

Pelatihan Pembuatan Pupuk Organik Cair Berbasis Limbah Organik Lokal Bagi Masyarakat Desa Waleo Dua, Kabupaten Minahasa Utara

Parluhutan Siahaan*, Agustina Monalisa Tangapo, Fitri Elizabeth Br Hasibuan,
Anastasia Naomi Enjelina Wuwung, Intan Michaela Purukan, Damai Tabita Soputan

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi,
Manado, Indonesia

*Email korespondensi: luhut.siahaan68@unsrat.ac.id

Abstrak

Limbah sayur, kulit buah, dan sisa tanaman di Desa Waleo Dua belum dimanfaatkan secara optimal, sedangkan petani masih bergantung pada input pupuk yang dibeli. Kegiatan Program Kemitraan Masyarakat ini bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan masyarakat dalam membuat pupuk organik cair (POC) tanpa aktivator komersial EM4 melalui pemanfaatan mikroorganisme lokal (MOL) berbasis air cucian beras dan buah matang. Kegiatan dilaksanakan pada 22 Juli – 30 September 2026 dengan 30 peserta menggunakan pendekatan partisipatif yang mencakup penyuluhan, demonstrasi, praktik kelompok, evaluasi pre-test dan post-test, serta observasi keterampilan. Formula demonstrasi terdiri atas 5 kg limbah organik tercacah, 10 L air tidak berklorin, 1 L MOL matang, dan 500 g gula merah, kemudian difermentasi selama 21 hari dalam wadah tertutup yang dilengkapi saluran gas. Berdasarkan data simulasi sementara, skor pengetahuan rata-rata meningkat dari 43,7 menjadi 86,0, sedangkan 25 peserta (83,3%) mampu melaksanakan sedikitnya empat dari lima tahapan praktik secara benar. Sebanyak 27 peserta (90,0%) menyatakan berminat memproduksi POC secara mandiri. Produk contoh yang telah disiapkan sebelum pelatihan menunjukkan warna cokelat tua, aroma asam-manis, dan pH 4,1 setelah fermentasi. Hasil ini mengindikasikan bahwa pelatihan berbasis bahan lokal berpotensi meningkatkan kapasitas masyarakat sekaligus menawarkan teknologi pengelolaan limbah yang murah dan mudah direplikasi. POC perlu digunakan secara encer sebagai pupuk pelengkap, meskipun demikian mutu produk tetap perlu dikonfirmasi melalui analisis laboratorium serta uji tanaman.

Kata Kunci: pupuk organik cair; mikroorganisme lokal; limbah rumah tangga; pelatihan partisipatif; Desa Waleo Dua

PENDAHULUAN

Analisis Situasi

Desa Waleo Dua terletak di Kecamatan Kema, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Pertanian dan pemanfaatan pekarangan merupakan bagian penting dari aktivitas ekonomi masyarakat, terutama untuk tanaman hortikultura seperti cabai, tomat, kangkung, bayam, pisang, dan kelapa. Publikasi statistik daerah juga menunjukkan bahwa sektor pertanian tetap menjadi salah satu unsur penting dalam struktur perekonomian Kabupaten Minahasa Utara (BPS Kabupaten Minahasa Utara, 2025). Pada saat yang sama, kegiatan rumah tangga dan budidaya menghasilkan sisa sayur, kulit buah, dedaunan, serta biomassa tanaman yang sering hanya ditumpuk, dibuang, atau dibakar.

Pengembalian bahan organik ke sistem budidaya merupakan salah satu strategi untuk memperbaiki siklus hara dan mengurangi beban limbah. Limbah organik dapat dikonversi menjadi bahan pembenah tanah atau pupuk melalui proses biologis, sehingga memiliki nilai tambah dalam kerangka ekonomi sirkular (Pajura *et al.*, 2023). Pemanfaatan sampah organik rumah tangga juga telah diterapkan dalam berbagai kegiatan pemberdayaan masyarakat karena bahan bakunya tersedia di sekitar rumah dan teknologi pengolahannya relatif sederhana (Firdani *et al.*, 2023).

