

Sosialisasi Pemanfaatan IoT Berbasis Machine Learning pada Deteksi Penyakit Tanaman Sawit untuk Pertanian Berkelanjutan di Dusun I Bukit Gantung Desa Sumber Mulyo

Hartono¹⁾ | M. Khahfi Zuhanda²⁾ | Sayuti Rahman³⁾ | Retna Astuti Kuswardani⁴⁾ | Suswati⁵⁾ | Muhammad Zen⁶⁾ | Erianto Ongko⁷⁾ | Lili Suryati⁸⁾

^{1,2,3)} Program Studi Magister Informatika, Pascasarjana, Universitas Medan Area, Medan, Indonesia

^{4,5)} Program Studi Doktor Ilmu Pertanian, Pascasarjana, Universitas Medan Area, Medan, Indonesia

⁶⁾ Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

⁷⁾ Program Studi Ilmu Komputer, Institut Modern Arsitektur dan Teknologi, Medan, Indonesia

⁸⁾ Program Studi Manajemen, Fakultas Sosial dan Humaniora, Universitas IBBI Medan, Indonesia

hartono@staff.uma.ac.id | khahfi@staff.uma.ac.id | sayutirahman@staff.uma.ac.id |

retnaastuti@uma.ac.id | retnaastuti@uma.ac.id | suswati@staff.uma.ac.id |

muhammadzen@dosen.pancabudi.ac.id | suswati@staff.uma.ac.id | eriantoongko@imat.ac.id |

suryatilili83@gmail.com

Abstrak: Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini dilaksanakan untuk meningkatkan literasi digital petani sawit di Dusun I Bukit Gantung, Desa Sumber Mulyo, melalui sosialisasi pemanfaatan Internet of Things (IoT) berbasis machine learning untuk smart agriculture dalam deteksi dini penyakit tanaman sawit. Pelatihan dirancang dalam empat tahapan, yaitu persiapan perangkat, penyampaian materi konseptual, praktik instalasi IoT, penerapan machine learning, serta pendampingan lapangan. Evaluasi dilakukan menggunakan pre-test dan post-test untuk mengukur perubahan kompetensi peserta terhadap konsep IoT, machine learning, instalasi sensor, dan interpretasi hasil deteksi. Berdasarkan analisis, evaluasi hasil pelatihan menunjukkan peningkatan sebesar 47%, dengan kenaikan tertinggi pada keterampilan instalasi sensor dan membaca hasil aplikasi (+54%). Penerapan teknologi ini membantu petani melakukan deteksi penyakit lebih cepat dan akurat sehingga penggunaan pestisida dapat ditekan melalui penyemprotan selektif. Selain menghasilkan peningkatan kompetensi teknis, kegiatan ini meningkatkan keberterimaan teknologi di kalangan petani, terbukti dari 14 dari 15 kelompok yang secara konsisten menggunakan perangkat IoT pascapelatihan. Secara sosial, program ini mendorong perubahan perilaku kolektif menuju praktik budidaya yang lebih aman, efisien, dan berbasis data. Implementasi ini menunjukkan bahwa integrasi IoT-machine learning mampu memperkuat keberlanjutan pertanian sawit sekaligus meningkatkan kualitas pengelolaan kebun masyarakat, serta memberikan dasar penting bagi pengembangan sistem monitoring kesehatan tanaman yang lebih komprehensif dan adaptif pada skala komunitas.

Kata Kunci: IoT; Machine Learning; Smart Agriculture; Petani Sawit; Literasi Digital

Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis di Indonesia yang berperan penting dalam perekonomian nasional. Indonesia dikenal sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia, dengan kontribusi signifikan terhadap devisa negara serta peningkatan kesejahteraan masyarakat pedesaan (Hani et al., 2025). Namun, produktivitas tanaman sawit sangat rentan terhadap serangan penyakit dan hama (S. R. Sagala et al., 2024). Hal ini dapat menurunkan hasil panen secara drastis

apabila tidak terdeteksi sejak dini (Alsabah et al., 2021). Kegiatan ini tidak hanya difokuskan pada pelatihan penerapan IoT dan machine learning, tetapi merupakan model penerapan teknologi presisi dalam praktik pertanian berkelanjutan di tingkat komunitas. Pendekatan ini menjadi prototype of digital empowerment yang mengintegrasikan peningkatan literasi teknologi petani dengan penguatan sistem pertanian cerdas berbasis data (Sharma & Shivandu, 2024)

