

Sosialisasi Manfaat Pemakaian Bahan Organik untuk Kesehatan dan Kesuburan Tanah bagi Petani Kelapa Sawit Berkelanjutan

Taufik Ristumoyo Rambe¹, Purnama Wirawan², Maruli Tua³, Juliarni⁴, Tito Yudistiro⁵, Arya Widyawan⁶, Riansyah Kurniawan⁷, ABD.Baharuddin. HSB⁸

¹ Program Studi Peternakan Fakultas Pertanian Universitas Rokania
^{2,3,4,5,6,7,8} Program Studi Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Rokania
Email : taufikristumoyorambe@gmail.com

Abstrak : Pengabdian masyarakat ini bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani kelapa sawit dalam pemanfaatan bahan organik untuk menjaga kesehatan dan kesuburan tanah. Kegiatan meliputi sosialisasi, pelatihan pembuatan kompos tandan kosong sawit (EFB), dan demonstrasi lapangan. Hasilnya, pemahaman petani meningkat dari 25% menjadi 90%, kandungan bahan organik tanah naik dari 1,2% menjadi 1,6%, pH tanah membaik dari 4,5 menjadi 5,2, serta kapasitas tukar kation meningkat dari 15 menjadi 20 cmol(+)/kg. Pertumbuhan sawit di lahan perlakuan juga lebih baik, dan biaya pupuk kimia berkurang. Pemanfaatan kompos EFB terbukti efektif mendukung perkebunan kelapa sawit berkelanjutan.

Kata kunci: Bahan Organik; Kesuburan Tanah; Kompos EFB; Kelapa Sawit Berkelanjutan.

Abstract: This community service program aimed to enhance oil palm farmers' knowledge and skills in utilizing organic materials to improve soil health and fertility. The activities included socialization, training on composting empty fruit bunches (EFB), and field demonstrations. Results showed farmers' understanding increased from 25% to 90%, soil organic matter rose from 1.2% to 1.6%, soil pH improved from 4.5 to 5.2, and cation exchange capacity increased from 15 to 20 cmol(+)/kg. Oil palm growth in treated plots was better than control, and fertilizer costs decreased. Thus, the use of EFB compost proved effective in supporting sustainable oil palm cultivation.

Keywords: *Organic Matter, Soil Fertility, EFB Compost, Sustainable Oil Palm*

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis di Indonesia yang berperan penting dalam menyumbang

devisa negara, membuka lapangan kerja, serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat pedesaan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2024), luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai sekitar 15,93 juta hektar, di

mana Provinsi Riau menjadi wilayah dengan areal terluas, yakni sekitar 3,40 juta hektar atau 21,36% dari total nasional. Posisi tersebut menjadikan kelapa sawit sebagai tulang punggung ekonomi daerah dan sumber pendapatan utama masyarakat. Namun, peningkatan produktivitas yang mengandalkan intensifikasi lahan seringkali diiringi dengan penggunaan pupuk kimia yang berlebihan, sehingga menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan dan penurunan kualitas tanah jangka panjang.

Penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan dapat menyebabkan degradasi tanah, penurunan kandungan bahan organik, serta berkurangnya aktivitas biologi tanah. Menurut Liu et al. (2024), ketidakseimbangan input hara dari pupuk kimia menyebabkan terganggunya siklus unsur hara dan penurunan kapasitas tanah dalam mempertahankan produktivitasnya. Tanah yang sehat merupakan fondasi utama dalam sistem pertanian berkelanjutan karena mampu mendukung fungsi ekosistem, produktivitas, dan keseimbangan biologis (FAO, 2020). Salah satu indikator penting dari kesehatan tanah adalah kandungan bahan organik, yang berperan dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), dan menjadi sumber energi bagi mikroorganisme tanah.

Ironisnya, di tengah meningkatnya kebutuhan bahan organik, perkebunan sawit justru menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah besar setiap tahunnya, seperti tandan kosong (Empty Fruit Bunch/EFB), pelepah, serabut, dan limbah cair pabrik kelapa sawit (Palm Oil Mill Effluent/POME). Limbah tersebut sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal dan justru menjadi sumber pencemaran apabila hanya ditumpuk atau dibakar. Padahal, menurut Adu et al. (2022), EFB memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos yang dapat meningkatkan kandungan karbon organik tanah serta memperbaiki

ketersediaan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K).

