Vol 5 No.2 (2026) - Mei, pp 2116-2122 https://www.doi.org/10.59025/hx8ve891

Jurnal Masyarakat Madani Indonesia
e-ISSN: 2829-6702
https://syadani.onlinelibrary.id/

Pemberdayaan Petani Dalam Pengelolaan Hara Tanah Sawah Menggunakan PUTS Untuk Mendukung Pertanian Berkelanjutan Di Desa Pematang Sijonam

Lutfi Henderlan Harahap[1]*, Henny Pratiwi[1], Miyarnis[1], Gratis Kanisius Gulo[1]

[1]*Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia, Medan, Sumatera Utara, Indonesia*

INFO ARTIKEL

Diserahkan 08/05/2026
Direvisi 16/05/2026
Diterima 29/05/2026
Diterbitkan 17/06/2026

***Kata Kunci*:**

Hara Tanah Sawah, Pemberdayaan Petani, Pemupukan Berimbang, Pertanian Berkelanjutan, PUTS

ABSTRAK

Pengelolaan hara tanah yang tidak tepat merupakan salah satu penyebab utama rendahnya produktivitas padi di Indonesia, termasuk di Desa Pematang Sijonam, Kabupaten Serdang Bedagai, Sumatera Utara. Ketidaktepatan dosis pemupukan yang masih dilakukan secara konvensional berdasarkan kebiasaan petani menyebabkan inefisiensi penggunaan input pertanian dan degradasi kesuburan tanah secara bertahap. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani dalam mengelola hara tanah sawah melalui penerapan Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS). Metode pelaksanaan meliputi empat tahapan: sosialisasi, pelatihan, praktik lapangan, dan evaluasi. Sasaran kegiatan adalah 32 petani anggota Kelompok Tani Maju Bersama. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan pengetahuan rata-rata dari 27,8% menjadi 82,8% (peningkatan 55,0 poin persentase), serta peningkatan keterampilan penggunaan PUTS dari 12,4% menjadi 85,6%. Uji PUTS di lapangan mengidentifikasi kondisi hara tanah yang beragam antarlahan, sehingga memungkinkan rekomendasi pemupukan yang spesifik dan efisien. Dampak kegiatan ini diharapkan mendorong efisiensi penggunaan pupuk, penghematan biaya produksi, serta peningkatan produktivitas lahan secara berkelanjutan. Kegiatan ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis teknologi sederhana yang tepat guna sangat efektif dalam memberdayakan petani untuk menerapkan pertanian yang lebih berkelanjutan.

Corresponding author email: *lutfi.henderlan.harahap@gmail.com*

Copyright@ Author (2026). Published by Alesha Media Digital. This is an open access article under the CC BY SA license. All writings published in this journal are personal views of the author and do not represent the views of this journal and the author's affiliated institutions.

1. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan nasional sangat bergantung pada produktivitas sektor pertanian, khususnya tanaman padi sebagai komoditas pokok yang dikonsumsi oleh lebih dari 95% penduduk Indonesia. Namun demikian, produktivitas padi nasional hingga saat ini masih menghadapi sejumlah tantangan serius, di antaranya adalah degradasi kesuburan tanah akibat pemupukan yang tidak tepat dan tidak berbasis data uji tanah [1]. Pemupukan yang berlebihan tanpa mempertimbangkan status hara aktual tanah tidak hanya menimbulkan pemborosan biaya produksi, tetapi juga menyebabkan kerusakan lingkungan berupa pencemaran air dan udara akibat emisi gas rumah kaca dari residu pupuk nitrogen [2]. Desa Pematang Sijonam, Kecamatan Pegajahan, Kabupaten Serdang Bedagai, Sumatera Utara, merupakan salah satu wilayah yang sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai petani padi sawah. Berdasarkan hasil observasi awal yang dilakukan oleh tim pengabdi pada 28 April 2026, teridentifikasi bahwa mayoritas petani di desa tersebut masih menerapkan dosis pemupukan secara konvensional, yakni berdasarkan pengalaman turun-temurun tanpa didasarkan pada hasil analisis hara tanah.