Perkembangan teknologi digital telah membuka peluang penerapan Internet of Things (IoT) dalam sektor pertanian (Hajjaji et al., 2023). IoT memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan dan tanaman secara real-time melalui sensor dan perangkat pintar yang terhubung ke jaringan (Kipli et al., 2023). Pemanfaatan teknologi ini membantu petani melakukan deteksi penyakit secara lebih cepat, akurat, dan efisien, sehingga mendorong penerapan pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan (Shahab et al., 2024). Secara global, pendekatan ini sejalan dengan arah pengembangan smart agriculture dan precision farming, yang menekankan efisiensi sumber daya dan keberlanjutan ekosistem pertanian (Diao et al., 2025). Integrasi IoT dan machine learning di Dusun I Bukit Gantung menjadi contoh penerapan nyata dari transformasi digital di sektor pertanian yang berakar pada isu lokal—penyakit sawit, penggunaan pestisida, dan biaya produksi—namun berorientasi pada solusi global (Mohamad Zaki et al., 2025).

Dusun I Bukit Gantung, Desa Sumber Mulyo, memiliki perkebunan kelapa sawit dengan luas sekitar 50 hektar yang menjadi sumber mata pencaharian utama masyarakat setempat. Berdasarkan hasil wawancara dengan Kepala Dusun, diketahui bahwa selama ini petani melakukan penyemprotan pestisida secara besar-besaran tanpa membedakan jenis penyakit. Setiap musim tanam, rata-rata digunakan 2 liter pestisida per hektar, sehingga untuk keseluruhan lahan 50 hektar mencapai sekitar 100 liter pestisida. Praktik ini menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan karena pestisida diberikan serentak ke semua tanaman meskipun tidak semua mengalami penyakit yang sama. Residu pestisida dapat mencemari tanah dan air, serta berpotensi membahayakan kesehatan masyarakat (Dhaifulloh et al., 2024).



Gambar 1. Tim PkM Mengecek Pemberian Pestisida Terhadap Tanaman Sawit

Permasalahan ini terjadi karena keterbatasan pengetahuan petani dalam mendeteksi penyakit sawit secara tepat (Soedradjat et al., 2024). Padahal, penelitian menunjukkan bahwa penyakit sawit dapat diidentifikasi sejak dini melalui gejala pada daun (Savaş, 2024). Menurut (Sarkar et al., 2023), analisis citra daun sawit yang diperoleh dari IoT menggunakan machine learning terbukti efektif untuk mendeteksi gejala penyakit, seperti bercak, perubahan warna, dan nekrosis, sebelum penyakit menyebar lebih luas. Dengan dukungan teknologi IoT berbasis Machine Learning dan sistem pengolahan citra, petani dapat melakukan identifikasi penyakit secara presisi sehingga penyemprotan pestisida dapat dilakukan secara selektif dan ramah lingkungan (Rajak et al., 2023).



Gambar 2. Tim PkM Melakukan Instalasi IoT

Melalui kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini, tim pelaksana berupaya memberikan solusi berupa sosialisasi dan edukasi tentang pemanfaatan IoT berbasis machine learning dalam deteksi penyakit tanaman sawit. Kegiatan ini diharapkan mampu meningkatkan literasi teknologi pertanian di kalangan petani, mengurangi ketergantungan pada penggunaan pestisida berlebihan, serta memperkuat kesadaran akan pentingnya pertanian berkelanjutan. Dengan penerapan teknologi ini, petani tidak hanya dapat meningkatkan produktivitas, tetapi juga menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian desa dan kesejahteraan masyarakat setempat.

Metode Pelaksanaan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini melibatkan 15 kelompok petani sawit dan dilaksanakan di Dusun I Bukit Gantung, Desa Sumber Mulyo, dengan periode pelaksanaan 19 Juli 2025 sampai 19 September 2025. Seluruh rangkaian kegiatan dirancang dalam empat tahapan utama, yaitu preparatory stage, training implementation, mentoring, dan evaluation, yang bertujuan memastikan proses transfer teknologi IoT-machine learning berlangsung terstruktur, terukur, dan dapat direplikasi.