Pupuk organik cair merupakan ekstrak atau hasil fermentasi bahan organik yang mengandung senyawa terlarut, mikroorganisme, dan unsur hara dengan komposisi yang bergantung pada bahan serta proses pembuatannya. Karena mutunya bervariasi, POC

sebaiknya diposisikan sebagai pupuk pelengkap dan bukan otomatis sebagai pengganti penuh pupuk mineral. Studi mengenai pupuk cair berbasis limbah menunjukkan potensi pemanfaatannya, tetapi juga menekankan pentingnya pengenceran, keseimbangan hara, pH, dan pengujian produk sebelum aplikasi luas (Paponov *et al.*, 2021; Pajura *et al.*, 2023).

Salah satu kendala praktis yang disampaikan masyarakat adalah sulitnya memperoleh aktivator komersial EM4 secara konsisten. Oleh karena itu, teknologi yang diperkenalkan dalam kegiatan ini menggunakan MOL dari bahan lokal. Air cucian beras mengandung fraksi nutrisi dan komunitas mikroba yang dapat berubah selama fermentasi. Nabayi *et al.* (2021a; 2021b) menunjukkan bahwa fermentasi air cucian beras meningkatkan populasi bakteri serta aktivitas terkait fiksasi nitrogen, pelarutan fosfor dan kalium, dan produksi asam indol asetat. Temuan tersebut memberikan dasar ilmiah untuk menggunakan air cucian beras sebagai salah satu komponen starter lokal, meskipun kualitas setiap batch tetap dipengaruhi kebersihan, bahan tambahan, lama fermentasi, dan kondisi lingkungan.

Permasalahan Mitra dan Tujuan Kegiatan

Hasil observasi dan komunikasi awal dengan pemerintah serta masyarakat Desa Waleo Dua menunjukkan empat permasalahan utama, yaitu rendahnya pemanfaatan limbah organik, terbatasnya pengetahuan tentang proses fermentasi, ketergantungan pada bahan atau produk yang harus dibeli, dan belum tersedianya panduan sederhana mengenai dosis aplikasi POC. Situasi ini menunjukkan perlunya pelatihan yang tidak hanya menyampaikan konsep, tetapi juga membangun keterampilan melalui praktik langsung.

Kegiatan ini bertujuan: (1) meningkatkan pemahaman peserta mengenai hubungan pengelolaan limbah organik dengan kesuburan tanah; (2) melatih peserta memproduksi POC tanpa EM4 tetapi menggunakan MOL berbahan lokal; (3) meningkatkan kemampuan peserta mengenali indikator fermentasi dan menggunakan POC secara aman; serta (4) menilai perubahan pengetahuan, keterampilan, dan minat adopsi peserta setelah pelatihan.

METODE PELAKSANAAN

Waktu, Tempat, dan Peserta

Kegiatan ini dilaksanakan pada 22 Juli – 30 September 2026 di Desa Waleo Dua, Kecamatan Kema, Kabupaten Minahasa Utara. Peserta berjumlah 30 orang yang terdiri atas petani, anggota kelompok tani, dan warga yang mengelola tanaman pekarangan. Tim pelaksana berasal dari Program Studi Biologi, FMIPA Universitas Sam Ratulangi, dengan dukungan pemerintah desa dan mahasiswa.

Pendekatan Pelaksanaan

Pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatif yang menempatkan peserta sebagai pelaku utama dalam identifikasi bahan, pencacahan, penakaran, pencampuran, perakitan wadah fermentasi, dan simulasi aplikasi. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip *Participatory Rural Appraisal* yang menekankan pembelajaran bersama dan pemanfaatan pengalaman lokal (Chambers, 1994). Kombinasi penjelasan singkat dan *learning by doing* dipilih karena peserta dewasa cenderung lebih mudah menginternalisasi pengetahuan ketika materi berhubungan langsung dengan masalah yang mereka hadapi (Knowles *et al.*, 2020).

Tahapan kegiatan meliputi koordinasi dan identifikasi bahan lokal; pre-test; penyuluhan mengenai limbah organik, fermentasi, dan penggunaan POC; demonstrasi pembuatan MOL dan POC; praktik kelompok; penjelasan indikator kematangan dan dosis aplikasi; post-test; serta pengisian angket respons peserta. Tim menyiapkan satu batch POC yang telah difermentasi sebelumnya agar peserta dapat membandingkan POC belum matang dengan produk yang telah mencapai indikator kematangan.

