quality Reviews and Understanding Their Significance in Evidence-Based Practice," *Journal For International Medical Graduates*, vol. 2, no. 1, May 2023, doi: 10.56570/jimsg.v2i1.76.
- [52] L. Alabood, Z. Aminolroaya, D. Yim, O. Addam, and F. Maurer, "A systematic literature review of the Design Critique method," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 153, p. 107081, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.infsof.2022.107081.
- [53] D. Fan, D. Breslin, J. L. Callahan, and M. Iszatt-White, "Advancing literature review methodology through rigour, generativity, scope and transparency," *International Journal of Management Reviews*, vol. 24, no. 2, pp. 171–180, Apr. 2022, doi: 10.1111/ijmr.12291.
- [54] F. P. E. Putra, R. W. Efendi, A. B. Tamam, and W. A. Pramadi, "Trends and Best Practices in API-Based Web Development Using Laravel and React," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 1, pp. 223–233, Jun. 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.5971.
- [55] A. K. Mannarath, "Systematic literature review for an effective research: a structured framework for social science researches," *Qual. Quant.*, vol. 60, no. 2, pp. 4773–4799, Nov. 2025, doi: 10.1007/s11135-025-02458-3.
- [56] J. N. de Alencar Neto, M. K. Scheffer, B. P. Correia, K. G. Franchini, S. P. Felicioni, and M. F. N. De Marchi, "Systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy of ST-segment elevation for acute coronary occlusion," *Int. J. Cardiol.*, vol. 402, p. 131889, May 2024, doi: 10.1016/j.ijcard.2024.131889.
- [57] Z. M. Amin, N. Anwar, M. S. Mohd Shoid, and S. Samuri, "Method for Conducting Systematic Literature Review (SLR) for Cyber Risk Assessment," *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, vol. 7, no. SI10, pp. 255–260, Nov. 2022, doi: 10.21834/ebpj.v7iSI10.4130.
- [58] F. Horgan, N. Kenny, and P. Flynn, "A systematic review of the experiences of autistic young people enrolled in mainstream second-level (post-primary) schools," *Autism*, vol. 27, no. 2, pp. 526–538, Feb. 2023, doi: 10.1177/13623613221105089.
- [59] S. Bedi et al., "Testing and Evaluation of Health Care Applications of Large Language Models," *JAMA*, vol. 333, no. 4, p. 319, Jan. 2025, doi: 10.1001/jama.2024.21700.