1. Preparation Stage

Tahap ini mencakup persiapan perangkat teknis, materi pelatihan, serta koordinasi dengan mitra di Desa Sumber Mulyo. Sistem IoT yang digunakan terdiri atas:

- a) Sensor DHT22 untuk suhu dan kelembaban udara
- b) Sensor YL-69 untuk kelembaban tanah
- c) Kamera ESP32-CAM untuk akuisisi citra daun
- d) NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali perangkat dan pengirim data

Seluruh perangkat dikonfigurasi untuk mengirimkan data melalui Wi-Fi ke server lokal yang terhubung dengan aplikasi deteksi penyakit sawit berbasis MobileNetV2. Mitra menyediakan lokasi kegiatan, peserta, lahan percontohan, dan dukungan logistik selama pelaksanaan.

Preparation Stage ini berlangsung pada minggu pertama. Mitra berperan dalam penyediaan lokasi, peserta, dan sarana penunjang.



Gambar 3. Tim PkM Melaksanakan Kegiatan PkM

2. Training Implementation

Kegiatan ini berlangsung pada minggu ke-2 hingga minggu ke-6. Mitra menyediakan lahan percontohan dan listrik/solar cell untuk daya sensor dan data lokal (contoh foto daun sawit sehat dan sakit).

Tahap pelatihan disusun untuk memberikan pemahaman konseptual sekaligus keterampilan teknis kepada 15 kelompok petani melalui tiga komponen inti:

a. Pengenalan Konseptual

Materi yang diberikan meliputi:

- 1) Konsep pertanian berkelanjutan,
- 2) Prinsip kerja Internet of Things dalam pemantauan kesehatan tanaman,
- 3) Fungsi sensor lingkungan (suhu, kelembaban tanah, kelembaban udara),
- 4) Konsep dasar deteksi citra menggunakan machine learning (MobileNetV2).

b. Instalasi Sistem IoT

Peserta mempraktikkan:

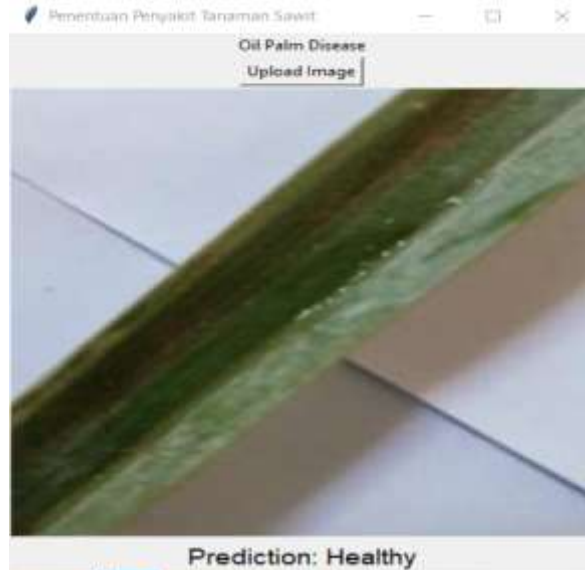
- 1) Pemasangan sensor pada beberapa titik representatif di kebun sawit,
- 2) Konfigurasi NodeMCU untuk transmisi data,
- 3) Pengambilan citra daun sawit menggunakan ESP32-CAM,
- 4) Penyambungan perangkat IoT ke smartphone/laptop melalui jaringan lokal.

c. Penerapan Machine Learning

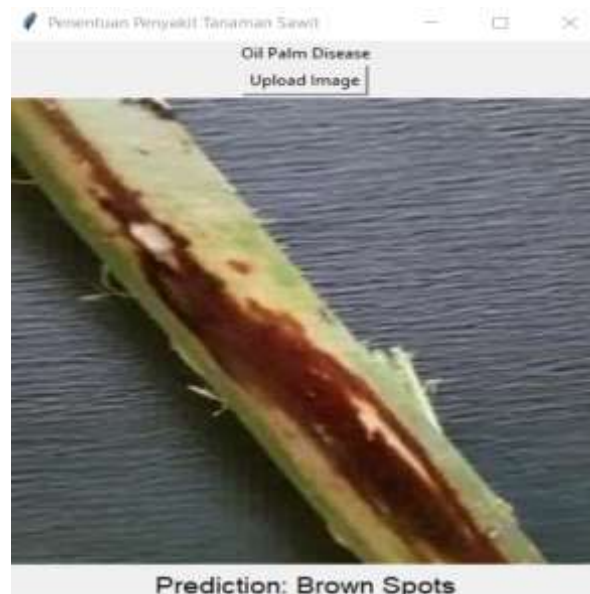
Peserta dilatih menggunakan aplikasi deteksi penyakit sawit untuk:

- 1) Memproses citra daun sawit,
- 2) Menjalankan model machine learning untuk mengidentifikasi kategori daun (sehat, brown spot, white scale),
- 3) Membaca hasil prediksi melalui dashboard berbasis Streamlit.

