

PUPUK KIMIA, PUPUK ORGANIK, ATAU PUPUK HAYATI ? MEMAHAMI FILOSOFI PEMUPUKAN UNTUK PERKEBUNAN KELAPA SAWIT YANG BERKELANJUTAN

Eko Noviandi Ginting

Abstrak - Pencapaian produksi yang tinggi di perkebunan kelapa sawit selalu diidentikkan dengan pemupukan. Paradigma semakin banyak pupuk yang diberikan akan semakin tinggi produksi yang dihasilkan tampaknya masih melekat pada pemikiran banyak praktisi kelapa sawit. Penurunan efektivitas dan efisiensi pemupukan dari pupuk kimia yang diaplikasikan telah menginisiasi praktik pengelolaan perkebunan yang lebih fokus terhadap kesehatan tanah beberapa tahun belakangan ini. Penggunaan pupuk organik dan pupuk hayati menjadi suatu solusi yang diyakini mampu memperbaiki kualitas dan kesehatan tanah sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanah yang pada akhirnya dapat menghasilkan pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit yang optimal. Seyogyanya pemupukan seharusnya tidak hanya dipandang sebagai upaya untuk “memberi makan tanaman” namun juga harus bisa sekaligus sebagai upaya untuk “memberi makan tanah”. Dengan menyeimbangkan keduanya, maka pemupukan yang dilakukan dapat menghasilkan efektivitas dan efisiensi yang tinggi serta yang tidak kalah penting, berkesinambungan. Oleh karenanya butuh pemahaman tentang fungsi dan peran dari pupuk kimia, pupuk organik, dan pupuk hayati terhadap pemenuhan nutrisi kelapa sawit. Artikel ini menjelaskan secara sederhana dengan bahasa yang mudah dimengerti oleh praktisi perkebunan tentang manfaat dan fungsi dari masing-masing jenis pupuk.

Kata kunci: kualitas tanah, kesehatan tanah, penyerapan hara, organisme tanah, pemupukan.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan tanaman penghasil minyak nabati yang paling efisien dibanding tanaman penghasil minyak nabati lainnya (Cock et al., 2016). Produktivitas yang tinggi, biaya produksi yang rendah, dan tingginya fleksibilitas pengembangan produk turunan dari kelapa sawit menempatkannya sebagai kontributor utama dalam pemenuhan kebutuhan minyak nabati dunia. Bagi Indonesia, keberadaan industri kelapa sawit merupakan suatu berkah yang telah memberikan banyak dampak positif di berbagai sektor. Selain sebagai sumber devisa negara, kehadiran kelapa sawit juga menimbulkan *multiplier effect* terutama dalam hal lapangan pekerjaan dan peluang usaha yang berdampak positif terhadap perekonomian dan kesejahteraan masyarakat khususnya di daerah pedesaan (Angga et al., 2022;

Kubitza et al., 2018). Sayangnya, besarnya manfaat yang diperoleh tersebut belum sepenuhnya diikuti dengan kesadaran para praktisi kelapa sawit akan pentingnya praktik pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan. Hal ini tercermin dari masih banyaknya praktik pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang “mengeksploitasi” produksi dengan cara-cara yang instan dan bersifat jangka pendek, salah satunya adalah penggunaan pupuk kimia secara berlebihan.

Pupuk memiliki peran yang vital terhadap pertumbuhan dan pencapaian produksi tanaman kelapa sawit yang tinggi. Pemupukan yang kurang tepat pada masa tanaman belum menghasilkan (TBM) dapat berdampak pada pertumbuhan vegetatif yang kurang optimal sehingga dapat memperpanjang masa TBM. Sementara itu, pemupukan yang kurang baik pada masa tanaman menghasilkan (TM) dapat menyebabkan penurunan produksi yang cukup besar (Woittiez et al., 2017). Di sisi lain, pemupukan yang kurang tepat juga dapat menimbulkan berbagai permasalahan. Selain masalah pencemaran lingkungan (Hassler et al., 2017; Kurniawan et al.,

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Eko Noviandi Ginting (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia
Email: eko.novandy@gmail.com

2018), pemupukan yang kurang tepat juga dapat menyebabkan menurunnya efisiensi dan efektivitas pemupukan (Darras et al., 2019; Kumar et al., 2022) yang akan merugikan secara ekonomi serta mengancam keberlanjutan usaha perkebunan kelapa sawit.

Pencapaian produksi yang tinggi di perkebunan kelapa sawit selalu diidentikkan dengan pemupukan. Paradigma semakin banyak pupuk yang diberikan akan semakin tinggi produksi yang dihasilkan tampaknya masih melekat pada pemikiran banyak praktisi kelapa sawit. Namun faktanya di lapangan, kerap muncul permasalahan penurunan produksi tanaman walaupun sudah mengklaim bahwa jumlah pupuk yang diaplikasikan sudah tergolong tinggi. Hal tersebut mengindikasikan telah terjadi degradasi kualitas dan kesehatan tanah sehingga tanah sebagai media tanam tidak dapat menyediakan kondisi yang optimum agar akar tanaman dapat menyerap hara dengan baik. Perlu dipahami bahwa proses penyerapan hara oleh tanaman sangat dipengaruhi kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah yang saling berinteraksi dan tidak dapat dipisahkan satu dengan lainnya. Artinya, menurunnya kondisi salah satu komponen tanah, baik fisik, kimia, maupun biologi akan menyebabkan tidak optimalnya komponen lainnya sehingga dapat menurunkan daya dukung tanah terhadap pertumbuhan tanaman khususnya dalam hal penyerapan hara oleh akar tanaman. Oleh karenanya, penting untuk memahami peran dan fungsi masing-masing sifat tanah kaitannya dengan proses penyerapan hara oleh akar tanaman.

Penurunan efektivitas dan efisiensi pemupukan dari pupuk kimia (pupuk anorganik/sintetis) yang diaplikasikan telah menginisiasi praktik pengelolaan perkebunan yang lebih fokus terhadap kesehatan tanah beberapa tahun belakangan ini. Penggunaan pupuk organik dan pupuk hayati menjadi suatu solusi yang diyakini mampu memperbaiki kualitas dan kesehatan tanah sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanah yang pada akhirnya dapat menghasilkan pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa sawit yang optimal. Artikel ini berisi ulasan sederhana terkait penggunaan dan fungsi penting dari pupuk kimia, pupuk organik, dan pupuk hayati serta perannya terhadap perbaikan kualitas tanah dan kaitannya dengan penyerapan hara oleh tanaman. Melalui pemahaman tentang fungsi dan peran penting dari masing-masing jenis pupuk tersebut diharapkan

praktisi kelapa sawit dapat mengelola perkebunan kelapa sawitnya secara bijaksana sehingga industri kelapa sawit di Indonesia dapat berjalan secara berkelanjutan yaitu menguntungkan secara ekonomi, diterima secara sosial, dan lestari secara ekosistem.

