

PENGOLAHAN DATA SENSOR IoT DENGAN COMPUTER VISION DAN PRE-TRAINED LLM UNTUK SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PADA PERTANIAN HIDROPONIK

Naufal Hanief Mafaza¹✉, Bana Handaga²

¹¹ Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kec. Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57162, Surakarta, Indonesia

² Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kec. Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57162, Surakarta, Indonesia

✉ naufalha48@gmail.com

Penelitian ini mengembangkan sistem pendukung keputusan berbasis Internet of Things (IoT), Computer Vision, dan model bahasa besar (Large Language Model/LLM) untuk pertanian hidroponik. Sistem memantau pH, TDS, dan suhu melalui sensor yang terhubung via MQTT, serta mengumpulkan data cuaca harian sebagai variabel eksternal. Citra tanaman dianalisis menggunakan YOLOv8 untuk klasifikasi kondisi sehat atau tidak sehat, dan jika terdeteksi tidak sehat, sistem mengirimkan gambar ke API Kindwise untuk diagnosis penyakit. Data disimpan dalam SQLite dan pengetahuan domain dari dokumen PDF dikelola dalam ChromaDB menggunakan Sentence Transformers untuk mendukung RAG (Retrieval-Augmented Generation) melalui model LLM DeepSeek dengan LangChain. Interaksi pengguna dilakukan melalui chatbot WhatsApp berbasis Node.js, memungkinkan respons cerdas berbasis konteks data dan pengetahuan. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini mampu meningkatkan efisiensi pengambilan keputusan dalam budidaya hidroponik secara otomatis dan adaptif.

Kata kunci: *IoT, LLM, Hidroponik, Sistem Pendukung Keputusan, Computer Vision.*



PENDAHULUAN

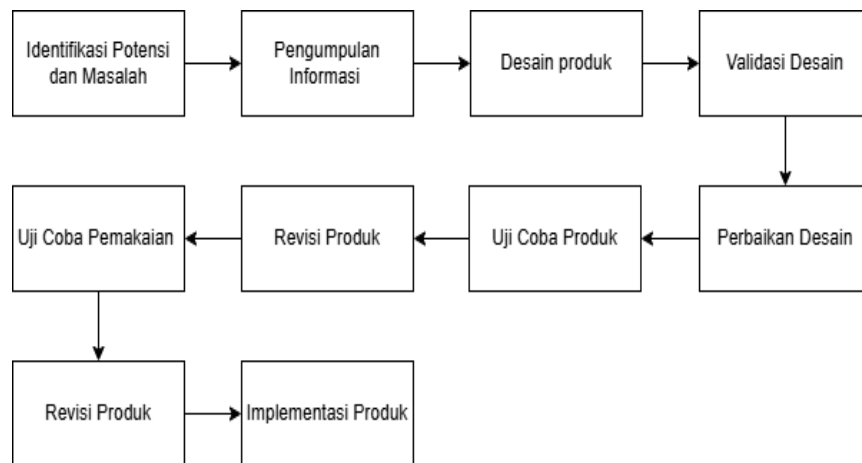
Pertanian merupakan sektor utama masyarakat Indonesia sebagai negara agraris yang berperan penting dalam perekonomian negara [1]. Namun terjadi penurunan minat dalam profesi petani, yang salah satunya disebabkan oleh meningkatnya harga tanah [2]. Di Kabupaten Solok, jumlah petani mengalami penurunan sebesar 12,27%, dari 98.050 jiwa pada tahun 2015 menjadi 86.017 jiwa pada tahun 2017 [1]. Diperlukan adanya pembaharuan sistem pertanian untuk mendukung peningkatan minat profesi petani, terutama generasi muda. Sistem Pertanian hidroponik dapat dilakukan pada lahan atau ruang yang terbatas menggunakan media tanam selain tanah [3].