Adapun tampilan dari aplikasi machine learning untuk pengenalan penyakit tanaman berdasarkan citra daun sawit dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan 6.



Gambar 4. Daun Tanaman Sawit yang Sehat



Gambar 5. Daun Tanaman Sawit yang Terkena Brown Spot



Gambar 6. Daun Tanaman Sawit yang Terkena White Scale

4. Mentoring

Pendampingan dilakukan baik secara langsung maupun melalui grup WhatsApp mitra.

- a) Pendampingan langsung berupa kunjungan tim PkM ke kebun sawit untuk memastikan perangkat IoT dan sistem deteksi berjalan dengan baik.
- b) Pendampingan daring berupa konsultasi dan berbagi video tutorial penggunaan aplikasi serta troubleshooting sederhana.
- c) Pendampingan dilakukan berkelanjutan sampai peserta terbiasa menggunakan sistem.

5. Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk menilai keberhasilan kegiatan dengan dua indikator utama:

- a) Partisipasi dan keaktifan peserta selama sosialisasi dan praktik.
- b) Penerapan teknologi IoT berbasis machine learning oleh peserta dalam memantau kondisi tanaman sawit di lahan mereka.

Hasil dan Pembahasan

Pelaksanaan kegiatan ini diawali dengan pre-test yang bertujuan untuk mengukur pemahaman awal peserta mengenai konsep Internet of Things (IoT), machine learning, serta deteksi penyakit tanaman sawit. Hasil pre-test memberikan gambaran sejauh mana pengetahuan dasar yang dimiliki peserta sebelum menerima materi sosialisasi dan praktik.

Instrumen yang digunakan dalam pengukuran ini berupa kombinasi soal pilihan ganda dan uraian singkat dengan total 10 soal. Komposisi soal terdiri dari 5 butir mengenai pengetahuan umum terkait IoT, machine learning, dan penyakit sawit; 3 butir mengenai pemahaman teknis yang mencakup instalasi sensor, pengambilan data, dan interpretasi hasil; serta 2 butir berupa analisis kasus yang menguji kemampuan peserta dalam membaca hasil deteksi penyakit sawit menggunakan aplikasi yang diperkenalkan selama kegiatan.

Dengan demikian, pelaksanaan pre-test dan post-test tidak hanya menilai pemahaman teoretis peserta, tetapi juga menekankan pada keterampilan teknis serta kemampuan analitis yang mendukung penerapan teknologi IoT berbasis machine learning dalam konteks pertanian sawit berkelanjutan.

Tabel 1. Hasil Pre-Test dan Post-Test

No	Indikator	Pre-Test (%)	Post-Test (%)	Peningkatan	SD Pre	SD Post	Effect Size (d)	Interpretasi
1	Pemahaman konsep IoT	42	85	+43	11.4	9.7	4.30	Pemahaman naik signifikan karena demonstrasi perangkat IoT.
2	Pemahaman konsep ML	35	80	+45	11.4	9.7	3.95	Visualisasi model ML memudahkan pemahaman konsep.
3	Pengetahuan penyakit sawit	50	88	+38	11.4	9.7	3.33	Observasi fisik dan diagnosis digital memperdalam pemahaman.
4	Instalasi & penggunaan sensor	28	82	+54	11.4	9.7	4.74	Hands-on training meningkatkan penguasaan teknis secara signifikan.
5	Membaca hasil deteksi aplikasi	30	84	+54	11.4	9.7	4.74	Aplikasi real-time membantu peserta memahami hasil prediksi.
	Rata-rata Total	37	84	+47	11.4	9.7	4.88	Peningkatan sangat kuat; kompetensi peserta lebih merata.

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan adanya peningkatan kompetensi yang sangat signifikan pada seluruh indikator pembelajaran setelah peserta mengikuti rangkaian kegiatan pelatihan IoT dan machine learning untuk deteksi penyakit sawit. Pada aspek pemahaman konsep dasar, peserta mengalami peningkatan yang kuat: pemahaman konsep IoT naik dari 42% menjadi 85% (+43%), sementara pemahaman konsep machine learning meningkat dari 35% menjadi 80% (+45%). Peningkatan ini

terjadi karena pendekatan pembelajaran yang digunakan menggabungkan penjelasan konseptual dengan demonstrasi langsung, sehingga konsep yang awalnya abstrak menjadi mudah dipahami.