Kelebihan dan Kelemahan Pupuk Kimia, Organik, dan Hayati

Untuk dapat tumbuh dan berproduksi dengan optimal kelapa sawit membutuhkan hara tidak hanya dalam jumlah yang cukup namun juga harus tepat waktu sesuai dengan fase pertumbuhan dan perkembangannya. Di sisi lain, hara yang ada di dalam tanah tidak selalu dalam bentuk tersedia bagi tanaman dan sering sekali tidak mencukupi dari segi jumlah dan waktu untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Oleh karenanya pemupukan memiliki peran penting dalam budidaya kelapa sawit. Umumnya jenis pupuk yang digunakan pada perkebunan kelapa sawit adalah pupuk anorganik atau lebih dikenal dengan istilah pupuk kimia. Secara definisi pupuk kimia merupakan pupuk yang dibuat dari bahan sintesis (atau tambang) yang melalui proses kimia dan umumnya dibuat dalam skala industri (Mick et al., 2020). Pupuk kimia dapat mengandung satu atau lebih unsur hara esensial. Salah satu keunggulan pupuk kimia yang tidak dimiliki kedua jenis pupuk lainnya adalah kandungan hara yang tinggi dan mudah larut sehingga dapat segera diserap tanaman. Dengan keunggulannya tersebut dan disertai dengan kebutuhan hara kelapa sawit yang tergolong tinggi maka penggunaan pupuk kimia di perkebunan kelapa sawit tidak dapat dihindarkan. Di sisi lain, pupuk kimia juga memiliki banyak kelemahan, salah satunya adalah potensi pencemaran yang dapat merusak lingkungan apabila penggunaannya tidak tepat atau berlebihan. Kumar et al., (2022) menyatakan bahwa logam berat dan bahan sintesis lainnya yang terkandung dalam pupuk kimia sangat sulit terurai sehingga menjadikannya polutan yang persisten di dalam tanah. Kandpal (2021) juga menambahkan bahwa akibat akumulasi logam berat di dalam tanah lalu tanaman menyerap logam berat tersebut dan pada akhirnya sampai pada rantai makanan sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia. Selain itu penggunaan pupuk

kimia juga dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah yaitu membuat tanah menjadi keras, penurunan pH tanah, dan dapat mengancam kehidupan biota tanah.

Berbeda dengan pupuk kimia, pupuk organik merupakan pupuk yang dibuat dengan berbahan baku alami berupa bahan organik atau dari sisa-sisa hewan atau tumbuhan (living materials) yang berfungsi untuk memperbaiki sifat tanah dengan kandungan bahan organiknya yang tinggi (Begum et al., 2023). Berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian No. 70/Permentan/SR.140/10/2011 dikemukakan bahwa pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan dan/atau bagian hewan dan/atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dapat diperkaya dengan bahan mineral dan/atau mikroba, yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah serta memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Kandungan hara pada pupuk organik relatif kecil dibanding pupuk kimia. Selain itu, pelepasan hara dari pupuk organik relatif sangat lambat. Walaupun pupuk organik memiliki kandungan hara makro dan mikro yang relatif lengkap, namun fungsi utama dari pupuk organik adalah untuk memperbaiki kualitas tanah melalui perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Perbaikan sifat fisik dilakukan melalui perbaikan struktur tanah dan agregat tanah serta memperbaiki kelembaban tanah melalui peningkatan kapasitas tanah dalam menahan air. Perbaikan sifat kimia tanah melalui perbaikan C-organik tanah, penyangga pH tanah, dan meningkatkan kapasitas tukar kation tanah. Sementara itu perbaikan sifat biologi tanah, bahan organik merupakan sumber energi bagi mikroorganisme tanah sehingga penggunaan bahan organik akan meningkatkan biodiversitas dan aktivitas biologi tanah. Jenis pupuk organik yang umumnya banyak digunakan adalah kompos dan pupuk kandang.

Jenis pupuk selanjutnya yang telah banyak digunakan di perkebunan kelapa sawit adalah pupuk hayati. Pupuk hayati merupakan pupuk yang diformulasikan sedemikian rupa dengan kandungan strain mikroorganisme seperti bakteri, alga, jamur atau kombinasi dari beberapa strain yang mempunyai kapasitas untuk mengembalikan dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang mengarah pada mobilisasi unsur hara di dalam tanah (Suyal et al.,

2016). Dengan kata lain, pupuk hayati merupakan pupuk yang mengandung sel hidup (mikroorganisme bermanfaat) yang diaplikasikan pada tanah atau tanaman untuk meningkatkan ketersediaan dan serapan unsur hara dari dalam tanah melalui aktivitas mikroorganisme tersebut (Ajeng et al., 2020; Fasusi et al., 2021). Secara umum pupuk hayati memiliki kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Pengaruh secara langsung misalnya dengan menyediakan hara melalui proses fiksasi nitrogen dan menghasilkan *phytohormone* seperti *indole acetic-acid* (IAA) yang memiliki banyak fungsi seperti meningkatkan laju perkembangan xilem dan akar, membantu biosintesis metabolit primer dan sekunder serta membantu tanaman dalam menghadapi stres lingkungan. Sementara itu pengaruh tidak langsung terhadap tanaman adalah melalui pendekatan bio-kontrol seperti menghasilkan metabolit untuk menghambat serangan patogen baik bakteri, jamur, maupun virus. Pupuk hayati merupakan formulasi antara bahan pembawa (*carrier*) dengan mikroorganisme bermanfaat dapat berbentuk padat maupun cair. Bahan pembawa pada pupuk hayati umumnya memiliki sifat inert, bersifat organik, dan tidak beracun. Sehingga penggunaan pupuk hayati dapat memberikan dua keuntungan sekaligus yaitu manfaat dari aktivitas mikroorganisme bermanfaat yang terkandung dalam pupuk hayati tersebut dan manfaat tambahan dari bahan pembawa yang ada pada pupuk organik tersebut. Kelemahan dari pupuk hayati yang mungkin perlu dipahami adalah, pupuk hayati memiliki kandungan hara yang relatif kecil dibanding pupuk kimia sehingga aplikasi pupuk hayati memang bukan bertujuan untuk mencukupi hara tanaman namun lebih kepada memperbaiki daerah perakaran tanaman (*rizosfer*) agar menjadi lebih ideal sehingga tanah menjadi lebih sehat dan tanaman dapat menyerap hara dengan optimal. Proses tersebut tentu saja bukan proses yang instan sehingga penggunaan pupuk hayati sifatnya adalah berkesinambungan. Selain itu perlu dipahami mikroorganisme yang terkandung dalam pupuk hayati adalah makhluk hidup yang tentunya memiliki siklus hidup. Oleh karenanya organisme tersebut bisa mati pada jangka waktu tertentu atau jika penyimpanan pupuk hayati tidak dilakukan sesuai prosedur penyimpanan yang baik. Secara ringkas kelebihan dan kelemahan dari pupuk kimia, organik dan hayati disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kelebihan dan kelemahan dari pupuk kimia, organik dan hayati dari aspek nutrisi tanaman dan pengaruhnya terhadap kesehatan tanah.