Kondisi ini menyebabkan ketidakseimbangan hara dalam tanah, yang pada akhirnya berdampak pada rendahnya produktivitas lahan dan penurunan kualitas hasil panen. Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS) merupakan teknologi tepat guna yang dikembangkan oleh Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia. PUTS dirancang untuk memudahkan petani dan petugas lapangan dalam melakukan analisis cepat terhadap kandungan hara tanah sawah, khususnya nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan pH tanah secara in situ [3]. Hasil analisis PUTS selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan rekomendasi pemupukan spesifik lokasi yang lebih akurat, efisien, dan ramah lingkungan. Permasalahan rendahnya adopsi teknologi PUTS oleh petani disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: kurangnya sosialisasi dan pelatihan, minimnya pendampingan teknis dari penyuluh pertanian, serta persepsi petani yang menganggap teknologi tersebut kompleks dan sulit diterapkan. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini hadir sebagai upaya konkret untuk menjembatani kesenjangan antara teknologi yang tersedia dengan kapasitas petani dalam mengadopsinya [4]. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk: (1) meningkatkan pengetahuan petani tentang pentingnya pengelolaan hara tanah sawah secara ilmiah; (2) melatih petani dalam penggunaan PUTS secara mandiri; (3) memberikan rekomendasi pemupukan spesifik lokasi berdasarkan hasil uji PUTS; serta (4) mendorong penerapan pertanian berkelanjutan berbasis data hara tanah di Desa Pematang Sijonam.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Lokasi dan Waktu Kegiatan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di Desa Pematang Sijonam, Kecamatan Pegajahan, Kabupaten Serdang Bedagai, Provinsi Sumatera Utara pada 28 April 2026. Desa ini dipilih sebagai lokasi kegiatan berdasarkan pertimbangan bahwa sebagian besar penduduknya merupakan petani padi sawah aktif dengan luas lahan garapan rata-rata 0,5–1,5 hektar per kepala keluarga. Kegiatan dilaksanakan melalui seluruh rangkaian tahapan dari persiapan, pelaksanaan, hingga evaluasi akhir.

2.2 Sasaran Kegiatan

Sasaran kegiatan adalah anggota Kelompok Tani Maju Bersama yang terdiri atas 32 orang petani aktif. Kelompok tani ini dipilih berdasarkan rekomendasi dari Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) Kecamatan Pegajahan karena memiliki struktur kelembagaan yang aktif dan anggota yang representatif dalam hal latar belakang pengelolaan lahan. Profil peserta mencakup rentang usia 28–65 tahun, dengan tingkat pendidikan bervariasi dari Sekolah Dasar hingga Sekolah Menengah Atas.

2.3 Tahapan Kegiatan

Kegiatan dilaksanakan dalam empat tahapan terstruktur sebagaimana diuraikan berikut ini:

1) Sosialisasi dan Analisis Kebutuhan

Sosialisasi dilaksanakan melalui forum pertemuan kelompok tani. Pada tahap ini, tim pengabdi melakukan presentasi mengenai permasalahan hara tanah sawah secara umum, pengenalan konsep pemupukan berimbang, serta manfaat dan cara kerja PUTS. Selain itu, dilaksanakan penyebaran kuesioner pra-kegiatan untuk mengukur tingkat pengetahuan awal petani sebagai data baseline. Analisis kebutuhan juga dilakukan melalui wawancara mendalam dengan tokoh kelompok tani dan petugas penyuluh lapangan.

2) Pelatihan Teori dan Demonstrasi PUTS

Materi pelatihan meliputi: dasar-dasar kesuburan tanah dan klasifikasi hara esensial tanaman padi,

mekanisme serapan hara oleh tanaman, dampak defisiensi dan toksisitas hara terhadap pertumbuhan padi, prinsip pemupukan berimbang spesifik lokasi, serta tata cara penggunaan PUTS beserta interpretasi hasilnya. Pelatihan disampaikan menggunakan media visual interaktif, simulasi tabel warna PUTS, dan modul pelatihan yang dibagikan kepada seluruh peserta.

3) Praktik Lapangan

Kegiatan ini melibatkan pengambilan sampel tanah dari empat blok lahan sawah yang berbeda, kemudian dilanjutkan dengan pengujian sampel menggunakan PUTS secara langsung di lapangan. Setiap kelompok kecil yang terdiri atas 6–8 petani dibimbing oleh satu orang fasilitator dari tim pengabdi. Petani dipandu untuk melakukan seluruh prosedur uji PUTS secara mandiri, mulai dari pengambilan sampel, ekstraksi larutan tanah, pencampuran reagen, hingga pembacaan dan pencatatan hasil.

