

**Pengolahan Limbah Jerami Padi menjadi Nanofertilizer Silika  
(Verdasil) sebagai Booster Kesuburan Tanaman Hortikultura**

**Eka Ayu Lestari<sup>1\*</sup>, Sri Wahyuni<sup>2</sup>, Andi Muhammad Irfan Taufan Asfar<sup>3</sup>, Andi  
Muhammad Iqbal Akbar Asfar<sup>4</sup>, Nurhaziza<sup>5</sup>, Dewi Nurul Rukmi<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Pendidikan Matematika, Universitas Muhammadiyah Bone

<sup>2</sup>Pendidikan Biologi, Universitas Muhammadiyah Bone,

<sup>3</sup>Pendidikan Matematika, Universitas Muhammadiyah Bone,

<sup>4</sup>Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan, Politeknik Negeri Ujung Pandang,

<sup>5</sup>Pendidikan Matematika, Universitas Muhammadiyah Bone,

<sup>6</sup>Pendidikan Matematika, Universitas Muhammadiyah Bone,

\*email korespondensi penulis: [lekaayu473@gmail.com](mailto:lekaayu473@gmail.com)

**Abstrak**

**Latar belakang:** Produktivitas tanaman hortikultura di Indonesia menurun akibat ketergantungan terhadap pupuk kimia sintetis yang menyebabkan degradasi tanah dan pencemaran lingkungan. Di sisi lain, limbah jerami padi yang melimpah belum dimanfaatkan secara optimal, padahal mengandung silika alami yang berpotensi meningkatkan kesuburan tanah. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengkomersialisasikan **Verdasil**, pupuk cair berbasis **nanofertilizer silika** hasil inokulasi mikroba dari limbah jerami padi sebagai solusi ramah lingkungan bagi peningkatan produktivitas tanaman hortikultura. Verdasil diproduksi melalui ekstraksi silika dari abu jerami padi menggunakan larutan NaOH dan HCl, dilanjutkan proses ultrasonikasi untuk memperoleh nanosilika. Campuran batang pisang, EM4, molase, dan nanosilika difermentasi selama lima hari untuk menghasilkan pupuk cair dan serbuk. **Metode:** Program pelaksanaan meliputi tahap pra-produksi, produksi, dan pasca-produksi, dengan strategi pemasaran digital serta kerja sama petani lokal. **Hasil:** Hasil uji laboratorium menunjukkan nanosilika Verdasil berukuran 28–118 nm dengan pH netral (7,6), bebas logam berat dan mikroba patogen. Analisis finansial menunjukkan HPP Rp17.000, harga jual Rp30.000, B/C ratio 1,6, ROI 76%, dan BEP 57 unit. Verdasil telah terjual 350 botol dan 180 sachet dengan capaian produksi 95%. **Kesimpulan:** Verdasil dinyatakan layak secara teknis dan ekonomis sebagai inovasi pupuk ramah lingkungan yang mampu meningkatkan kesuburan tanaman hortikultura serta mendukung penerapan ekonomi hijau dan pertanian berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Hortikultura, Jerami padi, Nanofertilizer, Pupuk organik, Verdasil

***Processing of Rice Straw Waste into SMilica Nanofertilizer (Verdasil)  
as a Fertility Booster for Horticultural Crops***

***Abstract***

**Background:** The productivity of horticultural crops in Indonesia has declined due to the excessive use of synthetic chemical fertilizers, leading to soil degradation and environmental pollution. Meanwhile, the abundant rice straw waste has not been optimally utilized, even though it contains natural silica that can enhance soil fertility. **Objective:** This study aims to develop and commercialize **Verdasil**, a liquid fertilizer based on **silica nanofertilizer** produced through microbial inoculation of rice straw waste as an environmentally friendly solution to improve horticultural productivity. Verdasil is produced by extracting silica from rice straw ash using NaOH and HCl solutions, followed by an ultrasonication process to obtain nanosilica. A mixture of banana stems, EM4, molasses, and nanosilica is fermented for five days to produce both liquid and powder fertilizers. **Method:** The implementation program includes pre-production, production, and post-production stages, combined with digital marketing strategies and collaboration with local farmers. **Result:** Laboratory tests showed that Verdasil nanosilica has a particle size of 28–118 nm, a neutral pH (7.6), and is free of heavy metals and pathogenic microbes. Financial analysis revealed a production cost of Rp17,000, a selling price of Rp30,000, a B/C ratio of 1.6, an ROI of 76%, and a BEP of 57 units. **Conclusion:** Verdasil, with sales of 350 bottles and 180 sachets (95% production achievement), is proven to be technically and economically feasible as an eco-friendly fertilizer innovation supporting green economy and sustainable agriculture.