Jenis Pupuk	Kelebihan	Kelemahan
Pupuk Kimia	✓ Hara segera tersedia bagi tanaman	✓ Hara mudah hilang (menguap, tercuci)
	✓ Kandungan hara tinggi dan mudah diformulasi sesuai kebutuhan tanaman	✓ Meninggalkan residu yang dapat berbahaya bagi kesehatan tanah dan lingkungan
	✓ Respons tanaman cepat	✓ Pemakaian jangka panjang membuat tanah menjadi keras
	✓ Aplikasi dapat dilakukan pada saat yang tepat karena hara cepat tersedia	
Pupuk Organik	✓ Mengandung bahan organik yang tinggi yang berfungsi memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (kesehatan tanah) yang dapat meningkatkan efisiensi pemupukan.	✓ Kandungan hara relatif rendah dan sulit diprediksi
	✓ Kandungan hara relatif lengkap	✓ Respons tanaman lambat
	✓ Ramah lingkungan	✓ Berpotensi sebagai faktor pembawa hama dan penyakit jika proses pembuatannya kurang steril
	✓ Bersifat jangka panjang	
Pupuk Hayati	✓ Mengandung mikroorganisme yang bermanfaat bagi tanaman	✓ Kandungan hara relatif rendah
	✓ Ramah lingkungan	✓ Respons tanaman lambat
	✓ Memperbaiki kesehatan tanah dan meningkatkan efisiensi pemupukan	✓ Kandungan mikroorganisme dapat mati dalam jangka waktu tertentu
	✓ Dapat menekan pertumbuhan organisme parasit yang mengganggu tanaman.	✓ Kualitas beragam tergantung bahan pembawa dan jenis serta populasi mikroba

PERAN PUPUK KIMIA, ORGANIK, DAN HAYATI TERHADAP NUTRISI KELAPA SAWIT

Peran pupuk kimia terhadap nutrisi kelapa sawit

Pupuk kimia memiliki karakteristik berupa kandungan hara yang tinggi dan mudah larut sehingga pupuk kimia dapat memenuhi kebutuhan tanaman dalam jumlah yang cukup dan tepat waktu sesuai kebutuhan tanaman. Dalam hal nutrisi tanaman, pupuk kimia memiliki peran yang sangat besar terutama untuk mencukupi kebutuhan hara tanaman. Pada budidaya kelapa sawit setidaknya ada tiga fase pengelolaan tanaman yaitu, fase pembibitan, fase TBM, dan fase TM. Kebutuhan hara kelapa sawit pada masing-masing fase tersebut tentunya berbeda-beda. Sebagai contoh, pada fase TBM, tanaman membutuhkan hara nitrogen yang relatif tinggi dibanding hara lainnya karena pada fase ini kelapa sawit difokuskan untuk pertumbuhan vegetatif. Sementara itu pada fase TM kelapa sawit membutuhkan hara kalium yang relatif tinggi dibanding hara lainnya karena kelapa sawit difokuskan untuk produksi. Pupuk kimia berperan penting untuk memenuhi kebutuhan hara kelapa sawit pada setiap fase tersebut, karena salah satu kelebihan pupuk kimia adalah mudah diformulasikan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Dengan kata lain, ketika tanaman membutuhkan nitrogen yang lebih tinggi dibanding hara lainnya maka formulasi pupuk kimia dapat disesuaikan dengan membuat pupuk kimia dengan kandungan nitrogen yang lebih tinggi dibanding hara lainnya. Selain itu, umumnya tanah memiliki kemampuan untuk memenuhi kebutuhan hara kelapa sawit baik dari segi jumlah maupun dari segi waktu sesuai kebutuhan tanaman. Dalam hal ini, pupuk kimia memiliki peran penting yang tidak tergantikan. Oleh karenanya, penggunaan pupuk kimia pada perkebunan kelapa sawit tidak dapat dihindari.

Peran pupuk organik terhadap nutrisi kelapa sawit

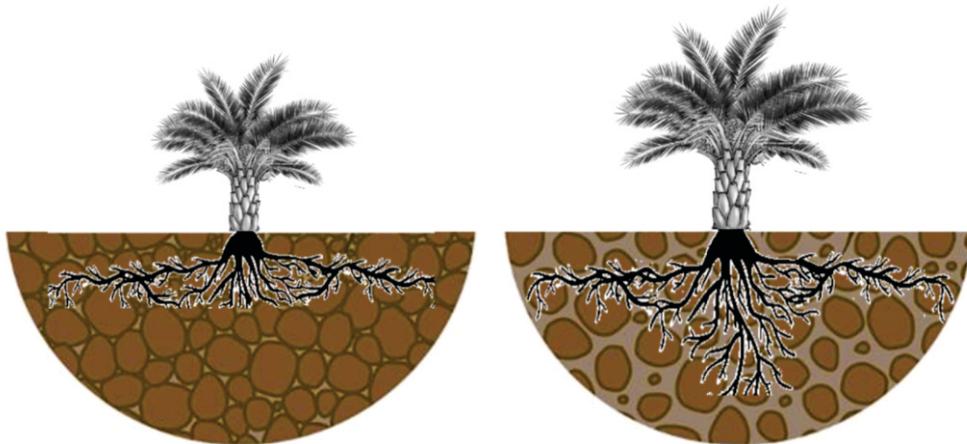
Seperti yang telah diuraikan sebelumnya bahwa peran utama dari pupuk organik adalah terhadap perbaikan sifat-sifat tanah, terutama sifat fisik tanah. Aplikasi pupuk organik secara rutin dalam jangka panjang akan memberikan pengaruh yang positif terhadap sifat fisik tanah. Perbaikan

sifat fisik tanah ini akan memberikan efek berantai terhadap berbagai fungsi di dalam tanah dalam kaitannya mendukung pertumbuhan tanaman. Sebagai contoh, pupuk organik dapat memperbaiki struktur tanah melalui agregasi partikel tanah membentuk ruang pori sehingga tanah menjadi gembur. Struktur tanah yang baik akan menciptakan aerasi di daerah perakaran yang baik pula sehingga proses pertukaran gas antara CO₂ di dalam tanah dan O₂ di atmosfer (permukaan tanah) menjadi lancar yang tentunya kondisi ini akan mengoptimalkan respirasi tanaman. Selanjutnya, pupuk organik juga dapat meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air, dengan demikian kelembaban tanah dapat di pertahankan dalam jangka panjang yang tentu saja ini sangat bermanfaat bagi tanaman terutama pada musim kemarau. Tanah yang gembur dengan aerasi yang baik serta kondisi yang lembap akan menciptakan kondisi yang optimal bagi perkembangan akar tanaman. Perkembangan akar yang baik akan berdampak semakin luasnya “daya jelajah” akar di dalam tanah untuk mencari hara sehingga tentu saja akan mempengaruhi kapasitas akar dalam menyerap hara dari dalam tanah (Gambar 1).