Formula POC yang Dilatihkan

Starter MOL dibuat dari 1 L air cucian beras pertama, 250 g buah pisang atau pepaya yang sangat matang dan dihancurkan, serta 100 g gula merah yang telah dilarutkan. Campuran dimasukkan ke botol berkapasitas sedikitnya 2 L, disisakan ruang gas, kemudian difermentasi selama 7–10 hari di tempat teduh. Tutup wadah dihubungkan dengan selang kecil menuju botol berisi air untuk membuang gas tanpa membiarkan udara luar masuk. MOL dianggap siap digunakan apabila aromanya asam-manis khas fermentasi, tidak berbau busuk menyengat, dan pembentukan gas mulai menurun.

Formula satu batch POC terdiri atas 5 kg limbah sayur, kulit buah, dan daun muda yang bebas minyak, deterjen, daging, tulang, serta bahan berjamur; 10 L air tidak berklorin; 1 L MOL matang; dan 500 g gula merah. Bahan organik dicacah 2–3 cm, dimasukkan ke wadah fermentasi 20 L, kemudian ditambahkan larutan gula, MOL, dan air. Wadah ditutup rapat serta dilengkapi selang pembuangan gas. Fermentasi dilakukan selama 21 hari di tempat teduh. Setelah fermentasi, cairan disaring dan disimpan dalam botol berlabel, sedangkan ampas dimanfaatkan sebagai bahan kompos padat.

POC matang dikenali secara sederhana melalui warna cokelat, aroma asam-manis atau seperti tape, berkurangnya produksi gas, dan tidak adanya bau busuk menyengat. Aplikasi diperkenalkan dengan prinsip mulai dari konsentrasi rendah: 50 mL POC per 1 L air (1:20) untuk kocor pada tanaman dewasa dan 20 mL per 1 L air (1:50) untuk semprot daun. Untuk bibit atau tanaman sensitif dianjurkan pengenceran 1:50–1:100 dan uji pada beberapa tanaman terlebih dahulu. Aplikasi dilakukan pagi atau sore setiap 7–14 hari, dan POC tidak diaplikasikan dalam keadaan pekat.

Pengumpulan dan Analisis Data

Pengetahuan peserta dinilai menggunakan sepuluh pertanyaan pilihan benar-salah yang mencakup bahan yang boleh digunakan, fungsi gula, prinsip fermentasi, indikator kematangan, penyaringan, penyimpanan, dan dosis aplikasi. Skor dikonversi ke skala 0–100. Keterampilan diamati menggunakan daftar cek lima komponen, yaitu pemilahan bahan, ketepatan perbandingan, pencacahan dan pencampuran, pemasangan saluran gas, serta penentuan dosis aplikasi. Respons dan minat adopsi diukur dengan angket singkat. Data dianalisis secara deskriptif dalam bentuk rerata, simpangan baku, frekuensi, dan persentase. Karena angka dalam naskah ini masih berupa data simulasi, interpretasi statistik inferensial tidak dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan dan Partisipasi Peserta

Seluruh 30 peserta mengikuti kegiatan dari tahap penyuluhan hingga evaluasi akhir (**Gambar 1**). Peserta dibagi menjadi lima kelompok, masing-masing enam orang, sehingga setiap peserta memperoleh kesempatan menangani bahan dan alat. Bahan yang paling mudah dikenali dan tersedia menurut peserta adalah kulit pisang, sisa sayur,

daun, buah terlalu matang, air cucian beras, dan gula merah. Diskusi paling banyak muncul pada aspek keamanan wadah fermentasi, perbedaan aroma asam dengan bau busuk, serta pengenceran saat aplikasi.



Gambar 1. Penyuluhan dan praktik pembuatan POC di Desa Waleo Dua

Keterlibatan aktif peserta menunjukkan bahwa teknologi yang dipilih sesuai dengan konteks lokal. Tidak digunakannya EM4 mengurangi ketergantungan pada produk yang sulit diperoleh, tetapi sekaligus menuntut penjelasan lebih kuat mengenai konsistensi proses dan higiene. Pendekatan serupa pada pelatihan pupuk organik cair di masyarakat juga dilaporkan dapat meningkatkan pemahaman dan mendukung penggunaan bahan lokal ketika demonstrasi dipadukan dengan evaluasi pre-test dan post-test (Mulyana *et al.*, 2025).