Hasil penelitian Lau et al. (2024) menunjukkan bahwa aplikasi kompos EFB secara rutin mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki pH tanah masam, dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah. Perbaikan sifat kimia dan biologi tanah tersebut berdampak pada peningkatan efisiensi penyerapan hara oleh tanaman, sehingga kebutuhan pupuk anorganik dapat ditekan. Dengan demikian, pemanfaatan limbah sawit menjadi kompos tidak hanya mengurangi beban pencemaran lingkungan tetapi juga memberikan manfaat ekonomi melalui penghematan biaya pemupukan hingga 20%.

Dari aspek sosial, sebagian besar petani sawit rakyat masih memiliki pemahaman yang rendah terhadap pentingnya bahan organik dan cara pengelolaannya. Petani cenderung bergantung pada pupuk anorganik karena dianggap lebih praktis dan cepat memberikan hasil, meskipun biaya pupuk terus meningkat. Rendahnya pengetahuan dan keterampilan petani dalam mengolah limbah sawit menyebabkan potensi bahan organik yang melimpah belum dimanfaatkan secara maksimal (Supriatna et al., 2022). Padahal, penguatan kapasitas petani melalui sosialisasi dan pelatihan terbukti dapat meningkatkan adopsi praktik ramah lingkungan di tingkat tapak (RSPO, 2022).

Proses pengomposan EFB dapat dilakukan dengan metode sederhana menggunakan aktivator mikroba seperti EM4 atau Mikroorganisme Lokal (MOL) untuk mempercepat dekomposisi. Penelitian Dimawarnita (2023) menunjukkan bahwa penggunaan aerasi dan penambahan aktivator mampu mempersingkat waktu fermentasi hingga 40% dan menghasilkan kompos yang memiliki rasio C/N ideal untuk diaplikasikan pada tanaman. Penerapan teknologi sederhana ini sangat relevan bagi

petani di tingkat desa karena mudah diterapkan, berbiaya rendah, dan mendukung prinsip ekonomi sirkular dalam pengelolaan limbah pertanian.

Selain itu, hasil studi Kumara (2024) memperlihatkan bahwa kompos EFB yang diaplikasikan bersama pupuk kimia dalam sistem pemupukan terpadu mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan hasil tandan buah segar (TBS) kelapa sawit dibandingkan dengan perlakuan tunggal. Hal ini menunjukkan pentingnya pendekatan integratif antara pupuk organik dan anorganik dalam pengelolaan kesuburan tanah berkelanjutan. Siagian (2024) menegaskan bahwa penerapan ekonomi sirkular berbasis biomassa sawit merupakan solusi strategis untuk mendukung ketahanan pangan dan mengurangi emisi karbon dari sektor perkebunan.

Namun demikian, penerapan teknologi pengomposan masih menghadapi sejumlah tantangan, seperti keterbatasan sarana, minimnya pengetahuan teknis, dan kurangnya dukungan kelembagaan. Menurut Noirot et al. (2022), keberhasilan pengelolaan limbah sawit sangat dipengaruhi oleh pendekatan partisipatif yang melibatkan petani secara langsung dalam proses perencanaan, pelatihan, dan evaluasi. Melalui model pemberdayaan masyarakat berbasis kelompok tani, diharapkan terjadi peningkatan kesadaran ekologis dan kemandirian petani dalam mengelola sumber daya lokal.

Oleh karena itu, sosialisasi dan pelatihan tentang pemanfaatan bahan organik menjadi sangat penting. Kegiatan ini tidak hanya meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani, tetapi juga mendukung terciptanya sistem perkebunan kelapa sawit yang lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, dan ekonomis. Melalui program pengabdian masyarakat, diharapkan petani mampu mengolah limbah sawit menjadi produk bermanfaat, mengurangi ketergantungan pada pupuk

kimia, serta memperbaiki kualitas tanah secara berkelanjutan.

Tujuan dari pengabdian ini yang dilakukan pada petani Sawit yaitu :

1. Meningkatkan pengetahuan petani tentang manfaat bahan organik bagi kesehatan dan kesuburan tanah.
2. Melatih petani membuat dan memanfaatkan kompos dari limbah kelapa sawit.
3. Menunjukkan penerapan kompos melalui demonstrasi lapangan.
4. Mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik dan biaya produksi.
5. Mendukung praktik budidaya kelapa sawit berkelanjutan dan ramah lingkungan.