4) Evaluasi dan Pendampingan Lanjutan

Evaluasi dilaksanakan melalui distribusi kuesioner pasca-kegiatan untuk mengukur peningkatan pengetahuan dan keterampilan petani. Evaluasi keterampilan dilakukan secara langsung melalui observasi praktik penggunaan PUTS secara mandiri oleh peserta. Selain itu, tim pengabdi juga melaksanakan sesi pendampingan lanjutan untuk membantu petani dalam penyusunan rekomendasi pemupukan berdasarkan hasil uji PUTS yang telah dilakukan.

2.4 Instrumen Evaluasi

Evaluasi kegiatan dilaksanakan menggunakan pendekatan pre-test dan post-test dengan instrumen berupa kuesioner terstruktur yang memuat 30 butir pertanyaan yang mencakup aspek pengetahuan kognitif dan kemampuan prosedural. Data hasil evaluasi dianalisis secara deskriptif untuk menghitung persentase pencapaian dan selisih peningkatan pada setiap aspek yang diukur [5]. Tingkat keberhasilan dikategorikan berdasarkan skala: Sangat Baik (>80%), Baik (60–80%), Cukup (40–60%), dan Kurang (<40%).

3. HASIL & PEMBAHASAN

3.1 Peningkatan Pengetahuan dan Keterampilan Petani

Evaluasi terhadap peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta dilakukan melalui perbandingan hasil pre-test dan post-test menggunakan instrumen kuesioner terstruktur. Data lengkap hasil evaluasi disajikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Peningkatan Pengetahuan dan Keterampilan Petani

No.	Aspek Evaluasi	Pra-Kegiatan (%)	Pasca-Kegiatan (%)	Peningkatan (%)	Kategori Akhir
1	Pengetahuan tentang fungsi hara tanah	38,2	82,5	+44,3	Sangat Baik
2	Pemahaman prinsip pemupukan berimbang	34,6	79,8	+45,2	Sangat Baik
3	Kemampuan menggunakan PUTS	12,4	85,6	+73,2	Sangat Baik
4	Kemampuan membaca hasil uji PUTS	10,8	81,3	+70,5	Sangat Baik

No.	Aspek Evaluasi	Pra-Kegiatan (%)	Pasca-Kegiatan (%)	Peningkatan (%)	Kategori Akhir
5	Kemampuan menyusun dosis pupuk	25,3	76,4	+51,1	Baik
6	Kesadaran akan pertanian berkelanjutan	45,7	91,2	+45,5	Sangat Baik
Rata-Rata Keseluruhan		27,8	82,8	+55,0	Sangat Baik

Sumber: Data primer kegiatan pengabdian (2026)

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa seluruh aspek yang dievaluasi mengalami peningkatan yang signifikan pascakegiatan. Peningkatan tertinggi terjadi pada aspek kemampuan menggunakan PUTS (73,2 poin persentase) dan kemampuan membaca hasil uji PUTS (70,5 poin persentase). Hal ini mencerminkan bahwa metode pelatihan hands-on yang diterapkan sangat efektif dalam meningkatkan kompetensi praktis petani. Temuan ini sejalan dengan pernyataan bahwa pembelajaran berbasis pengalaman langsung menghasilkan retensi pengetahuan dan keterampilan yang jauh lebih tinggi dibandingkan pendekatan ceramah konvensional [6]. Peningkatan pengetahuan tentang prinsip pemupukan berimbang juga cukup substansial, yakni dari 34,6% menjadi 79,8% (peningkatan 45,2 poin persentase). Kondisi ini mengindikasikan bahwa petani sebelumnya memiliki pemahaman yang sangat terbatas mengenai konsep pemupukan berbasis hara tanah. Kurangnya pemahaman ini berimplikasi pada praktik pemupukan yang tidak efisien, sebagaimana dilaporkan dalam berbagai studi sebelumnya [7], [8]. Aspek kesadaran akan pertanian berkelanjutan mencapai nilai tertinggi pascakegiatan sebesar 91,2%, meningkat dari baseline 45,7%. Tingginya nilai akhir ini menunjukkan bahwa petani memiliki kepedulian dan motivasi yang tinggi terhadap isu keberlanjutan pertanian, namun sebelumnya belum memiliki pengetahuan dan alat yang memadai untuk mewujudkannya. Hal ini sejalan dengan temuan yang menyatakan bahwa petani sesungguhnya memiliki kesadaran lingkungan yang cukup tinggi, namun keterbatasan akses terhadap informasi dan teknologi menjadi hambatan utama adopsi praktik pertanian berkelanjutan [9].

