

Penerapan Sistem Rekomendasi Pemupukan Berbasis Sensor NPK Portable untuk Meningkatkan Efisiensi Pengelolaan Hara pada Kelompok Tani Kentang di Pangalengan

Dudi Darmawan^{*1}, Casmika Saputra², Suprayogi³

^{1,2,3} Teknik Fisika, FTE, Telkom University, Indonesia

Email: ¹dudidarmawan@telkomuniversity.ac.id, ²casmika@telkomuniversity.ac.id,
³suprayogi@telkomuniversity.ac.id

Received : Jun 9, 2026; Revised : Jun 22, 2026; Accepted : Jul 29, 2026

Abstrak

Praktik pemupukan pada sebagian besar petani kentang skala kecil di Kecamatan Pangalengan masih dilakukan berdasarkan pengalaman tanpa didukung pengukuran kondisi hara tanah. Kondisi tersebut menyebabkan penggunaan pupuk yang kurang efisien, meningkatnya biaya produksi, serta hasil panen yang tidak konsisten. Di sisi lain, pengujian laboratorium memerlukan biaya relatif tinggi dan waktu yang lama, sedangkan sensor NPK komersial yang tersedia memiliki akurasi yang bervariasi dan hasil pengukurannya sulit diinterpretasikan oleh petani. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan kemampuan kelompok tani dalam menerapkan pemupukan yang lebih tepat melalui penerapan teknologi tepat guna berbasis sensor NPK portable terkalibrasi dan dashboard rekomendasi pemupukan berbasis web. Metode pelaksanaan meliputi identifikasi kebutuhan mitra, pengujian dan kalibrasi sistem, demonstrasi penggunaan sensor, pelatihan penggunaan dashboard, pendampingan lapangan, serta monitoring dan evaluasi. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa mitra mampu melakukan pengukuran unsur hara tanah secara mandiri, memahami interpretasi hasil pengukuran melalui dashboard, serta memperoleh rekomendasi pemupukan yang lebih spesifik sesuai kondisi lahan. Pendekatan penggunaan bersama sensor oleh kelompok tani juga mampu meningkatkan akses terhadap teknologi dengan biaya yang lebih terjangkau. Selain meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani, program ini membuka peluang penerapan manajemen pemupukan yang lebih efisien, mudah diterapkan, dan berpotensi mendukung produktivitas pertanian kentang secara berkelanjutan.

Kata Kunci : *teknologi tepat guna; sensor NPK portable; rekomendasi pemupukan; dashboard web; kelompok tani kentang.*

1. PENDAHULUAN

Pertanian kentang merupakan salah satu sektor hortikultura yang berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan dan perekonomian masyarakat di daerah dataran tinggi Indonesia. Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung, merupakan salah satu sentra produksi kentang di Jawa Barat yang mampu menghasilkan produktivitas hingga 20–26 ton per hektar. Namun, keberhasilan budidaya kentang sangat dipengaruhi oleh pengelolaan unsur hara tanah yang tepat karena kebutuhan nutrisi tanaman berubah sesuai kondisi lahan dan fase pertumbuhan tanaman. Praktik pemupukan yang tidak didasarkan pada kondisi aktual tanah berpotensi menyebabkan pemborosan pupuk, peningkatan biaya produksi, penurunan efisiensi pemanfaatan unsur hara, serta berdampak terhadap kualitas lingkungan akibat akumulasi residu pupuk dalam tanah [1]–[3].

Kelompok tani kentang skala kecil di Pangalengan umumnya masih menerapkan sistem pemupukan berdasarkan pengalaman dan kebiasaan tanpa melakukan pengukuran kadar unsur hara secara rutin. Pengujian laboratorium relatif jarang dilakukan karena memerlukan biaya yang tinggi dan waktu analisis yang cukup lama, sedangkan sensor NPK komersial yang tersedia di pasaran masih memiliki tingkat akurasi yang beragam dan hasil pengukurannya sulit diinterpretasikan oleh petani. Kondisi tersebut menyebabkan rekomendasi pemupukan sering kali diterapkan secara seragam pada seluruh lahan meskipun karakteristik tanah setiap lokasi berbeda. Di sisi lain, sebagian besar petani telah memiliki telepon pintar sehingga

terdapat peluang untuk memanfaatkan teknologi digital sebagai media pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan pemupukan secara lebih spesifik dan efisien [4]–[6].