**Keywords:** Horticulture, Nanofertilizer, Organic fertilizer, Rice straw, Verdasil

### PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan salah satu bidang strategis yang memiliki peran penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional serta kesejahteraan masyarakat. Salah satu subsektor yang memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan nilai ekonomi dan gizi masyarakat adalah hortikultura (Cahyani, Kimbal dan Rumagit, 2025). Komoditas hortikultura seperti sayuran dan buah-buahan memiliki permintaan pasar yang tinggi dan stabil karena dapat dipasarkan langsung maupun diolah menjadi berbagai produk turunan. Namun, produktivitas tanaman hortikultura di Indonesia masih menghadapi tantangan serius, terutama akibat penurunan kesuburan tanah dan ketergantungan terhadap pupuk anorganik yang semakin sulit dijangkau oleh petani. Data Direktorat Jenderal Hortikultura (2024) menunjukkan bahwa produksi sayuran nasional pada tahun 2023 mengalami penurunan sebesar 4,34% dibandingkan tahun sebelumnya. Kondisi ini disebabkan oleh keterbatasan ketersediaan pupuk serta rendahnya efisiensi penggunaan unsur hara pada lahan pertanian. Fenomena ini sejalan dengan temuan Yadav et al. (2023) yang menyebutkan bahwa intensifikasi penggunaan pupuk kimia menurunkan kualitas mikrobiota tanah dan efisiensi nutrisi tanaman, serta laporan Liu et al. (2020) yang menunjukkan bahwa degradasi tanah akibat penggunaan pupuk anorganik berlebihan berkontribusi terhadap penurunan produktivitas pertanian jangka panjang.

Inovasi berbasis teknologi ramah lingkungan menjadi solusi penting dalam mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu upaya yang potensial adalah pemanfaatan limbah jerami padi sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik berbasis nanoteknologi. Limbah jerami padi mengandung unsur silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang berperan penting dalam memperkuat struktur tanaman, meningkatkan efisiensi fotosintesis, serta memperbaiki kualitas tanah (Elmiany et al., 2024). Berdasarkan hal tersebut, tim peneliti mengembangkan produk **Verdasil**, yaitu *nanofertilizer silika* hasil inokulasi mikroba terhadap limbah jerami padi yang berfungsi sebagai *booster* kesuburan tanaman hortikultura. Verdasil hadir sebagai alternatif pupuk organik inovatif yang tidak hanya memperkaya unsur hara tanah tetapi juga berkontribusi terhadap pengelolaan limbah pertanian yang berkelanjutan. Keunggulan Verdasil terletak pada penerapan bioteknologi mikroba dan teknik nanosilika yang meningkatkan efektivitas penyerapan nutrisi serta efisiensi pemupukan dibandingkan produk konvensional (Bonita et al., 2024).

Kebaruan penelitian ini terletak pada kombinasi teknologi fermentasi mikroba dan ultrasonikasi dalam menghasilkan nanosilika aktif dari limbah jerami padi. Proses ini tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga menciptakan produk bernilai ekonomi tinggi yang mendukung ekonomi hijau dan keberlanjutan sektor pertanian. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Prasad et al. (2023) yang menyatakan bahwa teknologi hibrid antara bioteknologi dan nanoteknologi dapat meningkatkan efisiensi pupuk dan menurunkan dampak lingkungan pertanian. Penelitian Gupta dan Singh (2022) menunjukkan bahwa nanosilika hasil proses ultrasonikasi memiliki aktivitas biokatalitik yang lebih tinggi dan mudah diserap tanaman. Selain itu, laporan Kumar et al. (2024) menegaskan bahwa integrasi konsep *green entrepreneurship* dan pemanfaatan limbah pertanian berpotensi besar dalam mendorong pertanian berkelanjutan berbasis inovasi. Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan produk Verdasil sebagai inovasi pupuk *nanofertilizer* silika berbasis limbah jerami padi yang ramah lingkungan, meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman hortikultura, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan wirausaha pertanian berkelanjutan di masyarakat.

#### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Pationgi, Kecamatan Patimpeng, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan, yang merupakan wilayah dengan potensi besar dalam pengelolaan limbah jerami padi. Penelitian dilakukan selama empat bulan, dimulai dari tahap persiapan bahan hingga tahap produksi dan karakterisasi produk. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian terapan (*applied research*) dengan pendekatan eksperimen laboratorium dan pengembangan produk. Penelitian ini tidak termasuk dalam kategori yang memerlukan uji etik terhadap manusia atau hewan, sehingga tidak membutuhkan persetujuan komisi etik (Rosdaliani et al., 2024).

Kegiatan penelitian terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu tahap pra-produksi, tahap produksi, dan tahap pascaproduksi. Pada tahap pra-produksi dilakukan pengumpulan bahan baku berupa limbah jerami padi yang diperoleh dari lahan pertanian setempat. Jerami padi kemudian dibersihkan, dijemur hingga kering, dan dibakar hingga menjadi abu sebagai sumber silika. Tahap produksi diawali dengan ekstraksi silika dari abu jerami menggunakan larutan NaOH 4N (Wibowo et al., 2018). Sebanyak 100gram abu jerami dicampurkan dengan 200 mL larutan NaOH, kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama dua jam sambil diaduk hingga terbentuk larutan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Larutan disaring untuk memisahkan

residu, kemudian ditambahkan larutan HCl 4N hingga terbentuk endapan silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Heriyanti, Sari dan Asyhar, 2019). Endapan dikeringkan dalam oven untuk memperoleh silika murni (Wulandari, Asfar dan Asfar, 2023).

Tahap selanjutnya adalah pembuatan nanosilika dengan metode *ultrasonic-milling*. Silika yang diperoleh dilarutkan ke dalam *Polyethylene Glycol (PEG) 6000* dengan perbandingan 1:5 dan dipanaskan hingga suhu  $105^\circ\text{C}$  (Desianti, 2018). Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit, kemudian disonikasi menggunakan *ultrasonic bath* selama 60–120 menit. Proses ultrasonikasi menghasilkan partikel silika berukuran nano melalui mekanisme kavitasi akustik, yang memecah partikel menjadi ukuran lebih kecil secara homogen. Hasil nanosilika dikeringkan dalam oven, kemudian didiamkan selama 48 jam hingga terbentuk endapan yang siap digunakan sebagai bahan aktif dalam formulasi Verdasil (Fajar et al., 2023).

Tahap terakhir yaitu formulasi pupuk Verdasil. Pada tahap ini, nanosilika dicampurkan dengan larutan EM4 (Effective Microorganism-4) dan molase sebagai sumber karbon untuk mikroba. Campuran ini kemudian dihomogenkan bersama cacahan batang pisang dan difermentasi selama  $\pm 5$  hari dalam wadah tertutup. Setelah proses fermentasi selesai, campuran disaring untuk memisahkan filtrat dan ampas. Filtrat yang dihasilkan digunakan sebagai pupuk cair Verdasil, sedangkan ampas dihaluskan dan dikeringkan kembali untuk menghasilkan pupuk bubuk Verdasil. Proses fermentasi menggunakan EM4 berperan penting dalam memperbanyak populasi mikroorganisme dekomposer yang dapat mempercepat penguraian bahan organik (Hidayat, Mulyono dan Wibowo, 2021), sedangkan penambahan molase berfungsi sebagai sumber energi yang meningkatkan aktivitas mikroba selama proses fermentasi (Pereira, Carvalho dan Santos, 2020).

### **HASIL**

Penelitian dan pengembangan produk Verdasil menghasilkan inovasi pupuk cair dan bubuk berbasis nanosilika dari limbah jerami padi melalui penerapan bioteknologi mikroba dan metode ultrasonikasi. Proses penelitian dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu ekstraksi silika dari abu jerami, pembuatan nanosilika, serta formulasi pupuk cair dan pupuk bubuk Verdasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi antara proses presipitasi kimia dan ultrasonikasi mampu menghasilkan nanosilika yang lebih halus, homogen, dan memiliki stabilitas tinggi. Endapan silika yang diperoleh dari proses ekstraksi memiliki warna putih keabu-abuan dengan kadar air rendah setelah dikeringkan pada suhu  $90^\circ\text{C}$  selama dua jam. Hasil ini sejalan dengan penelitian Suriati et al. (2023) yang

menunjukkan bahwa abu jerami padi mengandung hingga 92% silika amorf yang mudah diekstraksi, serta laporan Ginting et al. (2021) yang menegaskan bahwa penggunaan teknik ultrasonikasi meningkatkan homogenitas dan memperkecil ukuran partikel nanosilika. Selain itu, Zhang et al. (2020) juga menjelaskan bahwa proses ultrasonikasi berperan penting dalam meningkatkan stabilitas dispersi nanosilika melalui mekanisme kavitasi akustik yang memecah aglomerat partikel menjadi struktur yang lebih halus.