3.2 Implementasi PUTS di Lapangan

Pengujian sampel tanah menggunakan PUTS dilakukan pada empat blok lahan sawah yang representatif di wilayah Desa Pematang Sijonam. Hasil uji PUTS disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Uji PUTS dan Rekomendasi Pemupukan per Blok Lahan

Lahan Sampel	pH Tanah	Status N	Status P	Status K	Rekomendasi Pupuk
Sampel A (Blok I)	5,8 (Masam)	Rendah	Sedang	Rendah	Urea 250 kg/ha, SP-36 100 kg/ha, KCl 100 kg/ha
Sampel B (Blok II)	6,2 (Agak Masam)	Sedang	Rendah	Sedang	Urea 200 kg/ha, SP-36 150 kg/ha, KCl 75 kg/ha
Sampel C (Blok III)	6,5 (Netral)	Tinggi	Sedang	Rendah	Urea 150 kg/ha, SP-36 100 kg/ha, KCl 100 kg/ha
Sampel D (Blok IV)	5,5 (Masam)	Rendah	Rendah	Sedang	Urea 250 kg/ha, SP-36 150 kg/ha, KCl 75 kg/ha + Kapur 1 t/ha

Sumber: Data primer hasil pengujian PUTS di lapangan (2026)

Data pada Tabel 2 mengungkapkan variasi kondisi hara tanah yang cukup signifikan antar blok lahan, meskipun secara geografis lahan-lahan tersebut berada dalam satu desa yang sama. Nilai pH tanah berkisar antara 5,5 (masam) hingga 6,5 (netral), yang memengaruhi ketersediaan dan serapan hara oleh tanaman padi. Lahan dengan nilai pH di bawah 5,8 memerlukan tindakan pengapuran untuk meningkatkan pH tanah mendekati kisaran optimal 6,0–6,5 bagi tanaman padi [10]. Status hara N yang rendah pada Sampel A dan D mengindikasikan perlunya aplikasi pupuk nitrogen dengan dosis yang lebih tinggi, yakni sebesar 250 kg urea/ha. Sebaliknya, Sampel C menunjukkan status N yang tinggi sehingga dosis urea dapat dikurangi menjadi 150 kg/ha. Perbedaan dosis rekomendasi yang signifikan ini menegaskan bahwa pendekatan pemupukan satu dosis untuk seluruh lahan (*blanket recommendation*) sangat tidak tepat dan berpotensi menyebabkan pemborosan pupuk atau defisiensi hara yang tidak terdeteksi [11]. Hasil pengujian PUTS ini berhasil meyakinkan para petani bahwa lahan mereka masing-masing memiliki karakteristik hara yang unik dan berbeda, yang merupakan perubahan paradigma yang sangat penting.



Gambar 1. Proses edukasi dan demonstrasi penggunaan PUTS dalam pengelolaan hara tanah berbasis analisis kondisi lahan.