METODE

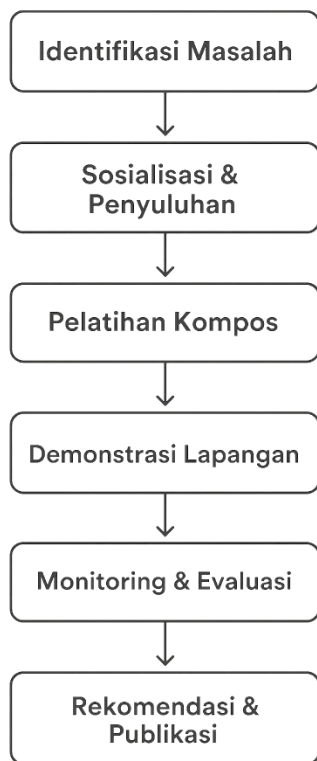
Metode yang digunakan dalam kegiatan pengabdian masyarakat ini adalah pendekatan partisipatif dengan melibatkan petani secara aktif dalam setiap tahapan. Kegiatan diawali dengan sosialisasi, yaitu penyampaian materi melalui penyuluhan dan diskusi kelompok mengenai pentingnya peranan bahan organik dalam menjaga kesehatan tanah serta manfaatnya terhadap produktivitas kelapa sawit. Sosialisasi ini bertujuan untuk menumbuhkan kesadaran dan motivasi petani dalam memanfaatkan limbah sawit sebagai sumber bahan organik.

Tahap berikutnya adalah pelatihan, di mana petani diperkenalkan pada teknik pembuatan kompos dari tandan kosong sawit (EFB), pelepah, maupun limbah organik lainnya. Pelatihan dilakukan secara praktis menggunakan metode sederhana yang mudah diterapkan di tingkat rumah tangga maupun kelompok tani, dengan bantuan aktivator mikroba (misalnya EM4) untuk mempercepat proses dekomposisi.

Setelah itu, dilakukan demonstrasi lapangan (demo plot) dengan mengaplikasikan kompos hasil pelatihan pada lahan kelapa sawit percontohan. Kegiatan ini bertujuan menunjukkan secara langsung dampak positif

penggunaan kompos terhadap kondisi tanah dan pertumbuhan tanaman sawit. Melalui demo plot, petani dapat melihat perbedaan nyata antara lahan yang diberi kompos dan lahan dengan perlakuan konvensional.

Tahap terakhir adalah monitoring dan evaluasi, yang dilakukan melalui dua pendekatan. Pertama, evaluasi pengetahuan petani dengan menggunakan pre-posttest untuk mengukur peningkatan pemahaman setelah kegiatan. Kedua, evaluasi teknis melalui pengamatan lapangan dan analisis sederhana tanah (pH, kandungan bahan organik, dan KTK) sebelum serta sesudah aplikasi kompos. Hasil evaluasi ini digunakan untuk menilai keberhasilan program sekaligus menjadi dasar penyusunan rekomendasi bagi pengembangan budidaya kelapa sawit berkelanjutan.



Gambar 1. Alur Kegiatan Pengabdian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan pengabdian masyarakat di Desa Air Panas, Kabupaten Rokan Hulu, berlangsung dengan partisipasi aktif

dari 25 orang petani kelapa sawit rakyat. Kegiatan diawali dengan sosialisasi yang dilakukan dalam bentuk ceramah interaktif. Berdasarkan hasil pre-test, hanya sekitar 25% peserta yang memahami secara mendalam manfaat bahan organik terhadap kesuburan tanah. Setelah penyampaian materi dan diskusi kelompok, pemahaman petani meningkat signifikan; hasil post-test menunjukkan 90% peserta mampu menjelaskan kembali peranan bahan organik, manfaat kompos EFB, serta dampaknya terhadap kesehatan tanah. Hal ini menandakan kegiatan sosialisasi berhasil meningkatkan pengetahuan petani sebesar ±65%.

Pada tahap pelatihan, petani dilibatkan secara langsung dalam proses pembuatan kompos dari tandan kosong kelapa sawit (EFB). Metode yang dipilih adalah sistem tumpuk berlapis dengan penambahan dekomposer EM4 sebagai aktivator. Proses pelatihan dilaksanakan selama tiga hari, meliputi: persiapan bahan, pencacahan EFB, penyusunan lapisan, penyiraman, dan penutupan dengan terpal. Peserta terlihat antusias, bahkan sebagian menyatakan keinginan untuk mencoba metode serupa di kebun masing-masing. Dari kegiatan ini dihasilkan ±1ton kompos yang siap diaplikasikan setelah proses fermentasi.



Gambar 1. Kegiatan Sosialisasi

Pada tahap demonstrasi lapangan, kompos diaplikasikan pada lahan sawit percontohan seluas 0,5 hektar dengan dosis 30 kg per pokok. Lahan kontrol tetap

dipelihara dengan pola konvensional tanpa penambahan kompos, hanya menggunakan pupuk anorganik sesuai kebiasaan petani.



Gambar 2. Aplikasi Pupuk Organik

Hasil pengamatan setelah 1 Bulan menunjukkan adanya perbedaan nyata antara lahan perlakuan dengan lahan kontrol. Daun tanaman pada lahan yang diberi kompos lebih hijau, jumlah pelepah lebih banyak, dan pertumbuhan pelepah muda lebih cepat. Selain itu, kelembapan tanah pada lahan perlakuan lebih terjaga, sedangkan lahan kontrol cenderung lebih keras dan kering.



Gambar 3. Evaluasi di Lapangan

Dari hasil analisis tanah, kandungan bahan organik meningkat dari 1,2% menjadi 1,6% pada lahan yang diberi kompos. Nilai pH tanah juga mengalami perbaikan dari 4,5 menjadi 5,2, sementara kapasitas tukar kation (KTK) naik dari 15 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ menjadi 20 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. Hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi kompos mampu memperbaiki sifat kimia tanah secara signifikan dalam waktu relatif singkat. Temuan ini sejalan dengan penelitian Lau et al. (2024) yang melaporkan bahwa kompos berbahan limbah sawit mampu meningkatkan kualitas tanah, termasuk kandungan karbon organik dan pH tanah.

Keberhasilan peningkatan pengetahuan petani setelah sosialisasi menunjukkan bahwa metode penyuluhan interaktif cukup efektif. Hal ini penting karena sebagian besar petani sawit rakyat masih terbatas pengetahuannya mengenai pengelolaan limbah organik. Menurut FAO (2005), edukasi petani merupakan kunci untuk mengubah perilaku pengelolaan tanah menuju praktik yang lebih berkelanjutan.

Hasil pelatihan pembuatan kompos membuktikan bahwa limbah sawit dapat diolah dengan metode sederhana dan biaya murah. Dengan memanfaatkan EFB yang tersedia melimpah, petani dapat menghasilkan pupuk organik sendiri tanpa harus bergantung sepenuhnya pada pupuk kimia. Temuan ini mendukung pendapat Supriatna et al. (2022) yang menegaskan bahwa pengomposan limbah sawit merupakan solusi ganda, yakni mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus meningkatkan produktivitas lahan.

Aplikasi kompos pada lahan percontohan memberikan hasil yang positif terhadap pertumbuhan tanaman dan kesehatan tanah. Peningkatan kandungan bahan organik, pH, dan KTK memperlihatkan peran penting kompos dalam memperbaiki sifat fisik-kimia tanah. Menurut Adu et al. (2022), EFB yang diaplikasikan sebagai kompos atau mulsa

mampu meningkatkan kandungan karbon organik tanah dan ketersediaan unsur hara makro, terutama nitrogen dan kalium, yang sangat dibutuhkan tanaman kelapa sawit.

Dari sisi sosial-ekonomi, petani peserta menyatakan bahwa pemanfaatan kompos dapat mengurangi biaya pembelian pupuk kimia sekitar 15–20%. Hal ini merupakan keuntungan langsung yang dapat dirasakan oleh petani, selain manfaat jangka panjang berupa perbaikan kesehatan tanah. Kegiatan ini juga berhasil menumbuhkan semangat kebersamaan karena pembuatan kompos dilakukan secara kelompok. Jika dikelola dengan baik, unit pengomposan kelompok tani dapat menjadi sarana pemberdayaan ekonomi sekaligus mendukung sertifikasi sawit berkelanjutan (RSPO) yang mensyaratkan praktik ramah lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil kegiatan ini mengonfirmasi bahwa pemanfaatan bahan organik dari limbah sawit merupakan strategi yang tepat untuk mendukung keberlanjutan perkebunan kelapa sawit rakyat. Kombinasi antara edukasi, praktik lapangan, dan evaluasi berbasis data laboratorium mampu mendorong perubahan perilaku petani dari pola konvensional menuju praktik pertanian berkelanjutan.

Selain meningkatkan sifat fisik dan kimia tanah, penerapan kompos EFB juga berdampak positif terhadap aspek biologi tanah. Aplikasi bahan organik mampu memperbanyak populasi mikroba dekomposer seperti *Trichoderma* dan *Azotobacter*, yang berperan penting dalam proses mineralisasi hara dan pembentukan agregat tanah yang stabil. Rahman dan Chong (2023) melaporkan bahwa penggunaan kompos berbasis limbah sawit secara berkelanjutan dapat meningkatkan aktivitas mikroba tanah hingga 40% dibandingkan tanah tanpa penambahan bahan organik. Peningkatan aktivitas biologis ini mempercepat siklus nitrogen dan fosfor, sekaligus memperbaiki kemampuan tanah dalam menahan air pada lapisan perakaran.

Dari sisi kimia tanah, Putra dan Siregar (2024) menemukan bahwa aplikasi bahan organik seperti EFB dan pupuk kandang pada tanah Ultisol mampu meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) hingga 25% serta memperbaiki ketersediaan unsur hara kalium (K) dan magnesium (Mg) yang semula rendah. Hal ini disebabkan oleh peningkatan muatan negatif koloid tanah akibat akumulasi asam humat dan fulvat dari hasil dekomposisi bahan organik. Dalam jangka panjang, peningkatan KTK berimplikasi pada efisiensi pemupukan yang lebih tinggi karena tanah mampu menahan ion hara lebih lama, sehingga mengurangi kehilangan hara akibat pencucian (*leaching*).

Secara ekologis, integrasi pengelolaan limbah sawit menjadi kompos juga berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan mitigasi perubahan iklim. Menurut Wibowo dan Yuliani (2025), sistem ekonomi sirkular berbasis limbah sawit dapat menekan emisi gas rumah kaca (GHG) hingga 30% dibandingkan dengan praktik pembakaran terbuka yang masih sering dilakukan di kebun rakyat. Selain itu, karbon organik yang tersimpan di dalam tanah melalui aplikasi kompos EFB dapat berfungsi sebagai cadangan karbon jangka panjang (*soil carbon sequestration*), yang berperan penting dalam adaptasi terhadap perubahan iklim global.

Dari perspektif produktivitas tanaman, peningkatan kesuburan tanah akibat penambahan kompos berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan vegetatif kelapa sawit. Tanaman yang tumbuh pada lahan perlakuan dengan kompos EFB menunjukkan jumlah pelepah lebih banyak, daun lebih hijau, dan pembentukan tandan buah segar (TBS) yang lebih cepat dibandingkan dengan lahan kontrol. Penelitian Kumara (2024) juga mendukung temuan ini, di mana pemberian kompos EFB sebesar 30 kg/pohon/tahun meningkatkan hasil TBS

hingga 18% dibandingkan tanpa perlakuan bahan organik.

Dari sisi sosial-ekonomi, kegiatan pengomposan yang dilakukan secara kelompok memberikan manfaat lebih dari sekadar peningkatan hasil panen. Proses ini menumbuhkan semangat gotong royong dan membentuk jaringan produksi pupuk organik di tingkat desa. Petani yang terlibat tidak hanya memperoleh manfaat langsung berupa penghematan biaya pupuk kimia, tetapi juga peluang tambahan pendapatan melalui penjualan kompos ke kebun sekitar. Model ini sejalan dengan konsep pemberdayaan ekonomi sirkular di tingkat akar rumput sebagaimana dijelaskan oleh Wibowo dan Yuliani (2025), di mana pengelolaan limbah berbasis komunitas mampu meningkatkan ketahanan ekonomi sekaligus menjaga kelestarian lingkungan.

Dalam konteks kebijakan dan keberlanjutan, penerapan sistem pengelolaan limbah sawit menjadi kompos mendukung implementasi Standar Petani Mandiri RSPO (2022) yang menekankan prinsip *zero waste*, efisiensi input, dan pelestarian kesuburan tanah. Praktik ini juga dapat menjadi bagian dari indikator keberlanjutan (*sustainability indicators*) yang diakui secara internasional, membuka peluang bagi petani rakyat untuk memperoleh sertifikasi berkelanjutan dan meningkatkan daya saing produk sawit Indonesia di pasar global.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian masyarakat tentang sosialisasi dan pelatihan pemanfaatan bahan organik pada perkebunan kelapa sawit rakyat telah berhasil meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani. Sosialisasi interaktif mampu menaikkan pemahaman petani mengenai peran bahan organik bagi kesehatan tanah dari 25% menjadi 90%. Pelatihan pembuatan kompos berbasis tandan kosong sawit (EFB) memberikan keterampilan praktis bagi petani dalam

mengolah limbah menjadi pupuk organik yang bermanfaat.

Hasil demonstrasi lapangan menunjukkan bahwa aplikasi kompos meningkatkan kualitas tanah, ditandai dengan kenaikan kadar bahan organik, perbaikan pH tanah, dan peningkatan kapasitas tukar kation. Pertumbuhan kelapa sawit pada lahan perlakuan juga lebih baik dibandingkan kontrol. Secara sosial-ekonomi, pemanfaatan kompos mampu menekan biaya pupuk kimia dan mendukung praktik perkebunan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Rokania yang telah memberikan dukungan dan pendanaan dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada pemerintah desa dan kelompok tani kelapa sawit di Desa Air Panas, Kabupaten Rokan Hulu atas partisipasi aktif, antusiasme, dan kerja samanya selama kegiatan berlangsung.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh tim pelaksana, mahasiswa pendamping, serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah berkontribusi dalam menyukseskan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adu, M. O., Asare, P. A., & Bentum, J. K. (2022). Oil palm empty fruit bunch application improves soil organic carbon and nutrient availability in smallholder plantations. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3), 1345–1357. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00697-3>

- Badan Pusat Statistik (BPS). (2024). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2023*. Jakarta: BPS RI.
- Dimawarnita, F. (2023). *Impact of aeration on fast composting of oil palm empty fruit bunches*. *Jurnal Teknologi Lingkungan Tropika*, 10(1), 55–66.
- FAO. (2020). *Soil Health and Sustainable Agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2005). *Building on gender, agrobiodiversity and local knowledge*. Rome: FAO.
- Kumara, N. R. A. (2024). *Evaluation of oil palm empty fruit bunch compost and its effects on plant growth and yield*. *Asian Research in Sustainable Agriculture Journal*, 12(2), 88–97.
- Lau, H. C., Lee, C. T., & Rahman, N. A. (2024). The role of composted oil palm biomass in improving soil fertility and crop productivity. *Sustainability in Agriculture*, 16(2), 221–235.
<https://doi.org/10.3390/susagri16020221>
- Liu, Y., et al. (2024). *Organic fertilizers enhance soil quality and crop productivity through improved nutrient cycling*. *Agronomy*, 14(1), 65–78.
- Noirot, L. M., et al. (2022). *Impacts of empty fruit bunch applications on soil organic carbon in tropical soils*. *Applied Soil Ecology*, 175(1), 104–122.
- Putra, D. A., & Siregar, R. H. (2024). *Peran bahan organik terhadap peningkatan kapasitas tukar kation pada tanah Ultisol di perkebunan kelapa sawit rakyat*. *Jurnal Tanah Tropika Indonesia*, 29(2), 77–86.
- Rahman, F. A., & Chong, C. L. (2023). *Enhancing nutrient cycling and soil microbial activity through oil palm waste compost application*. *Plant and Soil Dynamics Journal*, 9(4), 198–210.
- RSPO. (2022). *Independent Smallholder Standard 2022*. Kuala Lumpur: Roundtable on Sustainable Palm Oil.
- Siagian, U. W. R. (2024). *Circular economy approaches in the palm oil industry: composting, biochar and resource recovery*. *Journal of Environmental Technology and Sustainability*, 13(3), 211–225.
- Supriatna, A., Siregar, H., & Putra, R. (2022). Pemanfaatan limbah sawit sebagai kompos untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas kelapa sawit rakyat. *Jurnal Agrotek Indonesia*, 7(1), 45–55.
- Wibowo, T., & Yuliani, R. (2025). *Sustainability perspectives of smallholder oil palm through organic waste management and circular bioeconomy practices*. *Indonesian Journal of Sustainable Agriculture*, 15(1), 34–47.