Berdasarkan kondisi tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini menerapkan teknologi tepat guna berupa penggunaan bersama sensor NPK portable yang telah dikalibrasi dan dashboard rekomendasi pemupukan berbasis web yang dirancang agar mudah dioperasikan oleh petani. Pendekatan ini tidak hanya memberikan akses terhadap teknologi pengukuran unsur hara yang lebih terjangkau, tetapi juga menyederhanakan proses interpretasi hasil pengukuran menjadi rekomendasi pemupukan yang mudah dipahami. Pelaksanaan kegiatan dilakukan melalui tahapan identifikasi kebutuhan mitra, pengujian dan demonstrasi sistem, pelatihan penggunaan perangkat, serta pendampingan selama implementasi di lapangan. Diharapkan kegiatan ini mampu meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani dalam melakukan pengelolaan hara berbasis data sehingga efisiensi penggunaan pupuk dan keberlanjutan budidaya kentang dapat terus ditingkatkan [7]–[10].

2. METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan menggunakan pendekatan partisipatif dengan prinsip Teknologi Tepat Guna (TTG), yaitu melibatkan mitra secara aktif mulai dari tahap identifikasi kebutuhan hingga evaluasi pelaksanaan program. Pendekatan ini dipilih agar teknologi yang diterapkan tidak hanya dapat digunakan selama kegiatan berlangsung, tetapi juga dapat dioperasikan dan dimanfaatkan secara mandiri oleh kelompok tani setelah program selesai. Solusi yang diterapkan berupa penggunaan bersama sensor NPK portable yang telah dikalibrasi dan dashboard rekomendasi pemupukan berbasis web untuk membantu petani memperoleh rekomendasi pemupukan yang lebih spesifik sesuai kondisi lahan. Seluruh tahapan kegiatan dirancang berdasarkan kondisi aktual mitra sehingga teknologi yang diterapkan mudah diadopsi, praktis digunakan, dan sesuai dengan kemampuan pengguna.

2.1 Lokasi dan Mitra Kegiatan

Kegiatan pengabdian dilaksanakan di Desa Margamulya, Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Mitra kegiatan merupakan kelompok tani kentang skala kecil yang selama ini masih menerapkan sistem pemupukan berdasarkan pengalaman tanpa didukung pengukuran kadar unsur hara tanah secara rutin. Sebagian besar anggota kelompok mengelola lahan dengan luas relatif kecil dan memiliki keterbatasan dalam mengakses teknologi pengukuran tanah maupun layanan analisis laboratorium. Meskipun demikian, hampir seluruh anggota kelompok telah menggunakan telepon pintar sehingga memiliki potensi yang baik dalam mengadopsi teknologi digital berbasis web sebagai media pendukung pengambilan keputusan pemupukan. Selain menyediakan lokasi kegiatan, mitra juga berpartisipasi dalam diskusi kebutuhan, pelaksanaan demonstrasi, pelatihan, pengujian lapangan, serta memberikan umpan balik terhadap teknologi yang diterapkan.