Materi IoT dan machine learning yang sebelumnya belum pernah dikenalkan kepada peserta menjadi lebih mudah diterima karena disajikan melalui visualisasi perangkat, contoh kasus nyata, serta aplikasi yang menampilkan hasil deteksi secara real-time. Indikator pengetahuan penyakit sawit meningkat dari 50% menjadi 88% (+38%), yang menandakan bahwa integrasi antara pengetahuan agronomi dan pendekatan digital memberikan pemahaman yang lebih mendalam terhadap gejala penyakit; peserta tidak hanya melihat contoh daun sakit secara fisik, tetapi juga memeriksa hasil diagnosis digital dari model machine learning.

Peningkatan tertinggi terlihat pada dua indikator keterampilan teknis, yaitu instalasi sensor dan membaca hasil deteksi aplikasi, masing-masing naik sebesar +54%. Peningkatan besar ini terjadi karena seluruh peserta terlibat dalam praktik langsung pemasangan sensor, konfigurasi perangkat, dan pengoperasian aplikasi, sehingga proses belajar berlangsung melalui pengalaman nyata (hands-on training) yang terbukti efektif bagi kelompok sasaran yang terbiasa bekerja secara praktis. Pendampingan lanjutan dan sesi troubleshooting turut memperkuat kepercayaan diri peserta, sehingga mereka semakin mahir mengoperasikan perangkat IoT yang diberikan.

Secara keseluruhan, nilai rata-rata total meningkat dari 37% menjadi 84% (+47%), dengan Standard Deviation (SD) pre-test sebesar 11.4 dan SD post-test sebesar 9.7. Penurunan SD ini menunjukkan bahwa kemampuan peserta menjadi lebih merata setelah pelatihan, menandakan konsistensi peningkatan antar kelompok. Selain itu, hasil analisis menghasilkan effect size Cohen's d sebesar 4.88, yang termasuk kategori very large effect. Nilai effect size yang sangat tinggi ini menegaskan bahwa peningkatan kompetensi benar-benar disebabkan oleh efektivitas intervensi pelatihan, bukan oleh variasi acak.

Dengan demikian, hasil pelatihan menunjukkan bahwa program PkM ini tidak hanya meningkatkan pemahaman teoretis, tetapi juga kompetensi teknis secara substansial, serta berhasil menumbuhkan literasi teknologi yang kuat pada petani. Temuan ini menegaskan bahwa program pelatihan IoT dan machine learning memiliki potensi besar dalam mendorong adopsi sistem pertanian cerdas di tingkat masyarakat, karena peserta tidak hanya memahami teknologi tersebut, tetapi juga mampu menerapkannya secara langsung dalam konteks pengelolaan kebun sawit secara lebih presisi dan berkelanjutan.

Jika dibandingkan dengan kegiatan PkM sejenis maka peningkatan pemahaman yang diperoleh lebih tinggi, seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan dengan Kegiatan PkM Sejenis

No	Kegiatan PkM	Persentase Peningkatan
1	Internet of Things (IoT) untuk Sistem Hidroponik(A. Sagala et al., 2025)	19%
2	Sosialisasi Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam Kehidupan Sehari-hari(Sobirin et al., 2024)	33.7%
3	Peningkatan Kemampuan Konfigurasi Sensor Internet of Things dengan Raspberry Pi(Utomo et al., 2022)	35%
4	Penerapan Internet of Things (IoT) dalam Bidang Pertanian(Saputra et al., 2024)	30%
5	Penyuluhan Pertanian Urban Farming untuk Ketahanan Pangan(Kurniawan et al., 2025)	15%

Ditinjau dari pengaruh yang dihasilkan, implementasi teknologi pada 15 kelompok menunjukkan capaian yang kuat dan merata. Efisiensi penggunaan pestisida berada pada tingkat yang bervariasi namun konsisten berada di atas 60%, mencerminkan bahwa teknologi memberikan kontribusi nyata dalam membantu petani mengoptimalkan penggunaan pestisida di lapangan. Pada aspek kinerja perangkat, responsivitas sensor juga menunjukkan capaian efisiensi yang beragam namun tetap melampaui batas 60%, menandakan bahwa sensor mampu bekerja cepat dan akurat dalam membaca kondisi pertanian secara real time. Dari sisi pemanfaatan teknologi, 14 dari 15 petani tercatat masih

aktif menggunakan sistem, mencerminkan tingkat kepercayaan dan keberterimaan pengguna yang sangat tinggi. Secara keseluruhan, kondisi ini menunjukkan bahwa teknologi telah berjalan efektif, diterima dengan baik, dan memberikan manfaat signifikan bagi hampir seluruh kelompok pengguna.