Sistem pertanian digital berbasis kecerdasan buatan merupakan sistem yang membantu petani dengan menawarkan fungsionalitas prediktif berkinerja tinggi, namun masih sedikit petani yang menerapkannya karena kurangnya bukti kuantitatif nyata tentang keuntungannya [5]. Sistem Pendukung Keputusan (SPK) adalah sistem berbasis komputer yang interaktif dalam membantu pengambil keputusan dengan memanfaatkan data dan model untuk menyelesaikan masalah-masalah yang tak terstruktur [7]. Dengan Large Language Models (LLM) seperti LangChain dan LLAMA dapat mengolah data menjadi informasi yang interaktif dan dinamis. Penelitian ini bertujuan untuk mengenalkan bagaimana memanfaatkan teknologi kecerdasan buatan yang semakin pesat perkembangannya baru-baru ini. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini diharapkan tidak hanya berkontribusi pada pengembangan pertanian berbasis teknologi, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai sarana edukasi mengenai penerapan kecerdasan buatan dalam bidang pertanian.

METODE

Metode Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development*) adalah pendekatan yang digunakan untuk menciptakan produk tertentu sekaligus menguji efektivitasnya. Untuk menghasilkan produk tersebut, penelitian dilakukan untuk menganalisis kebutuhan, dan untuk memastikan produk berfungsi dengan baik di masyarakat, diperlukan juga pengujian efektivitas [8]. Gambar 1 menunjukkan alur penelitian dengan metode *research and development*.





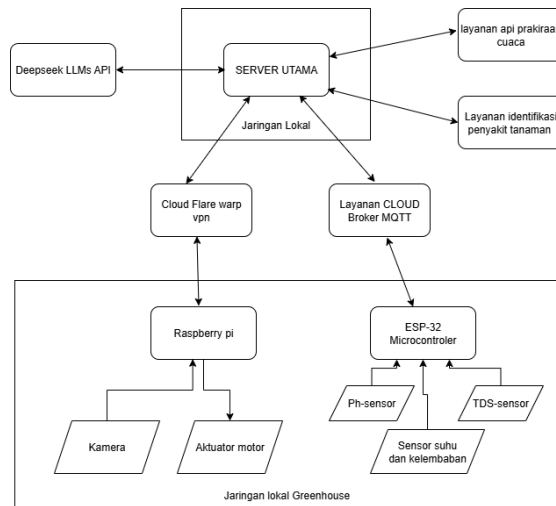
Gambar 1. Metode *Research and Development*

Hasil dari observasi dan wawancara, pengelola kebun hidroponik di P4S “Mubarak Farm” merupakan kebun dengan sayuran pakcoy (*Brassica rapa subsp. chinensis*) sebagai budidaya utama. Namun, kebun tersebut belum memanfaatkan teknologi informasi dan otomatisasi di pertanian karena keterbatasan alat dan pengetahuan, petani cenderung menginginkan informasi instan yang mudah dikonsumsi. Oleh karena itu, sistem ini dirancang agar bisa mudah diakses oleh pengguna dan dilakukan pengambilan data secara otomatis.

Penelitian berjudul “Revolutionizing Farming: GAN-Enhanced Imaging, CNN Disease Detection, and LLM Farmer Assistant” mengkombinasikan teknologi *Computer vision* dengan klasifikasi pendeteksi penyakit dengan model *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Large Language Models* (LLM). Kombinasi ini mampu memberikan dampak positif bagi sektor pertanian serta masyarakat. Dengan akurasi tinggi sebesar 0,997 dan loss rendah 0,0167, model ini menunjukkan potensi teknis yang kuat [8]. Arsitektur pemanfaatan teknologi *pre-trained* llm dirancang untuk monitoring kondisi lingkungan dengan iot menggunakan *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) [9].