2.2 Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Pelaksanaan kegiatan pengabdian dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

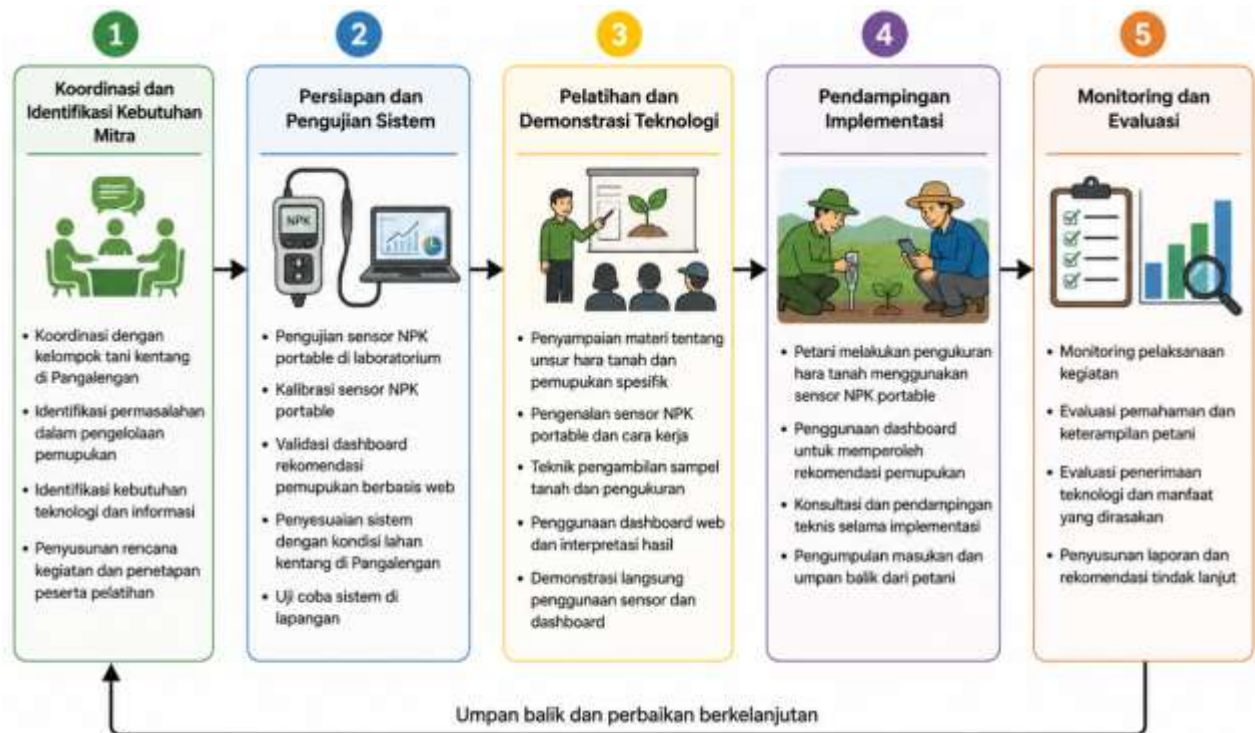
1. Koordinasi dan Identifikasi Kebutuhan Mitra

Tahap awal dilakukan melalui koordinasi dengan kelompok tani untuk mengidentifikasi permasalahan utama yang dihadapi dalam pengelolaan pemupukan, menentukan kebutuhan teknologi, menyusun jadwal kegiatan, serta menetapkan peserta yang akan mengikuti pelatihan dan demonstrasi. Tahapan ini bertujuan agar solusi yang diterapkan sesuai dengan kondisi dan kebutuhan nyata di lapangan.

2. Persiapan dan Pengujian Sistem

Pada tahap ini dilakukan pengujian sensor NPK portable di laboratorium, kalibrasi perangkat, validasi dashboard rekomendasi pemupukan, serta penyesuaian sistem sesuai karakteristik lahan pertanian kentang di Pangalengan. Setelah seluruh komponen berfungsi dengan baik, dilakukan pengujian terbatas di

lapangan untuk memastikan sensor dan dashboard dapat digunakan secara optimal pada kondisi sebenarnya.



Gambar 1. Tahapan Pelaksanaan Kegiatan Pengabdian

3. Pelatihan dan Demonstrasi Teknologi

Pelatihan diberikan kepada anggota kelompok tani mengenai pentingnya pengelolaan unsur hara tanah, prinsip kerja sensor NPK portable, teknik pengambilan sampel tanah, prosedur pengukuran yang benar, serta penggunaan dashboard rekomendasi pemupukan berbasis web. Selain penyampaian materi, peserta juga mengikuti demonstrasi langsung penggunaan sensor dan interpretasi hasil pengukuran sehingga mampu memahami hubungan antara kondisi unsur hara tanah dengan rekomendasi pemupukan yang dihasilkan sistem.