3.3 Dampak terhadap Efisiensi Pupuk dan Keberlanjutan

Penerapan PUTS sebagai dasar penentuan dosis pemupukan diproyeksikan akan memberikan dampak positif yang terukur terhadap efisiensi penggunaan pupuk. Berdasarkan perbandingan antara dosis pupuk yang selama ini diterapkan petani secara konvensional dengan rekomendasi yang dihasilkan dari uji PUTS, teridentifikasi potensi penghematan penggunaan pupuk urea berkisar antara 25–40% dan pupuk SP-36 berkisar antara 15–30%, bergantung pada kondisi hara spesifik masing-masing lahan. Dari perspektif ekonomi, potensi penghematan biaya pembelian pupuk per hektar diestimasi berkisar antara Rp350.000,00 hingga Rp650.000,00 per musim tanam. Dengan asumsi luas lahan garapan rata-rata 0,75 hektar per petani dan dua musim tanam per tahun, maka penghematan biaya produksi yang dapat diraih setiap petani diperkirakan mencapai Rp525.000,00 hingga Rp975.000,00 per tahun. Angka ini cukup signifikan mengingat pendapatan bersih petani padi di Kabupaten Serdang Bedagai rata-rata berada di kisaran Rp8.000.000,00–Rp12.000.000,00 per tahun [12]. Dari perspektif lingkungan, pengurangan aplikasi pupuk nitrogen yang berlebihan berkontribusi pada penurunan risiko pencemaran air tanah akibat leaching nitrat serta reduksi emisi gas dinitrogen oksida (N_2O) yang merupakan salah satu gas rumah kaca berpotensi tinggi. Hal ini sejalan dengan komitmen Indonesia dalam implementasi Nationally Determined Contribution (NDC) untuk sektor pertanian sebagaimana tertuang dalam dokumen FOLU Net Sink 2030 [13]. Dengan demikian, penerapan PUTS secara masif tidak hanya menguntungkan secara ekonomi bagi petani, tetapi juga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim dan keberlanjutan ekosistem pertanian.

3.4 Antusiasme dan Respons Peserta

Selama kegiatan berlangsung, tim pengabdi mencatat tingkat partisipasi peserta yang sangat tinggi. Rata-rata tingkat kehadiran peserta mencapai 93,7% dari total 32 orang anggota kelompok tani di setiap sesi

kegiatan. Tingkat kehadiran ini jauh melampaui rata-rata kehadiran pada kegiatan penyuluhan pertanian umumnya yang berkisar 60–75% [14]. Antusiasme peserta sangat terlihat pada sesi praktik lapangan, di mana seluruh peserta aktif terlibat dalam prosedur pengujian PUTS secara bergantian. Banyak peserta yang mengajukan pertanyaan kritis terkait hubungan antara hasil uji PUTS dengan kondisi pertumbuhan tanaman padi yang selama ini mereka amati di lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian ini berhasil mengaktivasi pengetahuan kontekstual yang telah dimiliki petani dan mengintegrasikannya dengan pengetahuan ilmiah yang baru. Pada sesi evaluasi akhir, sebanyak 28 dari 32 peserta (87,5%) menyatakan komitmen mereka untuk menerapkan pengujian PUTS secara mandiri sebelum musim tanam berikutnya. Empat peserta lainnya menyatakan keinginan untuk belajar lebih lanjut sebelum menggunakannya secara mandiri. Tingginya komitmen ini menjadi indikator keberlanjutan dampak kegiatan yang sangat positif.



Gambar 2. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat melibatkan tim dosen dan mahasiswa bersama kelompok tani setempat

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang berfokus pada pemberdayaan petani dalam pengelolaan hara tanah sawah melalui penggunaan PUTS di Desa Pematang Sijonam telah berhasil mencapai seluruh tujuan yang ditetapkan. Beberapa simpulan utama yang dapat ditarik dari kegiatan ini adalah sebagai berikut:

1. Terjadi peningkatan pengetahuan petani yang sangat signifikan pada seluruh aspek yang dievaluasi, dengan rata-rata peningkatan sebesar 55,0 poin persentase dari nilai awal 27,8% menjadi 82,8% pascakegiatan, yang masuk dalam kategori Sangat Baik.
2. Keterampilan teknis penggunaan PUTS meningkat secara dramatis dari 12,4% menjadi 85,6%, menunjukkan efektivitas pendekatan pelatihan berbasis praktik lapangan yang diterapkan dalam kegiatan ini.
3. Hasil uji PUTS di lapangan mengungkapkan variasi kondisi hara tanah yang nyata antar blok lahan, yang memungkinkan penyusunan rekomendasi pemupukan spesifik lokasi yang jauh lebih efisien dibandingkan pendekatan konvensional.
4. Penerapan PUTS berpotensi menghasilkan penghematan biaya produksi petani berkisar Rp 525.000 hingga Rp 975.000 per tahun per petani, serta memberikan dampak lingkungan positif berupa reduksi pencemaran dan emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian.
5. Tingkat komitmen peserta untuk mengadopsi PUTS secara mandiri yang mencapai 87,5% mengindikasikan keberlanjutan dampak kegiatan ini terhadap transformasi praktik pertanian di Desa Pematang Sijonam.