Hasil formulasi menunjukkan bahwa campuran nanosilika dengan larutan EM4 dan molase menghasilkan produk pupuk cair berwarna coklat muda dengan aroma fermentasi alami dan pH netral, sedangkan pupuk bubuk yang dihasilkan berwarna abu muda dengan tekstur lembut, mudah larut, dan stabil terhadap penyimpanan. Berdasarkan hasil uji organoleptik dan observasi terhadap pertumbuhan tanaman hortikultura (cabai dan tomat), pupuk Verdasil menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman dibandingkan dengan perlakuan kontrol tanpa pupuk nano.

**Tabel 1. Hasil uji pertumbuhan tanaman hortikultura setelah aplikasi Verdasil**

Perlakuan	Rata-rata tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (helai)	Persentase pertumbuhan (%)
Tanpa pupuk (kontrol)	17,5	6	100
Pupuk organik biasa	21,8	8	124,5
Verdasil (nanofertilizer silika)	27,6	12	157,7

**note: Data menunjukkan peningkatan pertumbuhan signifikan ( $p < 0,05$ ) berdasarkan uji ANOVA sederhana**

Berdasarkan hasil pengamatan selama masa pertumbuhan, tanaman yang diberi perlakuan Verdasil memiliki pertumbuhan lebih cepat, daun lebih hijau, dan batang lebih kokoh dibandingkan dengan kontrol maupun perlakuan pupuk organik biasa. Peningkatan tinggi tanaman mencapai 57,7% dan peningkatan jumlah daun mencapai 100% dibandingkan tanaman tanpa pupuk nano. Hasil ini menunjukkan bahwa nanosilika dalam Verdasil berfungsi efektif sebagai agen peningkat penyerapan unsur hara dan penguat struktur tanaman, sedangkan mikroba pada proses fermentasi membantu memperbaiki ekosistem mikroorganisme tanah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Verdasil layak dikembangkan sebagai inovasi pupuk organik berbasis nanoteknologi yang ramah lingkungan dan mendukung peningkatan produktivitas tanaman hortikultura. Produk ini tidak hanya efektif dalam memperbaiki kesuburan tanah, tetapi juga



## PROSIDING SEMINAR NASIONAL KUSUMA IV Kualitas Sumberdaya Manusia

### **“ Harmoni Budaya Lokal dan Teknologi untuk Pembangunan Berkelanjutan ”**

memiliki potensi ekonomi tinggi untuk diterapkan secara komersial di kalangan petani.

#### **PEMBAHASAN**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pupuk Verdasil mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman hortikultura secara nyata dibandingkan dengan kontrol tanpa perlakuan maupun penggunaan pupuk organik biasa. Hal ini membuktikan bahwa inovasi *nanofertilizer silika* berbasis limbah jerami padi efektif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan efisiensi penyerapan unsur hara. Temuan ini sejalan dengan teori yang dikemukakan oleh Sutarman, Puspita, dan Prihatiningrum (2024), yang menyatakan bahwa pupuk berbasis nanoteknologi mampu mempercepat penyerapan nutrisi serta menekan kehilangan unsur hara melalui mekanisme pelepasan bertahap (*slow release*). Keunggulan utama Verdasil terletak pada penggunaan nanosilika hasil proses ultrasonikasi yang memiliki ukuran partikel sangat kecil, sehingga mudah diserap oleh akar tanaman dan meningkatkan efisiensi metabolisme tumbuhan.

Proses fermentasi yang melibatkan EM4 dan molase juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kesuburan tanah. Mikroorganisme efektif yang terkandung di dalam EM4 berperan dalam menguraikan bahan organik, memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Hal ini sesuai dengan penelitian Roy *et al.*, 2022. yang menegaskan bahwa keberadaan mikroba tanah yang aktif dapat mempercepat proses dekomposisi bahan organik, sehingga nutrisi menjadi lebih mudah diserap oleh tanaman hortikultura. Dengan demikian, kombinasi antara nanosilika dan bioteknologi mikroba dalam Verdasil menghasilkan sinergi yang mendukung peningkatan produktivitas tanaman sekaligus memperbaiki kondisi ekosistem tanah.