4. Pendampingan Implementasi

Setelah pelatihan, petani didampingi dalam menerapkan teknologi pada lahan yang mereka kelola. Pendampingan dilakukan melalui konsultasi langsung maupun komunikasi jarak jauh untuk membantu penyelesaian kendala teknis selama penggunaan sensor dan dashboard. Tahapan ini juga dimanfaatkan untuk memperoleh masukan dari petani mengenai kemudahan penggunaan sistem dan kesesuaian rekomendasi yang diberikan.

5. Monitoring dan Evaluasi

Tahap akhir dilakukan melalui monitoring terhadap pelaksanaan kegiatan serta evaluasi capaian program. Evaluasi difokuskan pada tingkat pemahaman petani terhadap teknologi yang diperkenalkan, kemampuan mengoperasikan sensor dan dashboard secara mandiri, serta penerimaan mitra terhadap penerapan sistem rekomendasi pemupukan. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar penyempurnaan sistem sekaligus sebagai bahan untuk pengembangan program pengabdian pada tahap berikutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini menghasilkan luaran berupa sistem penyiraman tanaman labu siam berbasis air fungsional, peningkatan kapasitas mitra, serta dampak awal terhadap praktik budidaya tanaman. Hasil kegiatan disajikan berdasarkan tahapan implementasi dan capaian luaran yang diperoleh selama pelaksanaan program.

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat berhasil mengimplementasikan teknologi tepat guna berupa sensor NPK portable dan dashboard rekomendasi pemupukan berbasis web kepada kelompok tani kentang di Desa Margamulya, Kecamatan Pangalengan. Implementasi dilakukan melalui sosialisasi, demonstrasi penggunaan perangkat, praktik pengukuran unsur hara tanah secara langsung, serta pendampingan penggunaan sistem rekomendasi pemupukan. Seluruh rangkaian kegiatan memperoleh partisipasi aktif dari anggota kelompok tani sehingga proses alih teknologi dapat berlangsung dengan baik, seperti terangkum dalam Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Kegiatan Pengabdian Masyarakat di Pangalengan

3.1 Implementasi Teknologi Sensor NPK dan Dashboard Rekomendasi Pemupukan

Tahap implementasi diawali dengan penyampaian materi mengenai pentingnya pengelolaan unsur hara tanah berdasarkan kondisi aktual lahan serta pengenalan teknologi sensor NPK portable yang telah dikalibrasi. Selanjutnya dilakukan demonstrasi penggunaan sensor untuk mengukur kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) secara langsung di lahan pertanian kentang. Hasil pengukuran kemudian diinput ke dalam dashboard berbasis web sehingga petani dapat memperoleh rekomendasi pemupukan yang lebih mudah dipahami dibandingkan hanya membaca nilai numerik hasil sensor.

Dashboard yang diperkenalkan dirancang dengan antarmuka sederhana sehingga dapat diakses menggunakan telepon pintar yang telah dimiliki sebagian besar anggota kelompok tani. Selain

menampilkan hasil pengukuran, sistem juga memberikan interpretasi status unsur hara serta rekomendasi jenis dan kebutuhan pemupukan berdasarkan kondisi lahan yang diukur. Pendekatan ini membantu petani mengurangi ketergantungan terhadap interpretasi manual yang selama ini menjadi kendala dalam penggunaan sensor komersial.