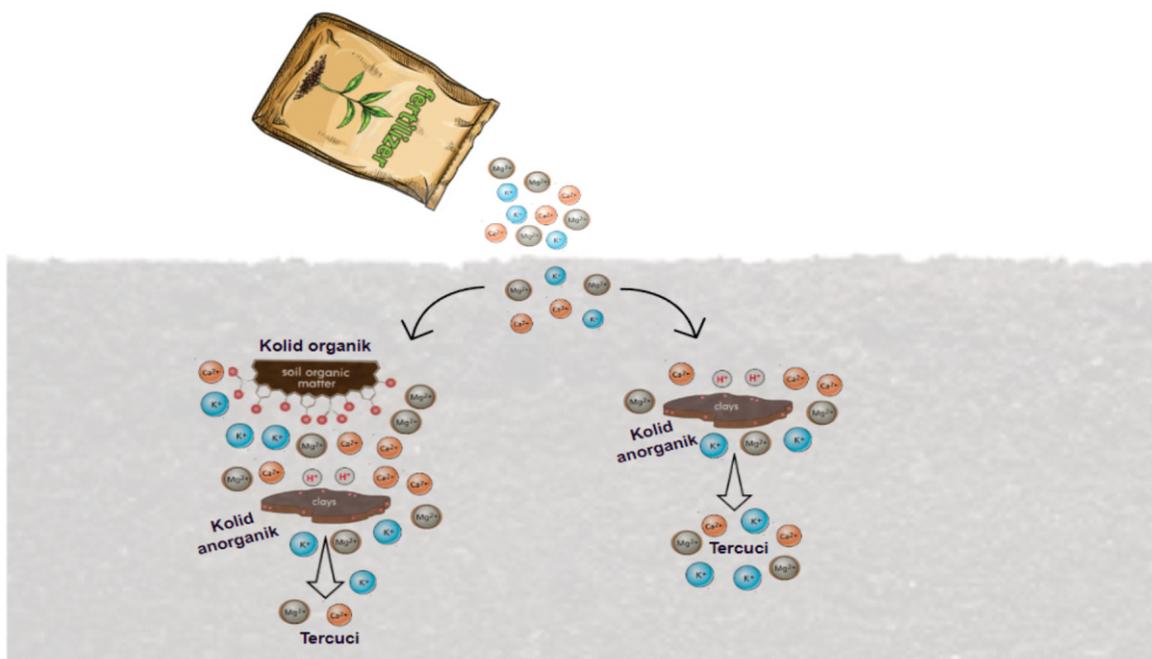
Salah satu cara tanaman memperoleh hara adalah melalui intersepsi akar, artinya jika “daya jelajah” akar semakin luas di dalam tanah maka kesempatan akar memperoleh dan menyerap hara akan semakin besar. Selain melalui perbaikan sifat fisik, peranan pupuk organik terhadap penyerapan hara juga terjadi melalui perbaikan sifat kimia dan biologi tanah. Perbaikan sifat kimia tanah dari pupuk organik adalah melalui peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) tanah dengan cara memperkaya koloid organik tanah (Gambar 2). Ketika pupuk diaplikasikan ke permukaan tanah maka sebagian hara akan masuk ke dalam profil tanah, selanjutnya hara akan tertahan sementara pada koloid tanah, sedangkan sebagian hara yang sudah “tidak muat” pada koloid tanah akan hilang tercuci. Pupuk organik akan meningkatkan KTK tanah (kanan) dengan menambah koloid organik agar hara yang tertahan sementara menjadi lebih banyak sehingga kesempatan untuk masuk ke larutan tanah dan diserap tanaman menjadi lebih banyak, sementara tanah yang tidak diaplikasikan pupuk organik maka tanah hanya bisa mengandalkan koloid anorganik (kiri) yang muatannya relatif kecil sehingga potensi

hara tercuci semakin besar. Sementara itu perbaikan sifat biologi tanah, pupuk organik merupakan sumber makanan bagi kehidupan di dalam tanah sehingga keberadaan pupuk organik

dapat menyebabkan meningkatnya biodiversitas makro, meso, dan mikro fauna tanah yang tentu saja sangat bermanfaat membantu menyediakan hara dan meningkatkan serapan hara tanaman.



Gambar 1. Ilustrasi perkembangan akar tanaman kelapa sawit pada tanah dengan struktur padat (kiri) dan struktur gembur (kanan). Pada tanah dengan struktur padat perkembangan akar terbatas hanya pada permukaan tanah sehingga penyerapan hara juga terbatas. Sementara perbaikan struktur tanah akibat pupuk organik berdampak pada perkembangan akar yang baik sehingga dapat menyerap hara lebih banyak.



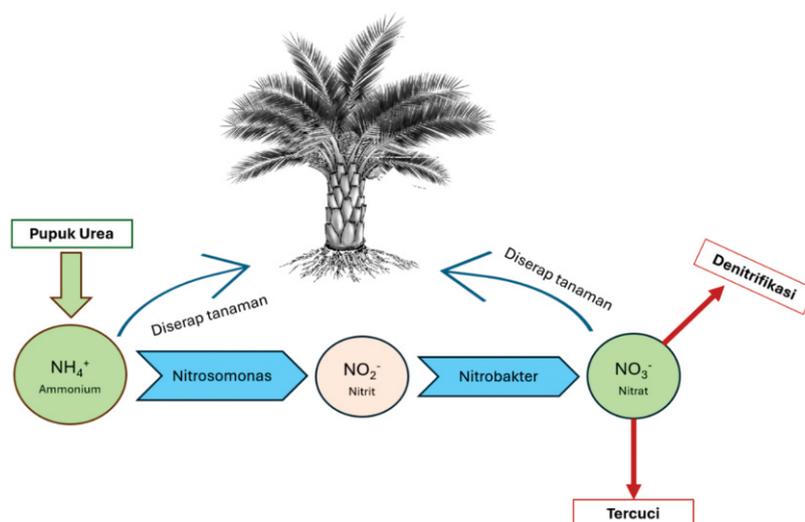
Gambar 2. Ilustrasi sederhana dinamika hara di dalam tanah antara tanah yang rutin mendapatkan pupuk organik (kiri) vs tanah yang tidak mendapatkan pupuk organik (kanan).

Peran pupuk hayati terhadap nutrisi kelapa sawit

Selama ini belum banyak praktisi perkebunan yang menyadari akan pentingnya peran biologi tanah terhadap nutrisi kelapa sawit. Ketika berbicara mengenai nutrisi kelapa sawit, tak jarang para praktisi perkebunan kelapa sawit selalu mengaitkannya dengan pupuk kimia ataupun pupuk organik. Faktanya, sifat fisik, kimia, dan biologi tanah saling berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain terhadap nutrisi dan pertumbuhan tanaman. Budidaya kelapa sawit merupakan sistem budidaya monokultur yang dilakukan dalam jangka waktu yang sangat panjang, umumnya 25 tahun untuk satu siklus usaha. Tak jarang, praktik budidaya ini dilakukan dengan menerapkan cara-cara yang instan untuk memperoleh keuntungan yang tinggi dan cepat. Sebagai contoh, penggunaan herbisida dan pestisida untuk menanggulangi gulma dan hama penyakit. Tanpa disadari, walaupun cara-cara tersebut lebih praktis dan ekonomis, namun sangat berbahaya bagi keberlanjutan usaha kelapa sawit. Selain mengancam kesehatan tanah, penggunaan bahan-bahan kimia secara tidak bijaksana juga dapat mengancam kesehatan manusia. Hal tersebut tentunya sangat mengancam keberlanjutan kelapa sawit di Indonesia.