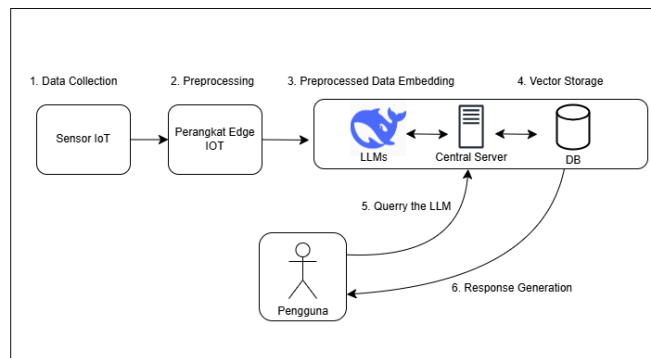
Infrastruktur sistem dirancang untuk mengintegrasikan berbagai komponen dalam mendukung sistem pertanian hidroponik berbasis IoT dan RAG. Gambar 2. menunjukkan rancangan perangkat Komputasi, IoT, dan Jaringan komunikasi.





Gambar 2. Rancangan Infrastruktur Sistem

Retrieval-Augmented Generation (RAG) merupakan arsitektur model yang menggabungkan kemampuan *natural language generation* (NLG) dengan mekanisme pencarian informasi eksternal untuk memperkaya basis pengetahuan model. RAG dapat mengurangi masalah seperti *hallucination*, yaitu kondisi di mana model menghasilkan informasi yang terdengar masuk akal namun sebenarnya tidak akurat. Gambar 3 Menunjukkan komunikasi RAG dengan pengguna dan perangkat IoT

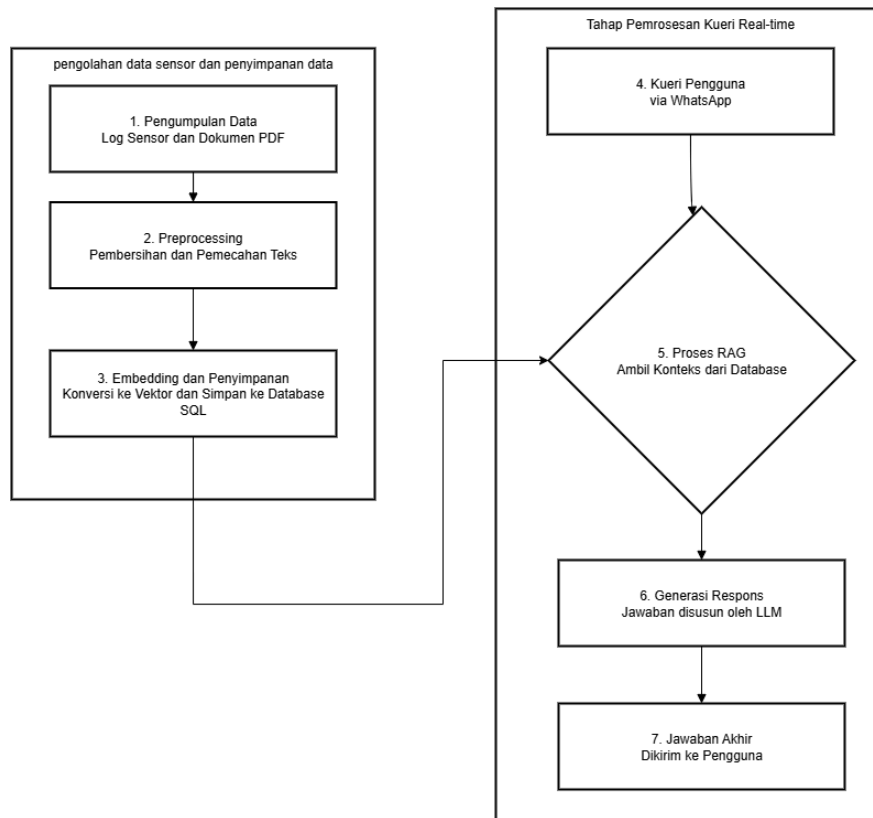


Gambar 3. Arsitektur RAG dan IoT

Setelah melalui tahap pengembangan dan evaluasi, diperoleh pendekatan yang paling efektif dalam menghasilkan respons yang akurat serta berbasis data terkini, yaitu dengan menerapkan model *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) secara *hybrid*. Arsitektur ini mengintegrasikan dua jenis penyimpanan data yang berbeda: database SQL digunakan untuk menyimpan dan mengelola data terstruktur seperti log sensor dan informasi cuaca, serta database vektor dimanfaatkan untuk menyimpan dan