3.2 Peningkatan Pengetahuan dan Keterampilan Mitra

Kegiatan pelatihan dan demonstrasi menunjukkan adanya peningkatan pemahaman petani terhadap pentingnya pengukuran unsur hara tanah sebelum melakukan pemupukan. Sebelum kegiatan berlangsung, sebagian besar peserta masih menerapkan pemupukan berdasarkan pengalaman atau kebiasaan yang sama pada seluruh lahan tanpa mempertimbangkan variasi kondisi tanah. Setelah mengikuti pelatihan, peserta mampu memahami prinsip kerja sensor NPK, teknik pengambilan sampel tanah yang benar, serta langkah-langkah memperoleh rekomendasi pemupukan melalui dashboard berbasis web.

Partisipasi aktif peserta selama sesi diskusi dan praktik lapangan menunjukkan bahwa teknologi yang diterapkan dapat diterima dengan baik oleh kelompok tani. Beberapa peserta secara langsung mencoba melakukan pengukuran unsur hara dan mengoperasikan dashboard secara mandiri dengan pendampingan dari tim pelaksana. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses transfer teknologi berlangsung secara efektif dan sesuai dengan tujuan kegiatan pengabdian.

3.3 Pendampingan dan Evaluasi Implementasi

Setelah pelatihan, kegiatan dilanjutkan dengan pendampingan selama proses implementasi teknologi di lapangan. Pendampingan dilakukan melalui konsultasi langsung maupun komunikasi jarak jauh untuk membantu petani ketika mengalami kesulitan dalam melakukan pengukuran maupun mengoperasikan dashboard rekomendasi pemupukan. Pada tahap ini tim pelaksana juga mengumpulkan berbagai masukan mengenai kemudahan penggunaan sistem, kejelasan informasi yang ditampilkan, serta kesesuaian rekomendasi dengan kondisi pertanian kentang di lokasi mitra.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penggunaan dashboard mampu mempermudah petani dalam memahami kondisi unsur hara tanah karena informasi yang sebelumnya berupa angka hasil pembacaan sensor telah diubah menjadi rekomendasi yang lebih praktis. Selain itu, konsep penggunaan bersama sensor oleh kelompok tani dinilai lebih ekonomis dibandingkan kepemilikan alat secara individual sehingga peluang keberlanjutan pemanfaatan teknologi menjadi lebih besar.

3.4 Dampak Kegiatan Pengabdian

Secara umum kegiatan pengabdian memberikan dampak positif terhadap peningkatan kapasitas kelompok tani dalam memanfaatkan teknologi digital untuk mendukung pengelolaan pemupukan. Mitra memperoleh pengetahuan baru mengenai pentingnya pengukuran unsur hara tanah sebagai dasar penyusunan rekomendasi pemupukan, memahami prosedur penggunaan sensor NPK portable, serta mampu memanfaatkan dashboard berbasis web sebagai media pendukung pengambilan keputusan. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi biaya produksi akibat pemupukan yang kurang tepat, serta mendukung pengelolaan kesuburan tanah yang lebih berkelanjutan.

Selain peningkatan kapasitas sumber daya manusia, kegiatan ini juga menghasilkan luaran berupa tersedianya sistem teknologi tepat guna yang dapat terus dimanfaatkan oleh kelompok tani sebagai media pembelajaran dan pendukung praktik pertanian presisi skala kecil. Dengan adanya pendampingan serta keterlibatan aktif mitra selama seluruh tahapan kegiatan, peluang keberlanjutan program menjadi lebih besar karena teknologi yang diterapkan telah dipahami dan diterima oleh masyarakat sasaran.

3.5 Respon Mitra terhadap Pelaksanaan Kegiatan

Untuk mengetahui tingkat penerimaan dan kepuasan mitra terhadap program pengabdian, pada akhir kegiatan dilakukan penyebaran kuesioner kepada seluruh peserta. Evaluasi dilakukan terhadap lima aspek, yaitu kesesuaian materi dengan kebutuhan mitra, kesesuaian waktu pelaksanaan, kejelasan penyampaian materi, kualitas pelayanan panitia, serta harapan peserta terhadap keberlanjutan kegiatan. Hasil rekapitulasi tanggapan peserta ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil evaluasi kepuasan mitra terhadap pelaksanaan kegiatan pengabdian