Peningkatan Pengetahuan Peserta

Hasil simulasi evaluasi menunjukkan peningkatan skor pada seluruh aspek pengetahuan (**Tabel 1**). Rata-rata keseluruhan meningkat dari $43,7 \pm 12,1$ menjadi $86,0 \pm 8,4$. Peningkatan terbesar terdapat pada aspek fermentasi dan indikator kematangan, yaitu 47,4 poin. Sebelum pelatihan, sebagian peserta menganggap wadah harus sering dibuka untuk mengeluarkan gas; setelah demonstrasi, peserta memahami fungsi selang gas sebagai jalur pelepasan tekanan sekaligus pembatas masuknya udara luar.

Tabel 1. Hasil pre-test dan post-test pengetahuan peserta tentang POC tanpa EM4 (n=30)

Aspek pengetahuan	Pre-test (rerata $\pm$ SD)	Post-test (rerata $\pm$ SD)	Peningkatan
Bahan dan manfaat POC	$48,0 \pm 15,2$	$88,3 \pm 9,5$	40,3
Pembuatan MOL lokal	$41,3 \pm 14,6$	$84,7 \pm 10,1$	43,4
Fermentasi dan indikator kematangan	$37,3 \pm 16,1$	$84,7 \pm 10,4$	47,4
Penyaringan dan penyimpanan	$45,3 \pm 13,8$	$87,3 \pm 8,7$	42,0
Dosis dan waktu aplikasi	$46,7 \pm 15,0$	$85,0 \pm 9,7$	38,3
Rata-rata keseluruhan	$43,7 \pm 12,1$	$86,0 \pm 8,4$	42,3

Peningkatan skor tersebut dapat dijelaskan oleh keterkaitan langsung materi dengan pengalaman peserta. Peserta tidak hanya mendengar penjelasan, tetapi melihat tekstur bahan, mencium perbedaan aroma produk, mengukur bahan, dan merakit wadah.

Dalam pembelajaran orang dewasa, pengalaman konkret dan relevansi praktis berperan penting dalam membangun pemahaman (Knowles *et al.*, 2020). Hasil ini juga konsisten dengan prinsip PRA, yakni pengetahuan baru lebih mudah diterima ketika disandingkan dengan masalah dan sumber daya lokal (Chambers, 1994).

Keterampilan Pembuatan POC

Observasi simulasi menunjukkan bahwa sebagian besar peserta mampu mengikuti tahapan praktik. Sebanyak 29 orang (96,7%) dapat memilah bahan yang sesuai dan 27 orang (90,0%) dapat mencacah serta mencampur bahan dengan benar. Ketepatan menentukan perbandingan bahan dan dosis aplikasi masih lebih rendah, masing-masing 83,3% dan 80,0%. Hasil ini menunjukkan bahwa aspek numerik perlu diperkuat melalui kartu formula yang ditempel pada wadah dan gelas ukur sederhana.

Tabel 2. Capaian keterampilan peserta pada akhir praktik (n=30)

Komponen keterampilan	Peserta mampu (orang)	Persentase (%)
Memilah bahan organik yang aman digunakan	29	96,7
Menentukan perbandingan bahan, air, MOL, dan gula	25	83,3
Mencacah dan mencampur bahan secara benar	27	90,0
Memasang tutup dan saluran gas fermentasi	26	86,7
Menentukan pengenceran untuk kocor dan semprot	24	80,0

Kemampuan memilah bahan menjadi capaian tertinggi karena bahan dapat dikenali secara visual. Sebaliknya, perbandingan dan dosis memerlukan penguasaan satuan serta konsistensi pengukuran. Untuk memudahkan replikasi, formula kemudian disederhanakan ke dalam satu batch tetap dan peserta disarankan menggunakan wadah dengan tanda volume. Penggunaan bahan lokal juga memberi peluang mengurangi limbah organik rumah tangga, sebagaimana ditunjukkan pada kegiatan pemanfaatan sampah organik untuk kompos oleh Firdani *et al.* (2023).



Gambar 2. Rangkaian wadah fermentasi POC dengan selang pembuangan gas.

Karakteristik Produk Contoh

Produk contoh yang telah dipersiapkan tim sebelum pelatihan digunakan untuk memperlihatkan perubahan selama fermentasi (**Gambar 2**). Berdasarkan data simulasi pada **Tabel 3**, pH turun dari 5,6 menjadi 4,1 setelah 21 hari, warna berubah dari cokelat muda menjadi cokelat tua, aroma berkembang menjadi asam-manis, dan produksi gas menurun. Perubahan ini sesuai dengan terjadinya fermentasi dan pembentukan asam

organik, tetapi tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya dasar untuk menyatakan kandungan hara atau keamanan produk.

Tabel 3. Pengamatan sederhana terhadap produk POC

Parameter	Hari ke-0	Hari ke-10	Hari ke-21
pH	5,6	4,4	4,1
Warna	Cokelat muda	Cokelat	Cokelat tua
Aroma	Manis bahan segar	Asam-manis; gas aktif	Asam-manis; tidak busuk
Produksi gas	Belum tampak	Tinggi	Rendah
Keputusan	Belum difermentasi	Belum dipanen	Disaring dan diuji encer

Air cucian beras mendukung formula starter karena mengandung fraksi organik dan komunitas mikroba. Studi Nabayi *et al.* (2021a) menunjukkan adanya nutrisi dan mikroorganisme pada air cucian beras, sedangkan fermentasi dapat meningkatkan populasi bakteri dan aktivitas biologis tertentu (Nabayi *et al.*, 2021b). Namun, starter lokal tidak memiliki konsistensi komposisi seperti kultur terstandar. Karena itu, kebersihan wadah, pemilihan bahan, aroma, pH, lama fermentasi, dan uji aplikasi pada skala kecil harus diperhatikan.

Perlu ditekankan bahwa indikator organoleptik hanya menunjukkan proses berlangsung tanpa gejala pembusukan yang jelas. Kandungan nitrogen, fosfor, kalium, karbon organik, C/N, mikroba, logam berat, dan patogen tidak dapat disimpulkan tanpa pemeriksaan laboratorium. Variasi mutu pupuk cair berbasis limbah merupakan tantangan yang juga disoroti oleh Pajura *et al.* (2023). Paponov *et al.* (2021) menunjukkan bahwa pupuk cair berbasis limbah dapat dimanfaatkan bagi tanaman, tetapi ketidakseimbangan unsur hara dapat membatasi pertumbuhan atau kualitas hasil. Oleh karena itu, POC dalam kegiatan ini diperkenalkan sebagai pupuk pelengkap dan bahan pembelajaran pengelolaan limbah (**Gambar 3**).



Gambar 3. POC matang, proses penyaringan, dan simulasi aplikasi dengan cara kocor atau semprot

Respons dan Potensi Keberlanjutan

Berdasarkan data simulasi angket, 28 peserta (93,3%) menilai bahan mudah diperoleh, 27 peserta (90,0%) berminat membuat POC di rumah atau kelompok, 25

peserta (83,3%) merasa yakin dapat mengulang proses dengan panduan, dan 24 peserta (80,0%) bersedia mencoba aplikasi pada sebagian tanaman terlebih dahulu. Respons tersebut menunjukkan penerimaan awal yang baik, tetapi minat belum dapat disamakan dengan adopsi aktual.

Keberlanjutan program memerlukan pendampingan setelah fermentasi, pencatatan setiap batch, dan demonstrasi aplikasi pada tanaman. Langkah yang disarankan adalah membentuk satu kelompok kecil pengelola, menggunakan formula dan label seragam, mencatat tanggal pembuatan serta bahan, memeriksa pH, dan menguji POC pada beberapa tanaman sebelum diperluas. Pelatihan serupa yang dilaporkan Mulyana *et al.* (2025) menekankan pentingnya tindak lanjut agar pengetahuan berubah menjadi praktik berkelanjutan.

KESIMPULAN

Pelatihan pembuatan POC tanpa EM4 di Desa Waleo Dua dirancang dengan memanfaatkan limbah organik, air cucian beras, buah matang, dan gula merah sebagai bahan yang mudah diperoleh. Pada data simulasi 30 peserta, skor pengetahuan meningkat dari 43,7 menjadi 86,0; sebanyak 83,3% peserta menguasai sedikitnya empat dari lima tahapan praktik; dan 90,0% peserta menyatakan berminat memproduksi POC secara mandiri. Metode praktik partisipatif berpotensi meningkatkan kapasitas masyarakat. POC digunakan dalam keadaan encer sebagai pupuk pelengkap.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pemerintah dan masyarakat Desa Waleo Dua, Kecamatan Kema, Kabupaten Minahasa Utara, serta seluruh peserta yang berpartisipasi dalam kegiatan. Kegiatan ini didanai oleh PNBP Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (LPPM) Universitas Sam Ratulangi berdasarkan Kontrak Nomor 2196/UN12.27/LT/2026.

DAFTAR PUSTAKA

- Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 8, 971. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Minahasa Utara. (2025). Kabupaten Minahasa Utara dalam angka 2025. <https://minutkab.bps.go.id/id/publication/2025/02/28/20626ae51875f9ab074682a7/kabupaten-minahasa-utara-dalam-angka-2025.html>
- Chambers, R. (1994). Participatory rural appraisal (PRA): Analysis of experience. *World Development*, 22(9), 1253–1268. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0305-750X(94)90003-5)
- Firdani, F., Alfian, A. R., & Saputra, H. (2023). Pemanfaatan sampah organik rumah tangga dalam pembuatan kompos untuk mengurangi pencemaran lingkungan. *Jurnal Abditani*, 6(2), 138–143. <https://doi.org/10.31970/abditani.v6i2.240>

- Knowles, M. S., Holton III, E. F., & Swanson, R. A. (2020). *The adult learner: The definitive classic in adult education and human resource development (9th ed.)*. Routledge.
- Mulyana, E., Saputra, A., & Mardhotillah, R. (2025). Training on the production and use of organic liquid fertilizer for the community in Suka Merindu Village to support environmentally friendly agriculture. *Unram Journal of Community Service*, 6(4), 1070–1075. <https://doi.org/10.29303/ujcs.v6i4.1405>
- Nabayi, A., Sung, C. T. B., Zuan, A. T. K., Paing, T. N., & Akhir, N. I. M. (2021a). Chemical and microbial characterization of washed rice water waste to assess its potential as plant fertilizer and for increasing soil health. *Agronomy*, 11(12), 2391. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122391>
- Nabayi, A., Sung, C. T. B., Zuan, A. T. K., & Paing, T. N. (2021b). Fermentation of washed rice water increases beneficial plant bacterial population and nutrient concentrations. *Sustainability*, 13(23), 13437. <https://doi.org/10.3390/su132313437>
- Nabayi, A., Sung, C. T. B., Zuan, A. T. K., Paing, T. N., & Akhir, N. I. M. (2022). Consecutive application effects of washed rice water on plant growth, soil chemical properties, nutrient leaching, and soil bacterial population on three different soil textures over three planting cycles. *Agronomy*, 12(9), 2220. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092220>
- Nabayi, A., Teh, C. B. S., Tan, A. K. Z., & Tan, N. P. (2023). Fermentation of white and brown rice water increases plant nutrients and beneficial microbes. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 46(1), 49–65. <https://doi.org/10.47836/pjtas.46.1.04>
- Pajura, R., Masłoń, A., & Czarnota, J. (2023). The use of waste to produce liquid fertilizers in terms of sustainable development and energy consumption in the fertilizer industry—A case study from Poland. *Energies*, 16(4), 1747. <https://doi.org/10.3390/en16041747>
- Paponov, M., Kechasov, D., Lacek, J., Verheul, M. J., & Paponov, I. A. (2021). Organic waste-based fertilizer in hydroponics increases tomato fruit size but reduces fruit quality. *Frontiers in Plant Science*, 12, 680030. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.680030>
- Shi, Y., Niu, X., Chen, B. (2023). Chemical fertilizer reduction combined with organic fertilizer affects the soil microbial community and diversity and yield of cotton. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1295722. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1295722>