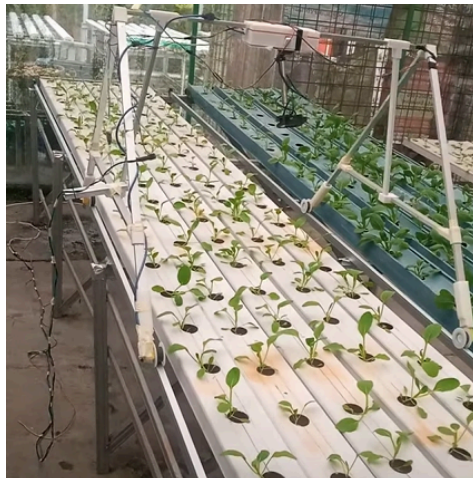
melakukan pencarian semantik terhadap informasi tidak terstruktur dari dokumen panduan dalam format PDF. Gambar 4 Menunjukkan alur kerja metode ini.



Gambar 4. Alur kerja proses *embedding*

Platform ini dirancang untuk mengotomatisasi proses pemantauan kondisi tanaman dengan memanfaatkan Raspberry Pi 3 sebagai minikomputer utama serta kamera webcam beresolusi tinggi guna memperoleh kualitas citra yang optimal. Raspberry Pi terhubung dengan empat motor DC 5V yang berperan sebagai aktuator untuk menggerakkan kamera menuju titik-titik pemantauan tanaman. Untuk memastikan akurasi pergerakan, sistem dilengkapi dengan sensor encoder berbasis *optical wheel* sebagai umpan balik posisi. Robot akan bergerak untuk mengambil citra secara berurutan otomatis sesuai jadwal pada pukul 09.00 dan 16.00. Selanjutnya, gambar dianalisis menggunakan model YOLOv8 untuk mengidentifikasi kondisi tanaman, dan jika ditemukan tanaman dalam kondisi tidak sehat, data tersebut diteruskan ke layanan Kindwise Crop Health Assessment untuk klasifikasi lebih lanjut. YOLOv8 digunakan sebagai filter awal karena adanya keterbatasan jumlah token API pada layanan Kindwise. Gambar 5 menunjukkan robot saat beroperasi di lapangan.





Gambar 5. *Linear robotic platform*

Dalam proses identifikasi penyakit tanaman, sistem *linear robotic platform* mengirimkan citra tanaman ke server utama. Seluruh hasil identifikasi, termasuk gambar dan informasi penyakit, disimpan dalam database SQL dan diorganisasi berdasarkan titik lokasi tanaman. Gambar 6 menunjukkan bagaimana proses identifikasi penyakit tanaman bekerja.



Gambar 6. Proses identifikasi penyakit tanaman bekerja

Dalam pemantauan kualitas air, sistem menggunakan sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) dan sensor pH, yang dilakukan secara bergantian untuk menjaga akurasi data. Untuk memperoleh hasil yang lebih stabil, diterapkan metode rata-rata (*mean averaging*). Data hasil pengukuran kemudian dikirim ke server utama menggunakan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) dan disimpan ke dalam database SQLite untuk pemantauan dan analisis lebih lanjut. Metode kalibrasi sensor dilakukan melalui pesan WhatsApp untuk menyederhanakan komponen. Ditambahkan juga layar oled untuk menampilkan data hasil pengukuran. Gambar 7 kiri pengukuran ph air aktif dan kanan pengukuran TDS air dibandingkan dengan alat ukur yang telah terkalibrasi.





Gambar 7. Sensor kualitas air

HASIL

Pengujian sistem dilakukan dengan pendekatan Black-box Testing, yang berfokus pada pengujian keluaran sistem berdasarkan input tertentu tanpa memperhatikan struktur internal atau kode program. Berikut tabel hasil dari pengujian black box testing.

- a. Uji Fungsionalitas berikut hasil pengujian black box, pengujian tersebut ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Fungsionalitas

Fitur	Input / Trigger	Expected Output	Status
pembuatan laporan harian setiap Jam 09.00 dan 16.00	schedule r_service (penjadwalan)	robot mengambil gambar semua tanaman untuk dianalisa, sistem membuat kesimpulan untuk dilaporkan ke pengguna	Benar
YOLO8 Deteksi Tanaman	Gambar tanaman	Sistem memberikan Analisa kondisi tanaman	Benar
Kirim ke Kindwise API	Mengirimkan gambar tanaman tidak sehat.	mendapatkan klasifikasi penyakit untuk mendapatkan data klasifikasi	Benar
Upload PDF	File PDF	Tersimpan di vector DB & bisa ditanya	Benar
Chatbot tanya sensor	“Berapa pH hari ini?”	Jawaban sesuai MQTT sensor	Benar



Chatbot tanya pengetahuan	“Apa itu hama thrips?”	Jawaban dari PDF yang diupload	Benar
---------------------------	------------------------	--------------------------------	-------

b. Pengujian respon pengetahuan bersumber dari pdf yang terunggah melalui WhatsApp ditunjukkan di tabel 2.

Tabel 2. Pengujian fitur pengetahuan tambahan

Perintah pengguna	Respon
Mengirim file pdf	Terima kasih! Dokumen berhasil diproses. Berikut ringkasan singkatnya:

Penelitian ini menganalisis kualitas sayuran KASEPAK (kangkung, selada, dan pakcoy) yang dibudidayakan dengan sistem akuaponik dan hidroponik. Akuaponik dinilai sebagai alternatif yang efektif karena menggabungkan budidaya tanaman tanpa tanah dengan pemeliharaan ikan, di mana nutrisi dari limbah ikan dimanfaatkan untuk pertumbuhan sayuran.	
bagaimana cara menanam pakcoy akuaponik?	Berikut adalah *panduan lengkap menanam Pakcoy secara akuaponik* dengan bahasa yang mudah dipahami:

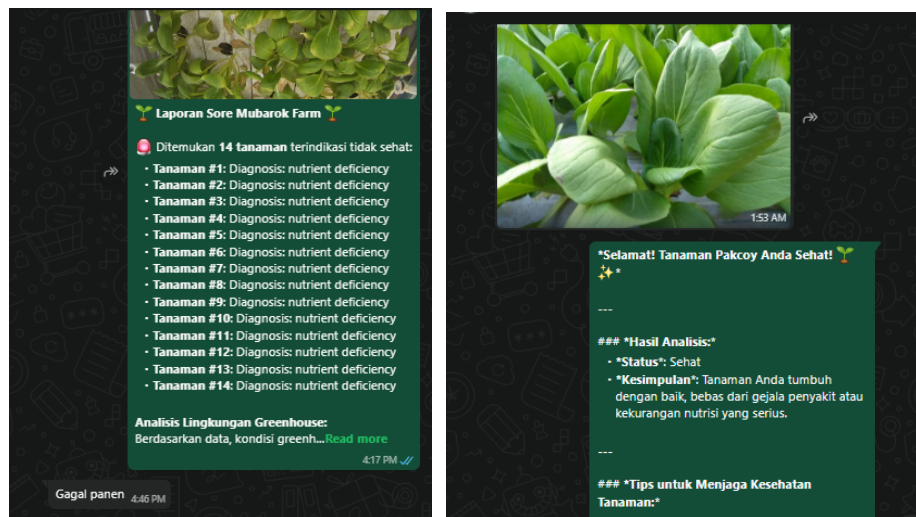
c. Tabel 3 menunjukkan bagaimana pengujian untuk melihat akurasi sistem mengambil data dari database SQL saat dibutuhkan.

Tabel 3. Pengujian fitur pengetahuan tambahan

Perintah pengguna	Respon
berapa nilai ph terakhir?	Nilai pH terakhir yang tercatat adalah *11.76* pada tanggal *2025-07-03 17:34:40*.
berapa tds terakhir?	Nilai TDS terakhir yang tercatat adalah *1280.44* pada tanggal *2025-07-04 15:34:46*.
berapa nilai rata rata kelembapan	Nilai rata-rata kelembapan pagi tadi (antara pukul 08:00 dan 12:00) adalah sekitar *69.11%*.



Evaluasi awal sistem dilakukan oleh pemilik kebun. Berdasarkan tanggapan yang diberikan, pengguna merasa bahwa sistem sangat mudah digunakan, informasi yang diberikan oleh chat bot WhatsApp mudah dipahami, dan sistem sangat membantu dalam memahami kondisi tanaman. Selain itu, responden merasa sistem ini menghemat waktu dalam pemantauan tanaman dan membantu menjawab pertanyaan responden terkait tanaman. Responden memberikan saran untuk merapikan tampilan kotak informasi, serta harapan agar ke depan sistem dapat menggunakan energi terbarukan seperti cahaya matahari (solar panel). Gambar 8 Menunjukkan interaksi pengguna menggunakan media gambar.



Gambar 8. Interaksi sistem dengan pengguna menggunakan bahasa tidak baku

PEMBAHASAN

Sistem ini dirancang untuk memberikan kemudahan, efektivitas, dan interaktivitas bagi pengguna. sistem ini berjalan dengan lebih fleksibel dan mudah digunakan, terutama karena memanfaatkan interaksi berbasis teks yang lebih ringan dan intuitif bagi pengguna non-teknis.

Dalam proses pengembangan, digunakan metode *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) untuk menyajikan data yang berada di luar dataset yang telah dipelajari oleh model LLM. Metode ini memungkinkan sistem untuk mengambil informasi dari sumber eksternal seperti database atau dokumen referensi, kemudian menggabungkannya dengan kemampuan generatif LLM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pendekatan ini memberikan respons yang cepat dan memiliki tingkat akurasi tinggi terhadap permintaan pengguna.

Sistem ini dibangun menggunakan Flask yang berfungsi sebagai *endpoint* API untuk mengatur komunikasi antar komponen sistem. LangChain digunakan sebagai



kerangka kerja utama dalam membangun AI Agent yang mampu berinteraksi dengan database SQL secara kontekstual. Untuk integrasi dengan *Large Language Model* (LLM), digunakan library dari OpenAI yang terhubung dengan model DeepSeek. Selain itu, ChromaDB dimanfaatkan sebagai vector store untuk menyimpan hasil embedding dari dokumen atau data eksternal, menggunakan SentenceTransformer sebagai model embedding untuk mendukung proses *semantic search* yang relevan dan akurat.