No	Pertanyaan	STS (%)	TS (%)	N (%)	S (%)	SS (%)
1	Materi kegiatan sesuai dengan kebutuhan mitra/peserta	-	-	-	44	56
2	Waktu pelaksanaan kegiatan ini relatif sesuai dan cukup	-	-	22,22	44,44	33,33
3	Materi/kegiatan yang disajikan jelas dan mudah dipahami	-	-	-	33	67
4	Panitia memberikan pelayanan yang baik selama kegiatan	-	-	-	-	100
5	Masyarakat menerima dan berharap kegiatan-kegiatan seperti ini dilanjutkan di masa yang akan datang	-	-	-	11	89

Keterangan:

SS = Sangat Setuju | S = Setuju | N = Netral | TS = Tidak Setuju | STS = Sangat Tidak Setuju

Berdasarkan hasil kuesioner, kegiatan pengabdian memperoleh tanggapan yang sangat positif dari mitra. Sebanyak 56% responden menyatakan sangat setuju dan 44% setuju bahwa materi yang diberikan telah sesuai dengan kebutuhan kelompok tani. Hal ini menunjukkan bahwa topik mengenai pengukuran unsur hara tanah dan rekomendasi pemupukan berbasis sensor merupakan kebutuhan nyata yang dirasakan oleh petani dalam mendukung pengelolaan lahan mereka.

Pada aspek pelaksanaan kegiatan, mayoritas peserta juga memberikan penilaian positif terhadap alokasi waktu, dengan 44,44% menyatakan setuju dan 33,33% sangat setuju bahwa waktu pelaksanaan sudah sesuai. Sementara itu, penyampaian materi memperoleh apresiasi yang tinggi, yaitu 67% responden menyatakan sangat setuju dan 33% setuju bahwa materi yang disampaikan mudah dipahami. Hasil ini menunjukkan bahwa metode pelatihan yang memadukan sosialisasi, demonstrasi penggunaan sensor, praktik langsung di lahan, serta penggunaan dashboard berbasis web mampu meningkatkan pemahaman peserta terhadap teknologi yang diperkenalkan.