Tanaman menyerap hara setiap jenis hara baik makro maupun mikro dari larutan tanah dalam bentuk ionik yang dikenal dengan istilah “bentuk tersedia”. Nitrogen misalnya, tanaman menyerapnya dalam bentuk amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-).

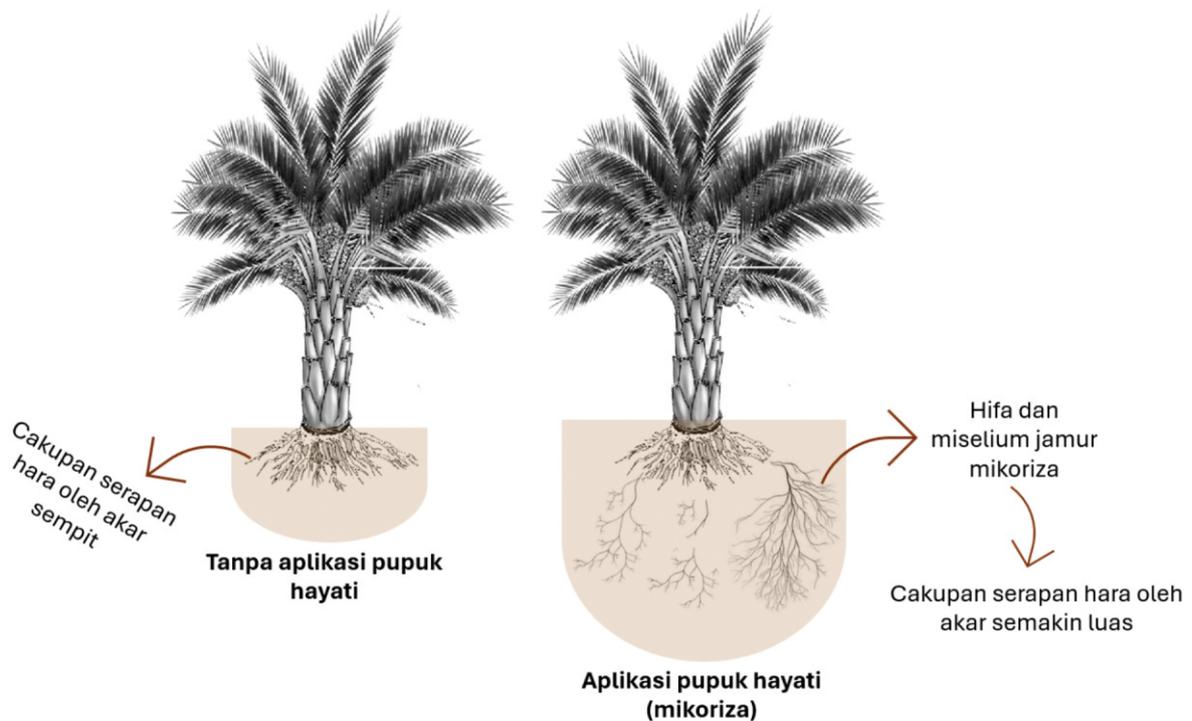
Sementara itu fosfor diserap dalam bentuk H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} , kalium diserap dalam bentuk K^+ , kalsium diserap dalam bentuk Ca^{2+} , dan magnesium diserap dalam bentuk Mg^{2+} . Hampir semua dari bentuk hara tersedia di dalam tanah merupakan hasil dari “campur tangan” organisme tanah. Contoh sederhana peran organisme tanah dalam menyediakan hara adalah dalam hal penyediaan nitrogen. Tanaman membutuhkan nitrogen dalam bentuk N-anorganik untuk pertumbuhannya, namun sebagian besar nitrogen di dalam tanah berada dalam bentuk organik. Oleh karenanya, tanaman bergantung pada mikroorganisme tanah untuk mendekomposisi dan memobilisasi N-organik secara enzimatik di dalam tanah agar nitrogen dapat tersedia dan dapat diserap oleh tanaman. Selain itu, mikroorganisme tanah juga dapat menyediakan nitrogen bagi tanaman melalui fiksasi N bebas baik dengan cara simbiosis maupun non-simbiosis. Contoh lain peran mikroorganisme tanah dalam menyediakan hara adalah ketika kita mengaplikasikan pupuk urea pada perkebunan kelapa sawit (Gambar 3). Ketika urea diaplikasikan ke tanah maka urea akan dirombak oleh mikroorganisme yang menghasilkan enzim urease menjadi amonium yang merupakan bentuk yang dapat diserap tanaman. Selanjutnya amonium akan dirombak lagi oleh bakteri Nitrosomonas menjadi nitrit dan selanjutnya oleh Nitrobakter melalui proses nitrifikasi menjadi nitrat yang juga merupakan bentuk nitrogen yang dapat diserap tanaman.



Gambar 3. Ilustrasi transformasi pupuk urea menjadi amonium, nitrit, dan nitrat oleh bakteri Nitrosomas dan Nitrobacter.

Pupuk hayati juga berperan terhadap akuisisi hara oleh akar tanaman dengan cara “memperluas” cakupan akar tanaman di dalam tanah melalui simbiosis dengan jamur Mikoriza. Melalui simbiosis tersebut tanaman memperoleh keuntungan dengan semakin meluasnya area permukaan serapan akar melalui jaringan hifa dan miselium dari jamur mikoriza (Gambar 4). Hal tersebut berdampak pada semakin banyaknya jumlah hara yang dapat diserap tanaman. Beberapa penelitian melaporkan bahwa jaringan hifa miselium bermanfaat untuk mengeksplorasi tanah guna memperoleh hara. Liang

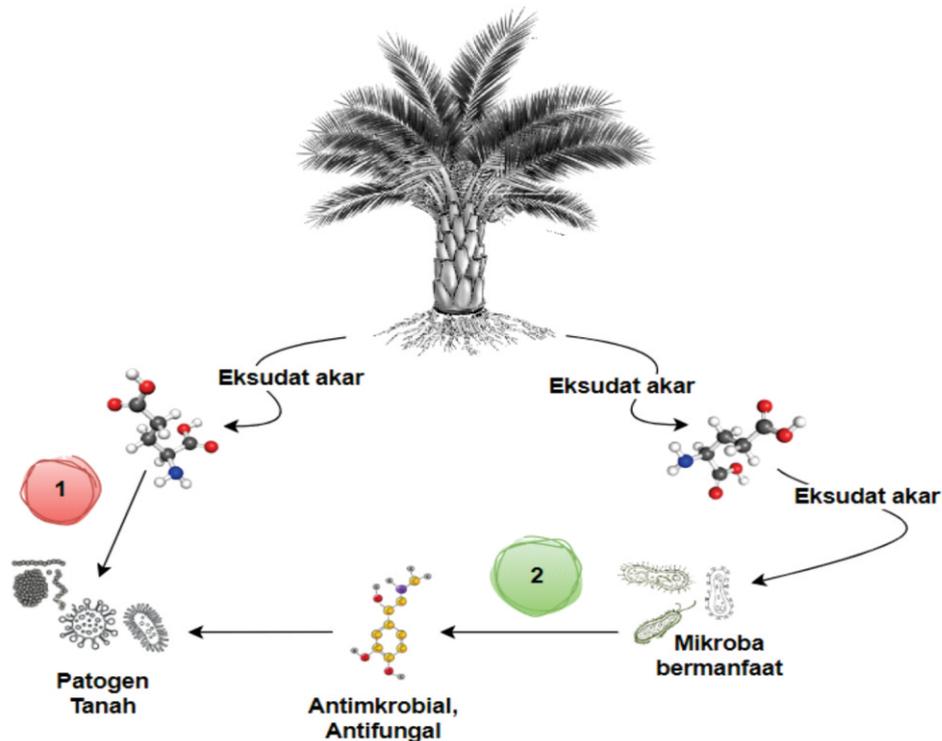
et al., (2022) menemukan bahwa dalam lingkungan tanah yang miskin hara, tanaman secara signifikan meningkatkan biomassa akar dan kolonisasi *Arbuscular mycorrhizae* (AM) sehingga meningkatkan perolehan hara. Selanjutnya, Jiang et al., (2021) menemukan bahwa jamur AM mengangkut bakteri pelarut P untuk memfasilitasi mineralisasi P-organik. Demikian juga Li et al., (2022) yang juga melaporkan bahwa jamur AM spesies tertentu mampu merangsang pertumbuhan akar tanaman dan meningkatkan serapan N, P, dan K dari tanaman.



Gambar 4. Ilustrasi peran pupuk hayati (Mikoriza) terhadap penyerapan hara pada tanaman kelapa sawit. Mikoriza bersimbiosis dengan akar kelapa sawit memperluas eksplorasi akar di dalam tanah untuk menyerap hara

Selain berperan dalam siklus hara di dalam tanah, organisme tanah juga berperan membantu dalam sistem pertahanan tanaman. Ada dua mekanisme bagaimana tanaman dalam menghadapi patogen tanah yaitu mekanisme langsung dan tidak langsung (Sun et al., 2021). Mekanisme langsung dilakukan dengan cara akar tanaman mengeluarkan eksudat akar yang berfungsi menekan

perkembangan patogen tanah. Sementara itu mekanisme tidak langsung dengan cara akar tanaman mengeluarkan eksudat akar tertentu yang dapat mengundang mikroba bermanfaat. Mikroba bermanfaat tersebut selanjutnya akan mendominasi rhizosphere dan mensekresi senyawa anti-mikrobia atau anti-fungal untuk melawan patogen tanah (Gambar 5).



Gambar 5. Ilustrasi peran mikroba tanah dalam membantu sistem pertahanan tanaman; (1) tanaman mengeluarkan jenis eksudat yang dapat langsung menghambat perkembangan patogen; (2) tanaman mengeluarkan jenis eksudat yang dapat mengundang mikroba bermanfaat untuk mendominasi rizosfer dan melawan patogen. Diadopsi dari: Sun et al., (2021)

MEMAHAMI FILOSOFI PEMUPUKAN MELALUI PEMAHAMAN TANAH SEBAGAI MEDIA TANAM DAN PENYEDIA HARA BAGI TANAMAN

Tanah merupakan ekosistem yang kompleks dan dinamis yang tersusun dari komponen fisik, kimia, dan biologi yang saling berinteraksi satu dengan yang lainnya. Oleh karenanya karakteristik fisik, kimia, dan biologi suatu tanah sangat menentukan kualitas dan kesehatan tanah sebagai media tanam. Penting diketahui bahwa tanah memiliki karakteristik yang relatif permanen atau inheren, dan karakteristik yang dinamis. Karakteristik inheren tanah relatif sulit untuk diperbaiki seperti tekstur, kedalaman solum, jenis mineral liat, dan kelas drainase. Sementara itu karakteristik dinamis tanah lebih mudah untuk dikoreksi seperti pH dan kandungan bahan organik tanah. Perlu dipahami bahwa proses penyerapan hara oleh akar tanaman dari dalam tanah sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisik, kimia, dan biologi tanah yang saling mempengaruhi satu dengan yang

lainnya. Artinya, efektivitas dan efisiensi pemupukan juga dipengaruhi oleh ketiga karakteristik tanah tersebut. Sebagai contoh, pemupukan yang dilakukan pada tanah dengan struktur yang porous, misalnya tanah yang didominasi fraksi pasir, akan menghasilkan efektivitas dan efisiensi yang berbeda dengan tanah yang memiliki kandungan bahan organik yang cukup. Oleh karenanya, agar pemupukan yang dilakukan dapat menghasilkan efektivitas dan efisiensi yang tinggi serta berkesinambungan, maka pemupukan perlu mempertimbangkan karakteristik fisik, kimia, dan biologi tanah.

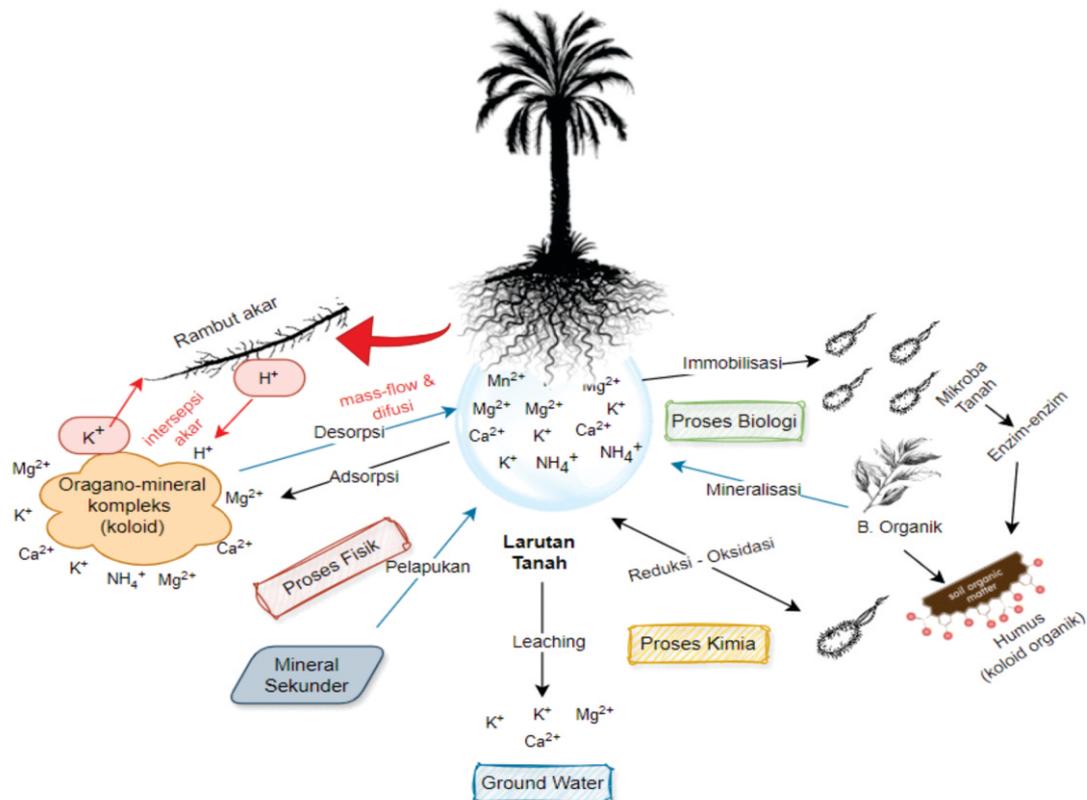
Proses penyerapan hara oleh akar tanaman terjadi di daerah perakaran yang dikenal dengan istilah rizosfer, tepatnya pada larutan tanah. Rizosfer merupakan tempat terjadinya interaksi antara akar, tanah, dan segala komponen termasuk mikroorganisme tanah. Rizosfer juga tempat terjadinya berbagai macam reaksi termasuk reaksi fisik, kimia, dan biologi yang mempengaruhi penyerapan hara oleh

akar tanaman. Pada rizosfer tanaman akan melepaskan senyawa organik lewat akar yang dikenal dengan istilah eksudat akar. Eksudat akar ini merupakan sumber makanan bagi mikroorganisme tanah, oleh karenanya eksudat akar ini akan mempengaruhi struktur komunitas dan aktivitas mikroorganisme rizosfer (Chai & Schachtman, 2022; Vives-Peris et al., 2020). Aktivitas mikroorganisme di rizosfer akan mempengaruhi proses biokimia yang pada akhirnya mempengaruhi perkembangan akar dan penyerapan hara (Wang et al., 2020). Secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa rizosfer merupakan pusat aktivitas yang paling intens di dalam tanah dimana terjadi interaksi yang kompleks antara tanah, akar tanaman, dan mikroba tanah. Maka dari itu, perlu menciptakan kondisi yang optimal pada rizosfer agar interaksi antara tanah, akar, dan kehidupan di dalam tanah dapat berjalan dengan baik.

Proses penyerapan hara oleh akar tanaman dan reaksi yang terjadi di dalam tanah diilustrasikan pada Gambar 6, dimana melibatkan proses fisik maupun biokimia di dalamnya. Akar tanaman, khususnya bulu akar, masuk ke dalam pori-pori tanah (larutan tanah) dimana ada air berupa larutan elektrolit yang mengandung hara. Selanjutnya akar tanaman menyerap air (larutan elektrolit) dari dalam tanah melalui proses osmosis dan terdistribusi pada organ-organ tanaman. Oleh karena hara di dalam larutan tanah diserap oleh akar tanaman maka terjadi gradien konsentrasi hara di dalam larutan tanah. Selanjutnya hara yang terjebak pada permukaan kompleks organik-mineral akan bergerak melalui aliran massa sekaligus difusi menuju larutan tanah atau dapat juga akar melakukan kontak langsung dengan permukaan kompleks organik-mineral yang dikenal dengan istilah intersepsi akar. Untuk menjaga keseimbangan muatan pada permukaan akar maka setiap ion (hara) yang masuk ke dalam akar akan menyebabkan pelepasan ion lawannya. Sebagai contoh ketika akar menyerap satu ion K^+ maka akar melepaskan satu ion H^+ , sebaliknya jika akar menyerap satu ion NO_3^- maka akar akan melepaskan satu ion OH^- atau HCO_3^- . Konsentrasi hara di dalam larutan tanah juga dipengaruhi berbagai proses biologi, kimia, dan fisik secara bersamaan. Aktivitas biologi bertanggungjawab terhadap proses mineralisasi senyawa organik yang melepaskan ion (hara) yang larut dalam air, dimana

mikroorganisme menghasilkan enzim untuk menghidrolisis protein dan melepaskan NH_4^+ . Pada proses tersebut terjadi juga imobilisasi hara yaitu ketika mikroorganisme tanah mengambil hara untuk kebutuhan hidupnya. Proses kimia yang terjadi berupa reaksi reduksi dan oksidasi pada unsur-unsur hara seperti Fe, Mn, dan sulfat. Intinya, tanaman menyerap sebagian besar hara dari larutan tanah (pori tanah) dimana larutan tanah tersebut merupakan lingkungan yang sangat dinamis dimana terjadi proses fisika, kimia, dan biologi secara bersamaan dan saling berkaitan satu dengan yang lainnya.

Melalui penjelasan di atas maka pemupukan seharusnya tidak hanya dipandang sebagai upaya untuk “memberi makan tanaman” namun juga harus bisa sekaligus sebagai upaya untuk “memberi makan tanah”. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa salah satu kelebihan dari pupuk kimia adalah dapat menyediakan hara dengan cepat karena hara yang terkandung dalam pupuk kimia bersifat mudah larut. Berdasarkan kelebihan tersebut maka penggunaan pupuk kimia utamanya ditujukan untuk “memberi makan” tanaman dan peran ini sifatnya jangka pendek. Di lain sisi, fungsi utama dari pupuk organik dan pupuk hayati adalah untuk memperbaiki kualitas dan kesehatan tanah agar tanah dapat mendukung pertumbuhan tanaman dengan cara menciptakan “lingkungan yang nyaman” bagi perkembangan akar tanaman dan peran ini sifatnya jangka panjang. Pupuk organik memperbaiki kualitas tanah melalui perbaikan fisik tanah dengan cara memperbaiki struktur, aerasi, dan kelembaban tanah sehingga tercipta kondisi tanah yang sesuai untuk kehidupan di dalam tanah. Sementara pupuk hayati memperbaiki kesehatan tanah dengan cara meningkatkan populasi dan aktivitas mikroorganisme bermanfaat di daerah perakaran tanaman. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa pupuk kimia memberikan efek sementara atau jangka pendek terhadap nutrisi tanaman. Sementara pupuk organik dan pupuk hayati memberikan pengaruh jangka panjang terhadap nutrisi tanaman. Dengan memahami peran dari masing-masing jenis pupuk terhadap tanaman maka pemupukan di perkebunan kelapa sawit harus dilakukan secara bijaksana. Pupuk kimia, organik, dan hayati harus digunakan secara berimbang tergantung pada kondisi spesifik lahan dan dengan menerapkan prinsip berkelanjutan.



Gambar 6. Ilustrasi penyerapan hara oleh akar tanaman dari dalam tanah. Proses biologi, kimia, dan fisika mempengaruhi konsentrasi hara di dalam larutan tanah

PENUTUP

Indonesia merupakan negara dengan sumber daya alam yang melimpah, dan tanaman kelapa sawit merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat berharga yang dimiliki Indonesia. Pupuk memiliki peran yang signifikan terhadap pencapaian produktivitas kelapa sawit yang tinggi. Oleh karenanya praktik budidaya kelapa sawit tidak dapat terlepas dari penggunaan pupuk. Di sisi lain, penggunaan pupuk kimia yang tidak tepat dapat mengancam kelestarian lingkungan dan keberlanjutan kelapa sawit. Maka dari itu, dibutuhkan pemahaman dan strategi yang tepat terkait pemupukan baik dari aspek jenis, cara, waktu, dan dosis agar pemupukan di perkebunan kelapa sawit dapat dilakukan secara bijaksana. Penting untuk dicatat bahwa pengelolaan perkebunan kelapa sawit tidak hanya melulu tentang keuntungan ekonomi sesaat. Namun yang tidak kalah penting, bagaimana mengelola perkebunan kelapa sawit agar dapat lestari secara lingkungan dan memberikan dampak positif

terhadap sosial masyarakat. Kelapa sawit merupakan masa depan Indonesia, oleh karenanya kelapa sawit harus dikelola secara berkelanjutan agar manfaatnya dapat dirasakan oleh generasi mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajeng, A. A., Abdullah, R., Malek, M. A., Chew, K. W., Ho, Y.-C., Ling, T. C., Lau, B. F., & Show, P. L. (2020). The Effects of Biofertilizers on Growth, Soil Fertility, and Nutrients Uptake of Oil Palm (*Elaeis Guineensis*) under Greenhouse Conditions. *Processes*, 8(12), 1681. <https://doi.org/10.3390/pr8121681>
- Angga, M. A., Nuraeni, & Ilsan, M. (2022). Dampak keberadaan perusahaan kelapa sawit terhadap kondisi sosial, ekonomi, dan lingkungan masyarakat (studi kasus perusahaan kelapa sawit di Desa Tobadak, Kecamatan Tobadak,

- Kabupaten Mamuju Tengah). WIRATANI: Jurnal Ilmiah Agribisnis, 4(1), 2021. <http://jurnal.agribisnis.umi.ac.id>
- Begum, M., Kandali, G. G., Dutta, D., & Bey, C. K. (2023). Organic Fertilizer: A Key Component of Organic Agriculture-A Review. *Agricultural Reviews*, Of. <https://doi.org/10.18805/ag.r-2626>
- Chai, Y. N., & Schachtman, D. P. (2022). Root exudates impact plant performance under abiotic stress. *Trends in Plant Science*, 27(1), 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.08.003>
- Cock, J., Kam, S. P., Cook, S., Donough, C., Lim, Y. L., Jines-Leon, A., Lim, C. H., Primananda, S., Yen, B. T., Mohanaraj, S. N., Samosir, Y. M. S., & Oberthür, T. (2016). Learning from commercial crop performance: Oil palm yield response to management under well-defined growing conditions. *Agricultural Systems*, 149 (October 2017), 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.002>
- Darras, K. F. A., Corre, M. D., Formaglio, G., Tjoa, A., Potapov, A., Brambach, F., Sibhatu, K. T., Grass, I., Rubiano, A. A., Buchori, D., Drescher, J., Fardiansah, R., Hölscher, D., Irawan, B., Kneib, T., Krashevskaya, V., Krause, A., Kreft, H., Li, K., ... Veldkamp, E. (2019). Reducing Fertilizer and Avoiding Herbicides in Oil Palm Plantations—Ecological and Economic Valuations. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2 (November). <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00065>
- Fasusi, O. A., Cruz, C., & Babalola, O. O. (2021). Agricultural Sustainability: Microbial Biofertilizers in Rhizosphere Management. *Agriculture*, 11(2), 163. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020163>
- Hassler, E., Corre, M. D., Kurniawan, S., & Veldkamp, E. (2017). Soil nitrogen oxide fluxes from lowland forests converted to smallholder rubber and oil palm plantations in Sumatra, Indonesia. *Biogeosciences*, 14(11), 2781–2798. <https://doi.org/10.5194/bg-14-2781-2017>
- Jiang, F., Zhang, L., Zhou, J., George, T. S., & Feng, G. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance mineralisation of organic phosphorus by carrying bacteria along their extraradical hyphae. *New Phytologist*, 230(1), 304–315. <https://doi.org/10.1111/nph.17081>
- Kandpal, G. (2021). Review on Impact of Chemical Fertilizers on Environment. *International Journal of Modern Agriculture*, 10(1), 758–763.
- Kubitza, C., Krishna, V. V., Alamsyah, Z., & Qaim, M. (2018). The economics behind an ecological crisis: livelihood effects of oil palm expansion in Sumatra, Indonesia. *Human Ecology*, 46(1), 107–116. <https://doi.org/10.1007/s10745-017-9965-7>
- Kumar, S., Diksha, Sindhu, S. S., & Kumar, R. (2022). Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>
- Kurniawan, S., Corre, M. D., Matson, A. L., Schulte-Bisping, H., Utami, S. R., Van Straaten, O., & Veldkamp, E. (2018). Conversion of tropical forests to smallholder rubber and oil palm plantations impacts nutrient leaching losses and nutrient retention efficiency in highly weathered soils. *Biogeosciences*, 15(16), 5131–5154. <https://doi.org/10.5194/bg-15-5131-2018>
- Li, Q., Umer, M., Guo, Y., Shen, K., Xia, T., Xu, X., Han, X., Ren, W., Sun, Y., Wu, B., Liu, X., & He, Y. (2022). Karst Soil Patch Heterogeneity with Gravels Promotes Plant Root Development and Nutrient Utilization Associated with Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Agronomy*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy12051063>
- Liang, Y., Pan, F., Jiang, Z., Li, Q., Pu, J., & Liu, K. (2022). Accumulation in nutrient acquisition strategies of arbuscular mycorrhizal fungi and plant roots in poor and heterogeneous soils of karst shrub ecosystems. *BMC Plant Biology*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03514-y>
- Maçik, M., Gryta, A., & Fraç, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 162, pp. 31–87). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001>

- Sun, H., Jiang, S., Jiang, C., Wu, C., Gao, M., & Wang, Q. (2021). A review of root exudates and rhizosphere microbiome for crop production. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(39), 54497–54510. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15838-7>
- Suyal, D. C., Soni, R., Sai, S., & Goel, R. (2016). Microbial inoculants as biofertilizer. In *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity: Vol. 1: Research Perspectives* (pp. 311–318). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5_18
- Vives-Peris, V., de Ollas, C., Gómez-Cadenas, A., & Pérez-Clemente, R. M. (2020). Root exudates: from plant to rhizosphere and beyond. *Plant Cell Reports*, 39(1), 3–17. <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02447-5>
- Wang, X., Whalley, W. R., Miller, A. J., White, P. J., Zhang, F., & Shen, J. (2020). Sustainable Cropping Requires Adaptation to a Heterogeneous Rhizosphere. *Trends in Plant Science*, 25(12), 1194–1202. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.07.006>
- Woittiez, L. S., Van Wijk, M. T., Slingerland, M., Van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2017). Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, 83, 57–77.