Proses penambahan pengetahuan berbasis file PDF dilakukan dengan mengonversi file PDF menjadi teks, kemudian memecah teks tersebut menjadi potongan kecil (*chunking*) agar lebih mudah diproses oleh sistem *semantic search*. Kemudian dilakukan *embedding* menggunakan model SentenceTransformer dan disimpan dalam ChromaDB sebagai representasi vektor. Ketika pengguna mengirimkan *prompt*, LangChain akan melakukan pencocokan kesamaan semantik dengan membandingkan vektor *embedding* dari *prompt* tersebut terhadap koleksi vektor yang tersimpan di ChromaDB. Proses ini memungkinkan sistem untuk menemukan konteks atau informasi yang relevan sebelum diteruskan ke LLM untuk menghasilkan respons.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pendukung keputusan pada pertanian hidroponik dengan mengintegrasikan pengolahan data sensor IoT, *computer vision*, dan model LLM (*Large Language Model*). Sistem ini mampu melakukan pemantauan otomatis terhadap pH, TDS, dan kondisi visual tanaman menggunakan kamera dan model YOLO v8. Data yang diperoleh dikirim secara *real-time* menggunakan protokol MQTT, dianalisis, dan dikontekstualisasikan melalui LLM agar dapat disampaikan kepada pengguna dalam bentuk percakapan alami. Dengan adanya integrasi ini, pengguna dapat berinteraksi dengan sistem tanpa perlu memahami bahasa pemrograman atau antarmuka teknis. Sistem ini juga menunjukkan kemampuan adaptif dan hemat biaya, yang membuatnya layak untuk dikembangkan lebih lanjut dalam skala produksi pertanian hidroponik modern. Diharapkan pengembangan dapat difokuskan pada peningkatan akurasi klasifikasi tanaman, optimasi energi perangkat, serta integrasi dengan model prediktif cuaca atau pertumbuhan tanaman untuk hasil yang lebih presisi.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sophan, A. Agustar, and E. Erwin, "Faktor-faktor yang mempengaruhi minat generasi muda terhadap sektor pertanian sebagai lapangan pekerjaan di wilayah pedesaan kabupaten Solok," *JRTI (Jurnal Riset Tindakan Indonesia)*, vol. 7, no. 3, p. 326, Jun. 2022, doi: 10.29210/30031858000.
- [2] R. Saleh, I. Oktafiani, and M. Y. Sitohang, "Sulitnya Regenerasi Petani pada Kelompok Generasi Muda," *Jurnal Studi Pemuda*, vol. 10, no. 1, p. 1, Jul. 2021, doi: 10.22146/studipemudaugm.62533.
- [3] I. S. Roidah, "PEMANFAATAN LAHAN DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM HIDROPONIK," *Jurnal BONOROWO*, vol. 1, no. 2, pp. 43–49, 0 2015.
- [4] I. S. Roidah, "PEMANFAATAN LAHAN DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM HIDROPONIK," *Jurnal Universitas Tulungagung BONOROWO*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2014.
- [5] I. Tsoumas et al., "Evaluating Digital Tools for Sustainable Agriculture using Causal Inference," *arXiv.org*. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2211.03195>
- [6] A. B. Burhan, "Pemanfaatan Teknologi Informasi dan Komunikasi untuk Pengembangan Ekonomi Pertanian dan Pengentasan Kemiskinan," *Jurnal Komunikasi Pembangunan*, vol. 16, no. 2, pp. 233–247, Jun. 2018, doi: 10.46937/16201826338.
- [7] H. Pratiwi, "PENJELASAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN," May 2020.
- [8] C. Dhavale, T. Pawar, A. Singh, S. Pole, and K. Sabat, "'Revolutionizing Farming: GAN-Enhanced imaging, CNN disease detection, and LLM farmer assistant,'" in 2024 2nd International Conference on Computer, Communication and Control (IC4), IEEE, Feb. 2024, pp. 1–6. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ic457434.2024.10486501>
- [9] Sugiyono, *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan r&d*, 19th ed. Bandung: Alfabeta, 2013, pp. 297–313.
- [10] S. Oh, S. Kum, and J. Moon, "Real-Time environment monitoring and response through iot and retrieval-augmented generation," in 2024 15th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), IEEE, Oct. 2024, pp. 1658–1659. Accessed: Apr. 13, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ictc62082.2024.10827595>



- [11] R. B. Sinaga, N. M. Ginting, I. Budiman, and A. Lase, "Aplikasi Larutan Hara dan Zat Pengatur Tumbuh terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy dengan Sistem Hidroponik," *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, vol. 6, no. 02, p. 8, Dec. 2024, doi: 10.53863/kst.v6i02.1430.
- [12] H. Naveed et al., "A comprehensive overview of large language models," arXiv.org. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2307.06435>
- [13] S. Oh, S. Kum, and J. Moon, "Real-Time environment monitoring and response through iot and retrieval-augmented generation," in 2024 15th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), IEEE, Oct. 2024, pp. 1658–1659. Accessed: Apr. 15, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ictc62082.2024.10827595>