Dari perspektif inovasi, Verdasil memiliki kebaruan (*novelty*) dibandingkan produk pupuk organik konvensional karena mengintegrasikan dua pendekatan teknologi, yaitu bioteknologi dan nanoteknologi. Pendekatan ini sejalan dengan arah pengembangan *green entrepreneurship*, di mana produk tidak hanya bernilai ekonomi tetapi juga ramah lingkungan. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa pengolahan limbah jerami padi menjadi pupuk organik bernilai tinggi mampu mengatasi dua permasalahan utama sekaligus, yaitu penumpukan limbah pertanian dan kelangkaan pupuk kimia di tingkat petani. Implikasi temuan ini sangat relevan dengan tujuan penelitian yang ingin menghadirkan solusi berkelanjutan bagi sektor pertanian sekaligus mendukung pencapaian *Sustainable*



## PROSIDING SEMINAR NASIONAL KUSUMA IV Kualitas Sumberdaya Manusia

### **“ *Harmoni Budaya Lokal dan Teknologi untuk Pembangunan Berkelanjutan* ”**

*Development Goals* (SDGs) poin 8 dan 12, yang berfokus pada pertumbuhan ekonomi hijau dan produksi berkelanjutan.

Selain memberikan kontribusi terhadap bidang pertanian, penelitian ini juga memiliki nilai sosial dan budaya yang tinggi. Pemanfaatan limbah lokal seperti jerami padi mendorong kemandirian ekonomi masyarakat pedesaan serta memperkuat nilai-nilai gotong royong dan kearifan lokal dalam pengelolaan sumber daya alam. Penerapan produk Verdasil oleh petani dapat meningkatkan hasil panen, mengurangi biaya produksi, serta menciptakan peluang wirausaha baru bagi masyarakat desa. Dengan demikian, kegiatan PKM-K ini tidak hanya berkontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (ipteks), tetapi juga terhadap peningkatan kesejahteraan dan keberlanjutan kehidupan masyarakat pertanian.

### **KESIMPULAN**

Penelitian ini menghasilkan produk Verdasil, yaitu pupuk organik cair dan bubuk berbasis *nanofertilizer* silika dari limbah jerami padi melalui penerapan bioteknologi mikroba dan proses ultrasonikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Verdasil mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman hortikultura secara signifikan dibandingkan pupuk organik biasa, dengan peningkatan tinggi tanaman hingga 57,7% dan jumlah daun dua kali lipat lebih banyak. Inovasi ini membuktikan bahwa kombinasi nanosilika dan mikroba efektif memperbaiki struktur tanah, mempercepat dekomposisi bahan organik, serta meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara. Secara keseluruhan, Verdasil tidak hanya menjadi solusi ramah lingkungan terhadap permasalahan limbah jerami dan kelangkaan pupuk kimia, tetapi juga memiliki potensi tinggi untuk dikembangkan sebagai produk kewirausahaan hijau (*green entrepreneurship*) yang mendukung pertanian berkelanjutan dan pemberdayaan ekonomi masyarakat ke depan.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan (Belmawa) atas dukungan pendanaan melalui program PKM-K (Program Kreativitas Mahasiswa Bidang Kewirausahaan) tahun pelaksanaan 2024. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Bone atas bimbingan, fasilitas, serta dukungan moral dan material yang telah diberikan selama pelaksanaan kegiatan penelitian dan pengembangan produk Verdasil.

Dukungan dari berbagai pihak tersebut sangat berperan penting dalam terselenggaranya kegiatan ini tanpa adanya konflik kepentingan di kemudian hari.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bonita A. F. H., Asfar A. M. I. T., Asfar A. M. I. A., Syaifullah A., & Cakra A. R. S., 2024. Plant Growth Promoting Rhizobacter As An Alternative Liquid Organic Fertilizer Based On Bamboo Roots. *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 6, 2: 375–380.
- Cahyani A. B. C. A. B., Kimbal R. W., & Rumagit M. C., 2025. Pengaruh Sektor Pertanian Pangan Dan Hortikultura Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Di Sulawesi Utara. *Jurnal Equilibrium*. 6, 1: 7–17.
- Desianti I., 2018. Karakterisasi Nanosilika Dari Abu Terbang (Fly Ash) PT Bosowa Energi Jeneponto Dengan Metode Ultrasonic. *Jurnal Fisika Terapan*. 5, 2.
- Elmiany W., Towolioe S., Ainuddin A., & Suci I. A., 2024. Dari Padi Untuk Padi (Pupuk Biosilika Dari Limbah Sekam Padi Untuk Pertumbuhan Padi). *Jurnal Agrosains Universitas Panca Bhakti*. 17, 1: 64–69.
- Fajar H. R., Asfar A. M. I. A., Syahrir M., Yasser M., Mukhsen M. I., Asfar A. M. I. T., & Rifai A., 2023. Silase Berbasis Limbah Jerami Jagung Sebagai Pakan Ternak Alternatif Musim Kemarau. *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*. 9, 3: 102–110.
- Ginting S. P., Hutapea Y., & Simanjuntak P. D., 2021. Synthesis Of Nanosilica From Rice Husk Using Ultrasonic-Assisted Sol-Gel Method. *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering*. 1071, 1: 012-040.
- Gupta A. K. & Singh N., 2022. Ultrasonically Synthesized Silica Nanoparticles As Efficient Carrier For Plant Nutrients And Growth Enhancement. *Journal Of Materials Research And Technology*. 18: 4567–4578.
- Heriyanti H., Sari W. M., & Asyhar R., 2019. Analisis Kandungan Silikon (Si) Pada Batubara PT Tambang Bukit Tambi Provinsi Jambi. *Journal Of The Indonesian Society Of Integrated Chemistry*. 11, 2: 57–63.
- Hidayat N., Mulyono E., & Wibowo S., 2021. Pengaruh Penambahan EM4 Terhadap Kualitas Pupuk Cair Dari Limbah Organik Rumah Tangga. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 26, 3: 412–419.
- Kumar S., Mishra P., & Das A., 2024. Green Entrepreneurship In Circular Bioeconomy: Converting Agricultural Waste Into Sustainable Fertilizer Products. *Journal Of Cleaner Production*. 443: 141201.
- Liu J., He N., Zhang J., Xu L., & Yu G., 2020. Effects Of Chemical Fertilization On Soil Nutrient Availability And Microbial Community Structure: A Meta-Analysis. *Soil Biology And Biochemistry*. 151: 108024.
- Pereira J., Carvalho C., & Santos E., 2020. The Role Of Molasses As A Carbon Source For Microbial Growth And Fermentation Efficiency In Organic Fertilizer Production. *Bioresource Technology Reports*. 11: 100492.

- Prasad R., Bhattacharyya A., & Nguyen Q., 2023. Nanotechnology In Sustainable Agriculture: Synergy Between Biotechnology And Nanofertilizers For Environmental Safety. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 20: 100837.
- Rosdaliani A., Trisnowali A., Asfar A. M. I. T., Asfar A. M. I. A., Nurannisa A., Wahdania W., & Harahap T. A., 2024. Utilitasi Buah Maja Menjadi Pupuk Organik Dan Bahan Pengendali Alami Cair Di Dusun Pettungnge. *Society: Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*. 4, 2: 179–189.
- Roy D., Gunri S. K., Neogi S., Ali O., Sharma J., Bhadu A., & Singh B., 2022. Effect Of Microbes In Enhancing The Composting Process: A Review. *International Journal Of Plant & Soil Science*. 34, 23: 630–641.
- Suriati R., Ningsih R., & Rahmawati D., 2023. Extraction And Characterization Of Silica From Rice Husk Ash As A Potential Material For Nanofertilizer Production. *Materials Today: Proceedings*. 72, 5: 1732–1738.
- Sutarman S., Puspita O. E., & Prihatiningrum A. E., 2024. Biopestisida Nanopartikel Bioinokulan Fungi Untuk Perlindungan Kesehatan Tanaman Hortikultur. *Umsida Press*.
- Wibowo E. A. P., Arzanto A. W., Maulana K. D., & Rizkita A. D., 2018. Preparasi Dan Karakterisasi Nanosilika Dari Jerami Padi. *Jurnal Ilmiah Sains*. : 35–40.
- Wulandari F., Asfar A. M. I. T., & Asfar A. M. I. A., 2023. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Kombinasi Daun Bambu Sebagai Pupuk Kalium Silika Pada Kelompok Karang Taruna. *JCOMMITS: Journal Of Community Empowerment, Innovation, And Sustainability*. 1, 1: 18–23.
- Yadav B. K., Singhal S., Pandey V. C., & Raghubanshi A. S., 2023. Sustainable Approaches To Soil Fertility Management In Agroecosystems: Role Of Microbial Interactions And Biofertilizers. *Agronomy*. 13, 4: 1078.
- Zhang Q., Chen Y., & Li J., 2020. Ultrasonic-Assisted Preparation Of Silica Nanoparticles From Agricultural Waste And Its Dispersion Stability Analysis. *Journal Of Cleaner Production*. 256: 120424.