Kesimpulan dan Rencana Berkelanjutan

Kegiatan sosialisasi dan pelatihan pemanfaatan IoT berbasis machine learning untuk deteksi penyakit sawit menghasilkan peningkatan kompetensi petani yang terukur, dengan rata-rata kenaikan pemahaman mencapai +47% dan peningkatan tertinggi pada keterampilan instalasi sensor dan pembacaan hasil deteksi aplikasi (+54%). Efektivitas implementasi teknologi juga tercermin dari 14 dari 15 kelompok yang tetap menggunakan perangkat setelah pelatihan, serta efisiensi penggunaan pestisida yang meningkat lebih dari 60% berkat penerapan deteksi dini dan penyemprotan selektif.

Dari sisi sosial-ekonomi dan lingkungan, teknologi ini menurunkan kebutuhan penyemprotan massal yang sebelumnya mencapai 100 liter pestisida per musim untuk area 50 hektar, sehingga berpotensi menekan biaya operasional petani sekaligus mengurangi paparan residu pestisida pada tanah dan air. Deteksi penyakit berbasis data mempercepat tindakan perawatan, yang pada gilirannya meningkatkan stabilitas produktivitas kebun dan memperkuat ketahanan ekonomi kelompok tani. Selain itu, penyusutan penggunaan pestisida memberikan dampak ekologis berupa perbaikan kualitas tanah, pengurangan kontaminasi lingkungan, dan penguatan praktik pertanian berkelanjutan.

Untuk kesinambungan program, kegiatan ini perlu dilanjutkan melalui tiga strategi: (1) pelatihan lanjutan yang berfokus pada troubleshooting sensor dan peningkatan akurasi model machine learning; (2) pengembangan modul pelatihan digital dan sistem dokumentasi lapangan agar petani memiliki panduan penggunaan berbasis kasus nyata; serta (3) integrasi formal dengan Dinas Pertanian melalui program pendampingan rutin, perluasan implementasi ke lahan yang lebih luas, dan penyediaan dukungan teknis untuk pemeliharaan perangkat IoT. Pendekatan ini memastikan adopsi teknologi berjalan berkelanjutan serta mendorong transformasi menuju ekosistem pertanian presisi di tingkat desa.

Ucapan Terimakasih

Pengabdian kepada Masyarakat ini terlaksana berkat dukungan dari DPPM Kemendiknasintel dalam bentuk bantuan pendanaan penelitian dengan kontrak penelitian 122/C3/DT.05.00/PL/2025 and 7/SPK/LL1/AL.04.03/PL/2025. Hasil penelitian supaya memiliki dampak nyata, maka dilanjutkan dengan kegiatan PkM di Dusun I Bukit Gantung Desa Sumber Mulyo. Kegiatan penelitian ini juga mendapat dukungan dari Universitas Medan Area.

Daftar Pustaka

- Alsabah, R., Yenni, Y., & Sujadi. (2021). Crown Disease pada Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dan Faktor Penyebabnya. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 26(3), 124–131. <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v26i3.64>
- Dhaifulloh, A. D., Khayumi, B. I., Legawa, D. T., Ansya, M. K. A., & Radianto, D. O. (2024). Dampak Penggunaan Pestisida Kimia Terhadap Kualitas Tanah dan Air Sungai di Daerah Pertanian. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 197–208. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i2.280>
- Diao, Z., Chen, L., Yang, Y., Liu, Y., Yan, J., He, S., & Zhang, B. (2025). Localization technologies for smart agriculture and precision farming: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 236, 110464. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110464>
- Hajjaji, Y., Alzahem, A., Boulila, W., Farah, I. R., & Koubaa, A. (2023). Sustainable Palm Tree Farming: Leveraging IoT and Multi-Modal Data for Early Detection and Mapping of Red Palm Weevil. *Procedia Computer Science*, 225, 4952–4962. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.495>
- Hani, S. N., Hermantoro, & Purwoto, H. (2025). Analisis Pengelolaan Lingkungan Perkebunan Kelapa Sawit Dalam Implementasi Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO). *AGROFORETECH*, 3(1), 402–410.

- Kipli, K., Osman, S., Joseph, A., Zen, H., Awang Salleh, D. N. S. D., Lit, A., & Chin, K. L. (2023). Deep learning applications for oil palm tree detection and counting. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100241. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100241>
- Kurniawan, A., Yuwono, T. A., Lestari, H. A., Sukowati, D., Wahab, L., & Hindratiningrum, N. (2025). Penyuluhan Pertanian Urban Farming untuk Ketahanan Pangan Keluarga di MT. Nurul 'Ilmi Kelurahan Mersi. *Migunani Nusantara: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), 7–12.
- Mohamad Zaki, M. A., Ooi, J., Ng, W. P. Q., How, B. S., Lam, H. L., Foo, D. C. Y., & Lim, C. H. (2025). Impact of industry 4.0 technologies on the oil palm industry: A literature review. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100685. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100685>
- Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S., & Bhattacharya, S. (2023). Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100776. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100776>
- Sagala, A., Panggabean, G. F., Lumbantoruan, D. P., Saragih, A., Sinambela, A., & Silalahi, A. O. (2025). Pengenalan Teknologi Internet of Things (IoT) untuk Sistem Hidroponik di SMKN 1 Pagaran, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 5(1), 163–172. <https://doi.org/10.54082/jamsi.1539>
- Sagala, S. R., Triwidodo, H., & Widodo, W. (2024). Pengendalian Hama Terpadu pada Peremajaan Sawit Rakyat di Kecamatan Pangkalan Kuras, Riau. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 29(3), 500–510. <https://doi.org/10.18343/jipi.29.3.500>
- Saputra, R., Rohman, F., Rasinta, I., Viyona, M., Daulay, D. P., Pratama, Y. Z., Aini, L., & Indriyani, I. (2024). Pelatihan Penerapan Internet of Things (IoT) dalam Bidang Pertanian untuk Mahasiswa Program Studi Teknik Pertanian Universitas Jambi. *JDISTIRA - Jurnal Pengabdian Inovasi Dan Teknologi Kepada Masyarakat*, 4(2), 400–405. <https://doi.org/10.58794/jdt.v4i2.1230>
- Sarkar, C., Gupta, D., Gupta, U., & Hazarika, B. B. (2023). Leaf disease detection using machine learning and deep learning: Review and challenges. *Applied Soft Computing*, 145, 110534. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110534>
- Savaş, S. (2024). Application of deep ensemble learning for palm disease detection in smart agriculture. *Heliyon*, 10(17), e37141. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37141>
- Shahab, H., Iqbal, M., Sohaib, A., Ullah Khan, F., & Waqas, M. (2024). IoT-based agriculture management techniques for sustainable farming: A comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 220, 108851. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108851>
- Sharma, K., & Shivandu, S. K. (2024). Integrating artificial intelligence and Internet of Things (IoT) for enhanced crop monitoring and management in precision agriculture. *Sensors International*, 5, 100292. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100292>
- Sobirin, M., Mufit, C., Khana, R., Muliadi, J., & Hamdala, M. R. (2024). Sosialisasi Pemanfaatan Internet of Things (IoT) dalam Kehidupan Sehari-hari untuk Masyarakat Kelurahan Kalibaru Kecamatan Cilincing Jakarta Utara. *BERDIKARI*, 7(2). <https://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/berdikari/article/view/7936>
- Soedradjat, M. S., Afifah, L. A., & Sulandjari, K. S. (2024). Faktor yang Berhubungan dengan Perilaku Petani Padi dalam Penggunaan Pestisida di Desa Muara, Cilamaya Wetan Kabupaten Karawang. *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 12(2), 298–308. <https://doi.org/10.35138/paspalum.v12i2.752>
- Utomo, V., Adhiwibowo, W., & Pramono, B. A. (2022). Peningkatan Kemampuan Konfigurasi Sensor Internet of Things dengan Raspberry Pi bagi Guru SMK Walisongo Semarang. *Jurnal Pengabdian Mitra Masyarakat (JPMM)*, 4(2), 67–75. <https://doi.org/10.35671/jpmm.v4i2.2047>