Kegiatan ini merekomendasikan agar pemerintah daerah dan instansi penyuluhan pertanian terkait dapat mendukung pengadaan PUTS bagi kelompok-kelompok tani lainnya, serta mengintegrasikan pelatihan PUTS ke dalam program penyuluhan pertanian reguler sebagai bagian dari upaya percepatan transformasi menuju pertanian berkelanjutan di Kabupaten Serdang Bedagai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pengabdi menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia (UPMI). Terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Desa Pematang Sijonam, Ketua dan seluruh anggota Kelompok Tani Maju Bersama, serta Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) Kecamatan Pegajahan atas dukungan, koordinasi, dan partisipasi aktif selama kegiatan berlangsung. Apresiasi khusus diberikan kepada Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Sumatera Utara atas fasilitasi peminjaman perangkat PUTS untuk keperluan kegiatan ini

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. Nursyamsi, D. Setyorini, dan S. Sholeh, "Efisiensi penggunaan pupuk pada lahan sawah irigasi melalui uji tanah dan Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS)," *Jurnal Tanah dan Iklim*, vol. 44, no. 2, hal. 115–126, 2020. https://doi.org/10.21082/jti.v44n2.2020.115-126

[2] A. Dobermann dan T. Fairhurst, *Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management*. Kanada: Potash and Phosphate Institute of Canada, dan International Rice Research Institute, 2000.

[3] Balai Penelitian Tanah, *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*, Edisi ke-3. Bogor: Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2019.

[4] U. Susanto, Sunaryo, dan E. Pudjihastuti, "Adopsi teknologi PUTS untuk optimasi pemupukan padi sawah di Kabupaten Karawang, Jawa Barat," *Jurnal Agronomi Indonesia*, vol. 49, no. 1, hal. 25–34, 2021. https://doi.org/10.24831/jai.v49i1.31345

[5] S. Arikunto, *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*, Edisi Revisi. Jakarta: Rineka Cipta, 2013.

[6] D. A. Kolb, *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1984.

[7] D. Setyorini dan L. R. Widowati, "Peranan bahan organik terhadap produktivitas lahan sawah dan lingkungan hidup," *Jurnal Sumber Daya Lahan*, vol. 11, no. 1, hal. 1–18, 2017.

[8] S. Rochayati, D. Setyorini, M. T. Sutriadi, dan E. S. Harsanti, "Teknologi pemupukan spesifik lokasi untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas padi sawah di Indonesia," *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, vol. 38, no. 3, hal. 119–132, 2019. https://doi.org/10.21082/jp3.v38n3.2019.119-132

[9] T. Suhendrata, "Peran penyuluhan pertanian dalam pengembangan adopsi inovasi teknologi pertanian," *Jurnal Litbang Pertanian*, vol. 38, no. 2, hal. 55–66, 2019. https://doi.org/10.21082/jp.v38n2.2019.55-66

[10] A. Mukherjee dan R. Lal, "Biochar and soil characteristics," dalam *Advances in Agronomy*, vol. 123. New York: Academic Press, 2014, hal. 1–40. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420225-2.00001-9

[11] S. M. Haefele, C. Knoblauch, M. Gummert, Y. Konboon, dan S. Koyama, "Black carbon (biochar) in rice-based systems: Characteristics and opportunities," *Advances in Agronomy*, vol. 162, hal. 237–288, 2020. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.002

[12] Badan Pusat Statistik Kabupaten Serdang Bedagai, *Kabupaten Serdang Bedagai dalam Angka 2023*. Serdang Bedagai: BPS Kabupaten Serdang Bedagai, 2023.

[13] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *FOLU Net Sink 2030: Indonesia's Forestry and Other Land Use Net Sink 2030*. Jakarta: KLHK, 2022.

[14] D. Suprayogo, R. H. Susanto, dan S. E. Rahim, "Model pemberdayaan petani melalui pendampingan partisipatif dalam pengelolaan lahan berkelanjutan," *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 26, no. 4, hal. 254–263, 2020. https://doi.org/10.22146/jpkm.49001