Indikator dengan tingkat kepuasan tertinggi adalah pelayanan selama kegiatan, di mana 100% responden menyatakan sangat setuju bahwa panitia memberikan pelayanan yang baik. Selain itu, 89% peserta menyatakan sangat setuju dan 11% setuju bahwa kegiatan serupa perlu dilanjutkan pada masa mendatang. Temuan ini mengindikasikan bahwa teknologi yang diterapkan tidak hanya dapat diterima oleh kelompok tani, tetapi juga dipandang memiliki manfaat praktis dan layak untuk dikembangkan secara berkelanjutan. Tingginya tingkat penerimaan tersebut sejalan dengan keterlibatan aktif mitra selama pelatihan, demonstrasi, praktik lapangan, hingga forum diskusi yang berlangsung selama kegiatan pengabdian.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat telah berhasil mengimplementasikan teknologi tepat guna berupa sensor NPK portable terkalibrasi dan dashboard rekomendasi pemupukan berbasis web kepada kelompok tani kentang di Desa Margamulya, Kecamatan Pangalengan. Melalui tahapan sosialisasi, demonstrasi, pelatihan, praktik lapangan, dan pendampingan, mitra memperoleh peningkatan pengetahuan dan keterampilan dalam melakukan pengukuran unsur hara tanah serta memanfaatkan hasil pengukuran sebagai dasar penyusunan rekomendasi pemupukan yang lebih spesifik. Evaluasi kepuasan menunjukkan bahwa sebagian besar peserta memberikan penilaian setuju dan sangat setuju terhadap kesesuaian materi, kejelasan penyampaian, pelayanan pelaksana, serta keberlanjutan program. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi yang diterapkan dapat diterima dengan baik oleh kelompok tani dan memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan pemupukan. Pendekatan penggunaan bersama sensor oleh kelompok tani juga menjadi alternatif yang ekonomis dalam memperluas akses terhadap teknologi pertanian presisi bagi petani skala kecil. Dengan demikian, program ini berpotensi mendukung pengelolaan hara yang lebih efisien, meningkatkan kapasitas petani dalam memanfaatkan teknologi digital, serta menjadi model pengabdian yang dapat direplikasi pada kelompok tani di wilayah lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada **Telkom University** melalui **Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM)** atas dukungan pendanaan dan fasilitasi pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh mitra pengabdian yang telah berpartisipasi aktif dan memberikan dukungan selama proses perencanaan, pelaksanaan, hingga evaluasi kegiatan. Selain itu, penulis menghargai kontribusi seluruh tim pelaksana dan pihak terkait yang telah berperan dalam kelancaran dan keberhasilan program ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. F. C. Hasibuan, D. Perdana, and M. L. K., "Edukasi pemanfaatan aplikasi unsur hara NPK pada tanah dengan kelompok tani Kismo Mulyo V," *Charity: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 6, no. 2, 2024.
2. W. Fathona, M. Rokhmat, and A. Suhendi, "Pembuatan sistem penyedia energi ramah lingkungan berbasis cahaya matahari untuk sistem penerangan dan pengairan pada sistem aquaponik terintegrasi IoT di Desa Citeureup," *Charity: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 7, no. 1, pp. 22–31, 2024.
3. N. Fitriyanti, T. A. Ajiwiguna, and M. R. Kirom, "Teknologi aquaponik untuk mendukung kemandirian pangan bagi santri di Pesantren Ar-Ridho Cipongkor Bandung Barat," *Charity: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 7, no. 1, 2024.
4. R. A. Piramadhi, M. S. Prawirasasra, A. Hartaman, and D. Darlis, "Pengenalan alat ukur kualitas air untuk pembelajaran biologi di SMA Al Kautsar," *Charity: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 9, no. 2, pp. 52–61, 2026, doi: [10.25124/charity.v9i2.10717](https://doi.org/10.25124/charity.v9i2.10717).
5. U. K. Usman, N. Fitriyanti, and A. G. Permana, "Penerapan incinerator waste to energy di TPS RW sekitar aliran Sungai Citarum Harum dengan monitoring kontrol berbasis IoT," *Charity: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 9, no. 2, 2026, doi: [10.25124/charity.v9i2.8994](https://doi.org/10.25124/charity.v9i2.8994).

6. Ardiansyah. (2022). Sistem monitoring dan kontrol iklim mikro pada plant factory berbasis Internet of Things. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 10(1), 49–58.
7. Najdenko, E., Lorenz, F., Dittert, K., & Olf, H.-W. (2024). Rapid in-field soil analysis of plant-available nutrients and pH for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 25, 3189–3218. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10045-2>
8. Njoku, T. C. (2023). Data-driven decision making in agriculture: Enhancing productivity and sustainability through predictive analytics. *International Journal of Agricultural Science and Technology*, 5(2), 45–58.
9. Wardihani, E. D. (2024). Sistem pemantauan dan pengendalian NPK tanah berbasis IoT menggunakan WSN pada tanaman anggur. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 13(1), 1–9.
10. Zhang, X., & Li, Y. (2023). Precision farming for sustainability: An agricultural intelligence approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107015.
11. Hidayat, Y., & Suryana, A. (2023). Evaluasi daya saing komoditas kentang di sentra produksi Pangalengan Kabupaten Bandung. *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 7(1), 120–131.
12. Kementerian Pertanian RI. (2021). *Profil sentra hortikultura kentang di Jawa Barat*. Direktorat Jenderal Hortikultura.
13. Rahmawati, N., & Setiawan, B. (2022). Karakteristik sosial ekonomi petani kentang di Kecamatan Pangalengan Kabupaten Bandung. *Jurnal Agribisnis Indonesia*, 10(2), 89–99
14. Universitas Padjadjaran. (2021). *Kajian sistem agribisnis kentang di wilayah Pangalengan Kabupaten Bandung*. Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran