

PEMUPUKAN dan **REKOMENDASI PUPUK**

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

Pasal 1:

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang undangan.

Pasal 9:

2. Pencipta atau Pengarang Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 8 memiliki hak ekonomi untuk melakukan a.Penerbitan Ciptaan; b.Penggandaan Ciptaan dalam segala bentuknya; c.Penerjemahan Ciptaan; d.Pengadaptasian, pengaransemen, atau pentrasformasian Ciptaan; e.Pendistribusian Ciptaan atau salinan; f.Pertunjukan Ciptaan; g.Pengumuman Ciptaan; h.Komunikasi Ciptaan; dan i. Penyewaan Ciptaan.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Palupi Puspitorini, Tri Endrawati, Maymunah, Maimuna Lahabi,
Retno Sulistiyowati, Ida Sugeng Suyani, Gelvin Iqbal Pradhipta,
Alfan Setya Winurdana, La Mudi, Juharni

PEMUPUKAN *dan* REKOMENDASI PUPUK



Penerbit Lakeisha
2024

PEMUPUKAN DAN REKOMENDASI PUPUK

Penulis:

**Palupi Puspitorini, Tri Endrawati, Maymunah, Maimuna Lahabi,
Retno Sulistiyowati, Ida Sugeng Suyani, Gelvin Iqbal Pradhipta,
Alfan Setya Winurdana, La Mudi, Juharni**

Editor : Andriyanto
Layout : Yusuf Deni Kristanto
Design Cover : Tim Lakeisha

Cetak I Desember 2024
15,5 cm × 23 cm, 209 Halaman
ISBN: 978-623-119-510-4

Diterbitkan oleh Penerbit Lakeisha
(Anggota IKAPI No.181/JTE/2019)

Redaksi
Srikaton, Rt.003, Rw.001, Pucangmiliran, Tulung, Klaten, Jawa Tengah
Hp. 08989880852, Email: penerbit_lakeisha@yahoo.com
Website: www.penerbitlakeisha.com
Distributor: Penerbit Lakeisha

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Pupuk adalah zat yang ditambahkan ke tanah untuk meningkatkan kemampuannya dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Pupuk mengandung nutrisi tanaman penting, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang kurang dalam tanah atau jumlahnya tidak mencukupi untuk pertumbuhan tanaman yang optimal. Pupuk dapat berupa pupuk sintetis yang terbuat dari senyawa kimia, atau pupuk organik yang terbuat dari bahan alami seperti kompos atau kotoran hewan. Jenis dan jumlah pupuk yang digunakan bergantung pada kebutuhan spesifik tanaman yang ditanam dan kondisi tanah. Pupuk organik umumnya lebih murah dan lebih mudah diperoleh dari sumber lokal daripada pupuk kimia. Bahan organik merupakan dasar kesuburan tanah.

Buku ini merupakan kumpulan tulisan dari para pakar dan akademisi yang berfokus pada upaya penyadaran masyarakat mengenai pupuk dan pemilihan pupuk yang baik. Di antara topik yang dibahas di dalam buku ini meliputi konsep dasar pemupukan, dasar-dasar pengelolaan tanah, klasifikasi, sifat serta ciri pupuk, metode pemupukan, reaksi pupuk dalam tanah, dinamika pupuk dalam tanah, serta dasar pertimbangan dalam pemupukan.

Terima kasih kepada tim penerbit yang telah membantu penulis menerbitkan karya ini. Kepada para pembaca, selain mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kami juga memohon saran serta masukan yang membangun untuk perbaikan buku ini pada penerbitan berikutnya.

Editor

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
KONSEP DASAR PEMUPUKAN	
Maymunah	1
KONSEP DASAR PENGELOLAAN TANAH	
Maimuna Lahabi	18
KLASIFIKASI, SIFAT DAN CIRI PUPUK	
Ida Sugeng Suyani.....	36
METODE PEMUPUKAN	
Gelvin Iqbal Pradhipta.....	57
DASAR PERTIMBANGAN PEMUPUKAN	
Juharni	91
DINAMIKA PUPUK DALAM TANAH	
La Mudi	107
REAKSI PUPUK DALAM TANAH	
Alfan Setya Winurdana.....	127
REKOMENDASI PEMUPUKAN	
Palupi Puspitorini.....	156
PEMUPUKAN DAN PENCEMARAN LINGKUNGAN	
Retno Sulistiyowati.....	176
TANTANGAN PEMUPUKAN MASA DEPAN	
Tri Endrawati.....	191



KONSEP DASAR PEMUPUKAN

Maymunah

Universitas Sunan Bonang

1.1. Pendahuluan

Tanaman membutuhkan unsur hara dan mineral untuk hidup dan tumbuh. Unsur hara dan mineral yang dibutuhkan dapat berupa unsur makro maupun mikro. Unsur hara dan mineral pada dasarnya telah tersedia di tanah dan selanjutnya diserap oleh tanaman. Unsur-unsur tersebut terbentuk secara alami dari penguraian organisme, pelapukan dan sisa-sisa makhluk hidup. Selanjutnya unsur tersebut diserap oleh tanaman dan dimanfaatkan untuk pertumbuhannya. Beberapa peristiwa menyebabkan tanah kehilangan unsur-unsur hara yang ada di dalamnya. Unsur-unsur hara dalam tanah dapat berkurang karena penyerapan tanaman maupun hilang karena hal-hal yang lain. Pola tanam yang terus menerus sama, tanah longsor, polusi, kekeringan atau banjir dapat menyebabkan unsur hara dan mineral khususnya yang ada di lapisan atas tanah hilang. Hal ini menyebabkan tanah kehilangan unsur-unsur yang dimilikinya. Kehilangan unsur-unsur ini menyebabkan tanaman yang tumbuh

diatasnya menjadi kekurangan makanan. Kekurangan unsur ini pada akhirnya akan mengganggu pertumbuhan tanaman dan menurunkan produktifitas tanaman (Maghfoer, 2018).

Tanah pada dasarnya terbentuk dari bahan mineral dan organik, air dan udara. Adanya proses pembentukan tanah yang dipengaruhi berbagai faktor, menyebabkan adanya perbedaan kandungan unsur hara, mineral dan bahan organik yang dikandung (Hakim, 1986). Dapat kita lihat bahwa kondisi tanah di berbagai daerah khususnya di Indonesia nampak berbeda-beda. Perbedaan iklim, dan cuaca yang berbeda-beda, sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi terbentuknya tanah. Perbedaan cuaca dan iklim ini lah yang mempengaruhi pembentukan tanah. Akibatnya ini juga menyebabkan adanya perbedaan kondisi tanah, baik secara fisik maupun kimia di berbagai daerah.

Jumlah penduduk yang meningkat juga membawa dampak meningkatnya kebutuhan akan pangan. Kebutuhan pangan yang meningkat, menurunnya kualitas tanah dan sempitnya lahan pertanian membuat manusia terus mencari solusi agar kebutuhan pangan masyarakat dapat terpenuhi. Salah satu nya adalah dengan penggunaan pupuk untuk meningkatkan produksi tanaman. Penggunaan pupuk diharapkan dapat memenuhi unsur hara yang dibutuhkan tanaman sehingga dapat tumbuh dengan optimal dan menghasilkan panen yang maksimal. Saat ini penggunaan pupuk tidak hanya diharapkan memenuhi kebutuhan hara tanaman dan meningkatkan produktifitas, tetapi juga mendukung pertanian berkelanjutan.

1.2. Tanah

Tanah merupakan bagian dari bumi yang tidak lepas dari kehidupan makhluk hidup. Manusia beraktifitas diatas tanah dan memanfaatkan tanah untuk kebutuhan dan kepentingannya. Manusia bercocok tanam, beternak, membuat rumah, melakukan aktifitas kesehariannya, semuanya dilakukan di atas tanah. Tanah bahkan saat

ini dikategorikan sebagai modal dan harta yang dianggap memiliki nilai ekonomis hingga menjadi aset yang nilainya terus naik. Secara sosial kepemilikan tanah juga menunjukkan status sosial yang lebih tinggi dibanding mereka yang tidak memiliki atau pekerja. Bahkan di beberapa daerah dikenal dengan nama *Tuan Tanah* bagi mereka yang menguasai tanah yang luas atau istilah lain bagi mereka yang bekerja pada pemilik tanah.

Tidak hanya manusia, hewan dan tumbuhan pun juga memanfaatkan tanah sebagai tempat hidup dan sumber kehidupannya. Hewan mendapatkan makanan dari tumbuhan yang hidup di atas tanah. Hewan makan, tidur dan beraktifitas juga di atas hamparan tanah bahkan di dalam tanah. Tumbuhan hidup di atas tanah dan menggunakan tanah sebagai media tumbuh secara langsung atau tidak langsung. Tanaman menyerap hara dan mineral dari tanah untuk dimanfaatkan sebagai sumber makanannya.

Sebagai sumber kehidupan dan tempat makhluk hidup beraktifitas, maka keberadaan tanah perlu dijaga. Tanah dalam hal ini kita pandang sebagai obyek yang dimanfaatkan bagi aktifitas pertanian pada berbagai banyak sektor. Hal ini harus disadari karena penggunaan tanah yang tidak terkonsep, menyebabkan fungsi tanah menjadi hilang. Tanah yang berfungsi penyerap air hujan, akibat tata kelola yang salah menyebabkan terjadinya bencana banjir, tanah longsor maupun banjir lainnya seperti banjir lahar dan gletser.. Eksploitasi tanah untuk menghasilkan produksi tanaman yang berlebihan dengan penggunaan pupuk dan bahan kimia lain menyebabkan tanah kehilangan nutrisi, organisme dan mineral. Padahal sejatinya justru kandungan tanah inilah yang dibutuhkan tanaman dan organisme lain untuk tetap hidup dan mendukung kebutuhan pangan manusia.

Tanah dan bahan pembentukannya

Tanah merupakan bagian luar bumi yang dikenal dengan sebutan kulit bumi. Tanah ini terbentuk dari berbagai bahan dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Tanah tersusun dari berbagai

padatan (bahan mineral dan organik), cairan dan gas. Adapun pembentukannya dipengaruhi oleh bahan pembentuk tanah, iklim, organisme tanah, bahan induk dan umur tanah. (Anwar, Syaiful, Fiantis et al., 2016).

Bahan pembentuk tanah merupakan bahan yang sangat mempengaruhi sifat tanah. Apakah tanah tersebut asam atau basa, berkapur atau gambut dipengaruhi oleh bahan pembentuknya. Pada umumnya bahan pembentuk tanah adalah batuan. Batuan tersebut dapat berupa batuan beku, batuan sediman, batuan metamorphose atau bahan induk organik. (Hardjowigeno, 1993). Tanah yang berasal dari bebatuan beku pada umumnya akan membentuk tanah yang kaya akan mineral. Sedangkan batuan sedimen seperti batuan kapur membentuk tanah yang kurang akan mineral yang dibutuhkan khususnya tanaman. Bahan induk lain adalah batuan metamorf, abu vulkanik dan bahan organik.

Iklim dan cuaca mempengaruhi proses terbentuknya tanah. Kondisi panas, dingin, curah hujan yang tinggi atau rendah akan mempercepat atau memperlambat proses terbentuknya tanah. Hal ini disebabkan karena air dan suhu mempengaruhi kecepatan proses kimia yang pada proses terbentuknya tanah. Daerah dengan curah hujan rendah maka umumnya pembentukan tanahnya lebih lambat dibanding dengan daerah dengan curah hujan yang tinggi. Curah hujan yang tinggi juga mengakibatkan proses pelapukan dan terbawanya mineral dan partikel tanah ke lapisan bawah tanah (Hakim, 1986).

Tak hanya organisme tanah, tumbuhan dan manusia mempengaruhi dalam pembentukan tanah. Tumbuhan yang berada diatas tanah mempengaruhi dalam penyediaan bahan organik baik dari pembusukan daun, sisa tanaman maupun akar. Tumbuhan juga membentuk iklim mikro yang mempengaruhi kondisi tanah. Tanah dengan vegetasi yang lebat akan memperlambat pencucian unsur hara. Tanah dengan vegetasi jarang dan berdaun seperti jarum lebih cepat terjadinya pencucian hara (Hakim, 1986). Manusia melalui proses

pengolahan tanah, pemanfaatan tanah dan penambahan bahan organik atau non organik akan mempengaruhi proses pembentukan tanah. Pengolahan tanah yang baik akan mengurangi percepatan larutnya hara oleh air. Pemanfaatan tanah menjadi jalan raya, bangunan dan jembatan akan menutup permukaan tanah sehingga kemampuan penyerapan air menjadi berkurang.

Kesuburan Tanah

Tanah yang dikatakan subur adalah tanah yang memiliki unsur hara dan mineral yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh. Kesuburan tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik yang dimiliki dan bahan induk pembentukan tanah. Tanah jenis alluvial umumnya kaya akan unsur hara dan kandungan mineral. Tanah jenis ini cocok untuk kegiatan pertanian. (Sherly Meiwa, 2020). Berbeda dengan jenis tanah lainnya umumnya kandungan mineral dan organiknya rendah baik karena bahan induknya maupun proses pembentukannya yang menyebabkan hara dan mineralnya banyak yang hilang.

Kesuburan tanah dipengaruhi oleh bahan penyusunnya. Bahan penyusun tanah secara umum terdiri dari udara, mineral, air dan bahan organik. Komposisi bahan penyusun tanah akan saling mempengaruhi dan menentukan sifat-sifat tanah serta tingkat kesuburannya. Tanah dapat dikatakan subur apabila kandungan bahan yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh tersedia cukup banyak dan memiliki sifat-sifat kimia dan fisika yang mendukung penyerapan unsur oleh tanaman. Melalui evaluasi kesuburan tanah dapat diketahui status kesuburan lahan. Menurut Sipayung et al., (2020) dan Itera (2018) beberapa parameter yang dapat digunakan untuk melakukan evaluasi adalah :

1. pH Tanah
2. Kandungan Fosfor Total (P Total)
3. Kandungan Kalium Total (K Total)
4. Kandungan C Organik
5. Kandungan Basa (KB)

6. Kapasitas Tukar Kation (KTK)
7. Kelembaban tanah
8. Temperatur tanah
9. Intensitas cahaya tanah

Setelah mengetahui parameter kesuburan tanah maka dapat dilakukan pemetaan lahan, pemantauan serta upaya pengelolaan, baik untuk mempertahankan kesuburan tanah maupun meningkatkan tingkat kesuburan tanah. Mempertahankan kesuburan tanah akan mendukung optimalisasi pertumbuhan dan produktifitas tanaman.

Mempertahankan atau meningkatkan kesuburan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya :

1. Pemberian pupuk

Pemberian pupuk baik non organik maupun organik memiliki tujuan meningkatkan kesuburan tanah, dalam hal ini menambahkan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Pemberian pupuk organik kompos maupun pupuk kandang tidak hanya menambah unsur hara tetapi juga meningkatkan kelembaban tanah dan menyediakan bakteri yang membantu memperbaiki kesuburan tanah.

2. Penanaman tanaman Legum

Tanaman legum memiliki kemampuan mengikat nitrogen dari udara. Proses fiksasi Nitrogen ini menyebabkan nitrogen lebih mudah diserap oleh tanaman. Tanaman legum mengikat Nitrogen melalui kerjasama dengan bakteri rhizobium yang hidup di akarnya. Akar Legum juga kuat menahan struktur tanah sehingga mengurangi erosi tanah atau hilangnya unsur hara karena aliran air atau peristiwa lain.

3. Rotasi Tanaman

Sistem rotasi tanaman memiliki tujuan agar tidak terjadi eksploitasi unsur hara tertentu oleh tanaman secara terus menerus. Sehingga kesediaannya akan senantiasa ada dan tanah memiliki waktu untuk memulihkan kondisinya.

4. Penggunaan Mulsa

Mulsa tidak hanya mengurangi munculnya gulma tetapi juga menjaga kelembaban tanah. Tanah yang lembab akan mengundang jasad renik, cacing untuk menguraikan bahan organik dan menyuburkan tanah.

Pengelolaan tanah

Tanah yang memiliki tingkat kesuburan yang baik tetap perlu dikelola dengan tepat. Pengelolaan tanah yang tepat selain mempertahankan kandungan unsur dan tingkat kesuburannya. Beberapa teknik pengolahan lahan telah dikenal dalam mempersiapkan lahan pertanian.

1. Tanpa Olah Tanah (*Zero Tillage*)

Teknik ini hanya melakukan pembersihan lahan secukupnya bahkan memanfaatkan seresa untuk mulsa. Tanah digali secukupnya untuk meletakkan benih yang akan ditanam. Teknik ini memiliki keunggulan tingkat penguapan tanah rendah karena tertutup mulsa seresa sehingga kesediaan air untuk tanaman cukup. Teknik ini banyak digunakan pada masa pertanian belum menetap atau ladang berpindah.

2. Olah tanah Minimum (*Minimum Tillage*)

Teknik ini sudah melakukan pengelolaan tanah akan tetapi masih bersifat seperlunya sesuai dengan kebutuhan tanaman. Penelitian dengan metode pada tanaman ubi menunjukkan bahwa teknik ini cukup mudah bahkan pertumbuhan tanaman tidak jauh berbeda dengan maksimum (Istiqomah et al., 2016).

3. Olah Tanah Maksimum (*Maximum Tillage*)

Teknik ini menggunakan pengelolaan tanah secara intensif sehingga tanah dapat dimaksimalkan potensinya untuk tanaman. Dengan teknik ini tanaman akan mudah menyerap hara yang ada ditanah karena tanah diolah dengan baik, gembur dan strukturnya remah. Kelemahan teknik ini adalah tingginya pembiayaan dan merubah struktur tanah sehingga tanah menjadi berubah struktur dan biologinya.

4. Olah Tanah Strip (Strip Tillage)

Teknik ini menggunakan metode mengolah secukupnya tanah yang akan digunakan untuk menanam, sedangkan area lainnya tidak diolah.

1.3. Pupuk

Pupuk adalah zat yang ditambahkan ke tanah untuk meningkatkan kemampuannya dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Pupuk mengandung nutrisi tanaman penting, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang kurang dalam tanah atau jumlahnya tidak mencukupi untuk pertumbuhan tanaman yang optimal. Pupuk dapat berupa pupuk sintetis yang terbuat dari senyawa kimia, atau pupuk organik yang terbuat dari bahan alami seperti kompos atau kotoran hewan. Jenis dan jumlah pupuk yang digunakan bergantung pada kebutuhan spesifik tanaman yang ditanam dan kondisi tanah. Pupuk organik umumnya lebih murah dan lebih mudah diperoleh dari sumber lokal daripada pupuk kimia. Bahan organik merupakan dasar kesuburan tanah (Solomon Wisdom, 2012). Pupuk mikroba aman bagi lingkungan, tidak terlalu besar, dan hemat biaya, serta berperan penting dalam nutrisi tanaman. Pupuk anorganik, di sisi lain, terkenal karena biayanya yang tinggi dan dampak lingkungan yang merugikan jika tidak dikelola dengan baik (Mahajan et al., 2008). Pupuk ini dapat menyebabkan penurunan hasil panen akibat kerusakan tanah dan ketidakseimbangan nitrogen. Beberapa peneliti telah menyimpulkan bahwa dampak pupuk organik tidak selalu positif, dan beberapa bahan organik dapat menghambat pertumbuhan tanaman, mungkin karena adanya kadar fitotoksin yang tinggi dan rasio C/N yang tinggi, terutama pada bahan organik yang belum matang (Dawar R, 2023)

Pupuk telah dikenal sejak lama dalam sejarah pertanian. Penggunaan pupuk diperkirakan lebih dari 5.000 tahun yang lalu sejak manusia mengenal budidaya tanaman. Kebudayaan tertua dan primitive menunjukkan bukti-bukti bahwa telah digunakannya pemupukan untuk memperbaiki kesuburan tanah seperti di daerah aliran Sungai Nil, Euprat, Indus Cina dan sebagainya (Mansyur et al.,

2021). Penggunaan pupuk dan teknologi budidaya membuat daerah tersebut dikenal sebagai daerah yang subur dan penghasil berbagai hasil pertanian. Pupuk merupakan bahan yang digunakan dalam upaya memenuhi kebutuhan tanaman atau untuk memperbaiki kualitas tanah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan pupuk akan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Albari et al., 2018). Hal ini menunjukkan bahwa pupuk juga berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Dalam arti luas, pupuk juga diartikan sebagai bahan yang dapat memperbaiki kualitas, kesuburan tanah dan sifat-sifat tanah (Hardjowigeno, 1992). UU no 22 tahun 2019 menyebutkan bahwa Pupuk adalah bahan kimia anorganik dan/atau organik, bahan alami dan/atau sintetis, organisme dan/atau yang telah melalui proses rekayasa, untuk menyediakan unsur hara bagi Tanaman, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Di Indonesia pupuk an organik atau kimia merupakan salah satu jenis pupuk yang saat ini banyak digunakan. Ketergantungan terhadap pupuk ini bahkan menyebabkan petani mengalami kesulitan saat pupuk tidak dijumpai di pasar. Kelangkaan pupuk dan tingginya harga pupuk khususnya pupuk bersubsidi bahkan menyebabkan petani menunda kegiatan budidayanya atau mengalihkan pada kegiatan lain. Kelangkaan ini menyebabkan banyak permasalahan bagi petani. Besarnya ketergantungan ini belum dapat diatasi dengan penggunaan pupuk organik meskipun persepsi masyarakat cukup baik terhadap pupuk organik (Managanta, 2016).

Pupuk alami maupun pupuk buatan sama sama memberikan zat yang dibutuhkan tanaman karena jumlah dalam tanah tidak mencukupi. Perbedaan yang tidak dimiliki pupuk buatan adalah :

1. Pupuk alami atau pupuk organik dapat berfungsi memperbaiki produktifitas tanah. Pupuk alami merupakan hasil dekomposisi mikroorganisme, sehingga tidak merusak sifat fisika dan kimia tanah.
2. Pupuk alami membantu menjaga kelembaban tanah. Sehingga memudahkan aktifitas mikroorganisme tanah.

3. Pupuk alami lebih mudah dibuat dengan memanfaatkan sisa-sisa panen, sampah organik maupun limbah industri.
4. Pupuk alami mengurangi pencemaran lingkungan karena berbahan alami.
5. Pupuk alami yang berasal dari bahan organik mempermudah hara yang ada di tanah membentuk partikel ion yang mudah diserap tanaman (Widowati, 2022).

1.4. Pemupukan

Pemupukan adalah proses atau kegiatan memberikan pupuk kepada tanaman. Tujuan pemupukan adalah memberikan unsur hara yang dibutuhkan tanaman maupun untuk memperbaiki kondisi tanah sebagai media pertumbuhan tanaman.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa tanaman memerlukan sejumlah unsur-unsur. Unsur-unsur yang paling banyak dibutuhkan adalah Oksigen, Carbon, Hidrogen, Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Sulfur (S), Klor (Cl), Ferum (Fe), Mangan (Mn), Kupru(Cu), seng (Zn), Boron (B) dan Molibdenum (Mo) (Lingga & Marsono, 2008).

Beberapa peristiwa menyebabkan tanah mengandung sedikit unsur yang dibutuhkan tanaman atau kehilangan unsur tersebut. Hilangnya unsur dalam tanah disebabkan diserap tanaman terus menerus atau sebab lain menyebabkan tanaman kekurangan unsur hara. Kekurangan unsur yang dibutuhkan tanaman, menyebabkan tanaman tidak dapat tumbuh dengan optimal. Hasil tanaman juga tidak sesuai dengan yang diharapkan. Pemberian pupuk diharapkan dapat memenuhi kebutuhan tanaman akan unsur-unsur hara yang tidak ada dalam tanah.

Setiap tanaman memiliki kebutuhan unsur tersendiri. Kebutuhan unsur hara tanaman tergantung pada jenis tanaman dan masa tumbuh tanaman. Saat tanaman pada fase vegetative maka kebutuhannya berbeda dengan saat vase generatif. Beberapa permasalahan yang sering terjadi adalah tanaman mengalami kekurangan unsur N, Fospor (P) dan Kalium (K). unsur-unsur adalah

unsur yang paling sering sering defisiensi di dalam tanah (Hakim, 1986). Kekurangan unsur makro ini akan menunjukkan gejala yang dapat diamati sehingga pemupukan dapat diberikan. Gejala yang sering nampak pada tanaman dengan kekurangan unsur makro diantaranya adalah:

1. Terhambatnya pertumbuhan tanaman, tanaman menjadi kerdil.
2. Buah yang dihasilkan kecil-kecil
3. Kerontokan pada daun, bunga dan buah
4. Perubahan pada warna daun.
5. Perakaran lemah

Apabila nampak gejala tersebut maka perlu diwaspadai adanya kekurangan unsur hara. Pemberian pupuk juga perlu memperhatikan faktor-faktor antara lain :

1. Jenis tanaman
2. Kebutuhan unsur hara tanaman
3. Jenis pupuk yang digunakan
4. Kandungan unsur hara pupuk
5. Konsentrasi pupuk
6. Kondisi tanah
7. Teknik aplikasi

Pemupukan yang berlebihan dapat berdampak negatif pada lingkungan, jadi penting untuk menggunakan pupuk secara bijaksana dan sesuai dengan pedoman yang direkomendasikan. Pengelolaan pupuk yang baik diperlukan untuk menjaga lingkungan yang lebih baik dan terlindungi; Oleh karena itu, rencana pemupukan yang seimbang termasuk penggunaan pupuk kimia, organik, atau biofertilizer harus ditetapkan dan dievaluasi . Secara keseluruhan, pendekatan modern terhadap aplikasi dan pengelolaan pupuk ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi limbah, dan meningkatkan hasil panen sambil meminimalkan dampak lingkungan dari penggunaan pupuk. Pendekatan konvensional terhadap aplikasi pupuk biasanya melibatkan langkah-langkah berikut: • Pengujian tanah: Sampel tanah diambil dan dianalisis untuk menentukan kadar

nutrisi, pH, dan karakteristik tanah lainnya. Berdasarkan hasilnya, jenis dan jumlah pupuk yang tepat dapat ditentukan. • Pemilihan pupuk: Jenis dan jumlah pupuk yang akan digunakan dipilih berdasarkan hasil uji tanah dan kebutuhan tanaman tertentu. • Waktu: Waktu aplikasi pupuk sangat penting, dan biasanya diterapkan pada waktu-waktu tertentu selama musim tanam. Contohnya, pupuk berbasis nitrogen sering kali diaplikasikan saat penanaman dan kemudian selama musim tanam. • Metode aplikasi: Ada beberapa metode pemberian pupuk, termasuk penyebaran, aplikasi pita, dan aplikasi daun. Metode yang digunakan akan bergantung pada jenis pupuk, tanaman, dan kondisi tanah. • Takaran: Jumlah pupuk yang akan diberikan dihitung berdasarkan hasil uji tanah, kebutuhan tanaman, dan metode aplikasi. Penting untuk mengikuti takaran yang disarankan guna menghindari pemupukan berlebihan dan potensi kerusakan pada tanaman dan lingkungan. Pendekatan ini banyak digunakan dalam pertanian dan dianggap sebagai metode standar untuk pemupukan tanaman. Namun, penting untuk dicatat bahwa kemajuan dalam teknologi pupuk dan pemahaman baru tentang dinamika nutrisi tanah mengarah pada pendekatan baru untuk pengelolaan pupuk yang bertujuan menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan. Pendekatan modern untuk aplikasi dan manajemen pupuk Pendekatan modern untuk aplikasi dan manajemen pupuk bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi limbah, dan meningkatkan hasil panen sambil meminimalkan dampak lingkungan dari penggunaan pupuk. Pendekatan ini meliputi Pertanian Presisi, CRF, Fertigasi, dan INM. Pupuk organik dan mikroba hemat biaya dan ramah lingkungan, sementara pertanian presisi berfokus pada manajemen tanaman untuk wilayah kecil. CRF melepaskan nutrisi dari waktu ke waktu, mengurangi frekuensi aplikasi dan risiko pemupukan berlebihan. Fertigasi memungkinkan pengiriman nutrisi yang tepat melalui sistem irigasi. Praktik Manajemen Nutrisi Terpadu (INM) mengoptimalkan penggunaan pupuk dan amandemen tanah untuk produksi tanaman yang berkelanjutan dan efisien, menyeimbangkan input, menjaga

kesuburan tanah, memaksimalkan hasil, profitabilitas, dan polusi. (Dawar R, 2023)

Setiap teknik aplikasi pupuk memiliki kelebihan atau kekurangan, sehingga perlu memperhatikan hal-hal yang dapat mempengaruhi efektifitasnya. Keefektifan teknik pemupukan dipengaruhi oleh cuaca, jenis pupuk dan kondisi tanah. Pemilihan jenis pupuk, teknik maupun jumlah yang diberikan pada dasarnya adalah upaya memberikan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Namun perlu diingat bahwa pemupukan hendaknya tidak hanya sekedar memberikan nutrisi tanaman. Kelangsungan mikroorganisme dan kesuburan tanah jangka panjang perlu diperhatikan agar kesuburan tanah dapat dinikmati jangka panjang. Kesuburan tanah yang terjaga tentu akan memberikan produksi optimal tanaman sesuai dengan harapan petani.

Daftar Pustaka

- Ahmad, S. R., & Susetyo, I. (2014). *The Effect of Mixing Process and Fertilizer Application on the Nitrogen Element Loss*. 33(1), 29–34.
- Albari, J., Supijatno., & Sudradjat. (2018). Peranan Pupuk Nitrogen dan Fosfor pada Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Belum Menghasilkan Umur Tiga Tahun. *Agroborti Bulletin*, 6 no 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.29244/agrob.v6i1.16822>
- Anwar, Syaiful, Fiantis, D., Nugroho, Y., Kang, B. T., Winaja, P. D., Anwar, S., Tjahyandari, D., Firnia, D., Pulungan, Y. H., Saiddy, A. R., Pratama, I. M. R., Yulianti, I., Masturi, M., & Utomo, D. H. (2016). Jati Diri Tanah. *Jurnal Agroekoteknologi*, 10(1), iv, 108.
- Asnur, P., & Kurniasih, R. (2018). *Teknologi Pupuk dan Pemupukan*. http://ratih_kurniasih.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/61968/Modul+Praktikum+Teknologi+Pupuk+dan+Pemupukan.pdf
- Rakesh dawar. 2023. Modern Concepts of Fertilizer Application Methods and it's Management to Increase Nutrient use Efficiency Chapter -8. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/374331767>
- Hakim, N. dkk. (1986). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Badan Penerbit Universitas Lampung.
- Hardjowigeno, S. (1992). *Ilmu Tanah* (Revisi Cet). PT Mediatama Sarana Perkasa.
- Hardjowigeno, S. (1993). *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akademika Pressindo.
- Istiqomah, N., Fathur Rahman, dan, & Mahdiannoor. (2016). METODE PENGOLAHAN TANAH TERHADAP PERTUMBUHAN UBI ALABIO (*Dioscorea alata* L.). *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 41, 233–236.
- Itera. (2018). NILAI pH TANAH. *Teori Kesuburan Tanah*, 1(1), 6–19.

- Lingga, P., & Marsono. (2008). *Petunjuk Penggunaan Pupuk (XXVI)*. Penebar Swadaya.
- Maghfoer, M. D. (2018). *Teknik Pemupukan Terung Ramah Lingkungan*. books.google.com.
https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=kMEDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=pemupukan+pengelolaan+tanah&ots=3d6lRYcR_P&sig=eZO1R3QVemaC7pT-4udVJyvPeSs
- Maliga, I., Hasifah, H., & Lestari, A. R. (2021). Penyuluhan Pengolahan Sampah Rumah Tangga (Pembuatan Kompos Dan Biopori) Dari Sisa Limbah Organik Dapur Sebagai Pupuk Tanaman Apotek Hidup Di Desa Baru Tahan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Radisi Vol, 1*(3), 100–106.
- Managanta, A. A. (2016). Motivasi Dan Persepsi Petani Padi Terhadap Intensi Penggunaan Pupuk Organik Di Desa Leuwibatu Kecamatan Rumpin Kabupaten Bogor. *Jurnal AgroPet, 13*(2), 1–20.
- Mansyur, N. I., Pudjiwati, E. H., & Murtilaksono, A. (2021). *Pupuk dan pemupukan*. books.google.com.
<https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=eiwyEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=pupuk+pemupukan&ots=TCwctd9os&sig=6J8PyqpANtvTgg8We9bcHXe6D5s>
- Okalia, D., Nopsagiarti, T., & Marlina, G. (2021). Pengaruh Biochar dan Pupuk Organik Cair dari Air Cucian Beras Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Selada. *Jurnal Budidaya Pertanian, 17*(1), 76–82. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2021.17.1.76>
- Pratiwi, Y. I., Nisak, F., & Gunawan, B. (2019). *Peningkatan Manfaat Pupuk Organik Cair Urine Sapi: Teknologi Tepat Guna Dalam Upaya Meningkatkan Produk Pertanian*. www.penerbituwais.com
- Purba, T., Ningsih, H., & Abdus, P. (2021). *Tanah dan Nutrisi Tanaman*.

- Purba, T., Situmeang, R., & Rohman, H. F. (2021). Pemupukan dan Teknologi Pemupukan. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Rachman, A., Dariah, A., & Santoso, J. (2012). *Pupuk Organik dan Pupuk Hayat*. 41–57.
- Sherly Meiwa. (2020). Pengantar Geologi: Proses Pembentukan Batuan. *Departemen of Civil Engineering Universitas Komputer Indonesia*, 1–52.
- Sipayung, J. Y., Arthagama, I. D. M., & Supadma, A. A. N. (2020). Evaluasi Status Kesuburan Tanah di DAS Yeh Ho Kabupaten Tabanan Berbasis Sistem Informasi Geografis Untuk Menentukan Arah Pengelolaan Lahan. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*, 9(4), 268–278.
- Widowati, L. R. dkk. (2022). Pupuk Organik : Dibuatnya Mudah, Hasil Tanaman Melimpah. In *Pusat Perpustakaan dan Penyebaran Teknologi Pertanian*.

PROFIL PENULIS



Penulis lahir di Malang 1 Pebruari 1975 sebagai anak ke empat dari lima bersaudara dari orang tua Alm Paiman dan Sijamah. Penulis menempuh Pendidikan formal mulai SD Purwantoro II Malang, SMP N 5 Malang, SMA Islam Malang dan Universitas Muhammadiyah Malang jurusan Sosial Ekonomi/Agribisnis Fakultas Pertanian. Setelah menjalani berbagai kegiatan akhirnya penulis menyelesaikan kuliah progr.am Pasca Sarjananya di Fakultas Pertanian prodi Agribisnis Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur. Saat ini penulis berdomisili di Tuban dan merupakan dosen pengajar di Prodi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Sunan Bonang Tuban untuk mengampu mata kuliah Komunikasi dan Penyuluhan Pertanian, Agribisnis, ilmu usaha tani dan Ekonomi Pertanian. Selain menulis di jurnal, penulis juga telah menerbitkan buku Pengembangan Agribisnis Budidaya Tanaman Jambu Biji merah (2020), Komunikasi Pertanian (2022), SOP Budidaya Melon (2023) serta buku SOP Budidaya Tanaman Jeruk Tejakula, Bawang Merah dan Kelengkeng serta Jambu Biji Merah bekerjasama dengan Dinas Pertanian Kab Tuban sejak tahun 2019.



KONSEP DASAR PENGELOLAAN TANAH

Maimuna Lahabi
Universitas Pattimura

2.1. Konsep Dasar Pengelolaan Tanah

Tanah merupakan salah satu sumber daya alam yang paling berharga bagi kehidupan manusia di muka bumi. Tanah yang tidak subur, maka pertanian tidak akan berkembang dan tidak dapat memberikan sumber makanan berupa hara tanaman yang cukup untuk populasi dunia yang terus berkembang. Dengan demikian, penting bagi petani dan pemilik lahan untuk mengimplementasikan sistem pengelolaan tanah yang baik, efektif dan efisien demi menjaga, melestarikan dan meningkatkan kesuburan tanah dan berdampak pada produksi tanaman yang dibudidayakan.

Dalam tulisan ini, kita akan diulas berbagai aspek sistem pengelolaan tanah dan langkah-langkah yang dapat diambil untuk menerapkannya. Sistem pengelolaan tanah diantaranya teknik-teknik konservasi tanah hingga praktik pertanian organik, agar kita dapat mengoptimalkan potensi tanah/lahan bagi pertanian yang berkelanjutan.

2.2. Sistem Pengelolaan Tanah: Mengapa ini Penting?

Sistem pengelolaan tanah merupakan serangkaian kegiatan dan teknik pengelolaan yang ditujukan untuk dapat mempertahankan dan dapat meningkatkan kesuburan tanah baik secara fisik, kimia dan biologi tanah. Hal ini penting karena:

- Meningkatkan produktivitas pertanian: Dengan menerapkan praktik yang tepat, sistem pengelolaan tanah dapat meningkatkan produktivitas lahan pertanian, sehingga hasil panen yang dicapai oleh petani akan yang lebih besar dan lebih baik lagi.
- Menjaga kualitas tanah: Dengan merawat tanah secara efektif, sistem pengelolaan tanah dapat mencegah erosi, degradasi, dan degradasi kesuburan tanah.
- Meningkatkan daya dukung lingkungan secara berkelanjutan: Menggunakan teknik pengelolaan tanah/lahan yang berkelanjutan akan membantu meminimalkan pengaruh pertanian terhadap lingkungan sekitar, misalnya dapat mengurangi polusi air dan terjadinya degradasi lahan.

Agar dapat memahami dan dapat menerapkan sistem pengelolaan tanah yang tepat dan efisien, maka kita dapat menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan dan berpotensi menghasilkan bahan makanan yang lebih banyak untuk masa mendatang.

2.3. Praktik Pengelolaan Tanah yang Efektif

Terdapat beberapa praktik pengelolaan tanah yang efektif dan efisien untuk dapat diterapkan dalam mengelola dan meningkatkan kesuburan tanah yaitu sebagai berikut:

1. **Rotasi Tanaman;** Rotasi tanaman merupakan praktik mengubah jenis tanaman yang dibudidayakan dalam satu tanah/lahan dari waktu ke waktu. Hal Ini dapat membantu mengurangi risiko penyakit dan hama yang timbul pada areal pertanian serta dapat memperbaiki kualitas tanah secara berkelanjutan dengan mengubah kebutuhan nutrisi atau unsur hara tanaman.

2. **Penanaman Tanaman Penutup Tanah;** Penanaman tanaman penutup tanah adalah praktik menanam tanaman tertentu, seperti tanaman legum yang dapat memperbaiki kesuburan tanah pertanian dengan menambat nitrogen dari udara ke dalam tanah dan tanaman legume juga menutupi tanah dalam mencegah terjadinya erosi.
3. **Pengomposan;** Pengomposan adalah proses penguraian bahan organik menjadi pupuk organik yang kaya akan nutrisi. Pupuk kompos tersebut dapat dipakai untuk memperbaiki dan menjaga kualitas tanah baik secara kimia, fisik dan biologi dan memasok nutrisi atau unsur hara bagi tanaman.
4. **Pengendalian Erosi;** Erosi adalah proses hilangnya lapisan atas tanah akibat air, angin, atau aktivitas manusia. Untuk mencegah terjadinya erosi pada lereng yang terjal, teknik perlindungan tanah atau lahan yaitu melalui pembuatan terassering, tumbuhan atau tanaman penahan angin, dan penanaman jalur air dapat digunakan.
5. **Pemberian Pupuk yang Tepat;** Memahami nutrisi atau unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dan memberikan pupuk dengan dosis atau takaran yang tepat dan dapat meningkatkan produktivitas tanaman yang dibudidayakan serta mencegah kelebihan atau kekurangan nutrisi dalam tanah.

Terdapat banyak praktik pengelolaan tanah lain yang dapat diterapkan, tergantung pada kondisi lokal setempat, jenis pertanian, dan tujuan yang diinginkan. Kombinasi beberapa praktik ini dapat membantu menciptakan sistem pengelolaan tanah yang efektif dan berkelanjutan.

Pengelolaan tanah merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mempersiapkan tanah agar sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Pengelolaan tanah meliputi: (1) Pemeliharaan kandungan bahan organik tanah di dalam tanah, (2) Pembajakan atau pengolahan tanah, (3) Penstabilan tanah, (4) Pemberian pupuk organik maupun pupuk anorganik untuk mempertahankan kesuburan tanah, (5)

Konservasi tanah dan air untuk mengendalikan laju erosi juga merupakan usaha manusia dalam memanfaatkan sebidang tanah untuk bercocok tanam dan pemenuhan kebutuhan hidupnya. Kegiatan yang dilakukan untuk pengelolaan tanah dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Kegiatan langsung dapat berupa perencanaan pemanfaat tanah dan kegiatan tidak langsungnya dapat berupa penyediaan informasi yang berhubungan dengan tanah (Stubbs and Jeffry, 1996). Pengelolaan tanah berfungsi untuk menjamin kepemilikan tanah, nilai tanah, penggunaan tanah, dan pengembangan tanah untuk kegiatan di masa mendatang. Pengelolaan tanah mencakup perencanaan dan pengendalian terhadap penggunaan tanah dan sumberdaya alam (Enemark, 2007). Pengelolaan sumberdaya tanah merupakan upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan konservasi sumberdaya tanah, pendayagunaan sumberdaya tanah, dan pengendalian daya rusak tanah (2029, no date). Pengelolaan tanah bertujuan untuk dapat mengatur pemanfaatan sumberdaya tanah secara optimal, mendapatkan hasil tanaman yang maksimal, dan mempertahankan kelestarian sumberdaya tanah (Adhi, Ratmini and Swastika, 1997). Lima aspek yang harus ada dalam pengelolaan tanah yaitu pelindung ekologis, dapat diterima secara sosial, ekonomi produktif, ekonomis, dan mengurangi risiko di masa mendatang (Hurni, 1997). Pengelolaan tanah meliputi pemeliharaan kandungan bahan organik tanah tanah, praktek pembajakan atau pengolahan tanah, dan penstabilan tanah (Rahim, 2006). Kesuburan tanah dapat dipertahankan dengan pemberian pupuk baik organik maupun anorganik. Pengendalian laju erosi berhubungan langsung dengan praktek konservasi tanah dan air.

Praktik konservasi merupakan salah satu tindakan yang bertujuan untuk mengendalikan erosi. Pengendalian erosi dapat dilakukan dengan tindakan agronomis dan mekanik. Praktik pengolahan tanah merupakan tujuan untuk pengendalian erosi tersebut dan tidak semua dapat mendukung pengendalian tanah

longsor. Salah satu cara pengendalian erosi dapat dilakukan dengan pembuatan teras. Pembuatan teras bertujuan untuk menghambat aliran permukaan yang berasal dari air hujan baik curah hujan dengan intensitas rendah, sedang maupun tinggi yang bertujuan untuk mengurangi kecepatan aliran air hujan tersebut, sehingga dapat memperkecil tenaga angkut air terhadap tanah. (Suryatmojo and Soedjoko, 2008) menjelaskan untuk kawasan rawan tanah longsor pembuatan teras bangku harus dihindari. Menghambat limpasan aliran permukaan (run off) tersebut akan memperbesar air yang masuk ke dalam tanah (infiltrasi) dan mempercepat penjenjutan tanah. Penjenjutan tanah yang berlangsung dalam waktu yang lama akan memperbesar beban lereng. Beban lereng yang telah melampaui atau melebihi daya dukungnya akan dapat menyebabkan tanah menjadi longsor. Curah Hujan yang tinggi dapat meningkatkan kandungan kadar air di dalam tanah. Peningkatan kandungan kadar air tanah dapat mempercepat tanah menjadi jenuh sehingga dapat menyebabkan kondisi fisika-mekanik material tubuh lereng berubah dan memperlemah sifat fisika-mekanik tanah yang menurunkan faktor keamanan lereng. Penurunan faktor keamanan lereng dapat memicu tanah longsor.

Salah satu tindakan untuk mencegah terjadinya tanah longsor yaitu melalui Tindakan agronomis. Tindakan agronomis yaitu meliputi: (1) rotasi tanaman, (2) tanaman penutup, (3) pertanaman jalur, (4) pertanaman ganda, (5) pertanaman dengan kerapatan tinggi, (6) pemberian mulsa, (7) penghutanan kembali, dan (8) wanatani. Pertanaman dengan tingkat kerapatan yang sangat tinggi dapat menambah beban mekanik pada suatu lereng, maka untuk kawasan rawan tanah longsor dalam dilakukan penghijauan atau reboisasi dengan jarak tanam tidak boleh terlalu rapat dan pohonnya tidak terlalu besar-besar (Suryatmojo and Soedjoko, 2008). Tindakan mekanik pada tanah meliputi (1) pengolahan tanah minimum, (2) pengolahan tanah menurut kontur, (3) galangan dan (4) saluran menurut kontur, (5) pembuatan teras, dan (6) atau pembuatan

jalurjalur air (Hakim, Nyakpa and Lubis, 1986). Salah satu tindakan pengolahan lahan yang dapat mengurangi daya dukung lereng seperti pertanaman dengan kerapatan tinggi, penerasan, pembuatan jalur aliran air.

Pengelolaan tanah non-pertanian meliputi pengurangan daya dukung alam atau buatan manusia, pemotongan lereng untuk saluran air, dan penjenjuran air (Suryatmojo and Soedjoko, 2008). Pengelolaan tanah seperti pemotongan lereng untuk kontruksi jalan, rumah, pertanian dan penambangan batu dan pasir dapat mempercepat proses terjadinya tanah longsor (Sartohadi, 2008). Tanah yang rawan longsor seharusnya merupakan kawasan lindung, akan tetapi terkadang sebagian tanah digunakan oleh masyarakat untuk kegiatan pertanian atau bercocok tanam, penggalian bahan tambang, atau kegiatan budidaya lainnya. Kegiatan yang cocok dilakukan yaitu tindakan reboisasi secara bertahap dan perlu dilakukan perubahan pola pertanian. Pola pertanian yang dimaksud adalah pertanian semusim menjadi pertanian tanaman tahunan yang memiliki fungsi lindung bagi tanah dan lingkungan sekitar. Pembuatan teras sering, sistem guludan, dan pengembangan tanaman penyubur tanah dengan mengutamakan pemberian pupuk organik (pangkasan daun gamal, krinyu, kandang, dll) perlu dilakukan untuk upaya peningkatan pengawetan tanah dan air (2029, no date).

Pengolahan tanah didefinisikan sebagai suatu kegiatan memanipulasi secara mekanik terhadap tanah agar dapat menciptakan kondisi tanah yang baik dan subur serta cocok bagi pertumbuhan tanaman. Secara garis besar sistem pengolahan tanah dapat dibagi menjadi dua, pengolahan tanah konvensional yaitu olah tanah intensif (OTI) dan pengolahan tanah konservasi, olah tanah konservasi (OTK) ada 2 yaitu: olah tanah minimum (OTM), tanpa olah tanah (TOT), dan olah tanah intensif (OTI). Sistem pengolahan tanah yang berbeda akan mempengaruhi kondisi tanah baik terhadap sifat fisik, kimia maupun biologi tanah.

Menurut Kartasapoetra dan Sutedjo (2010), peningkatan kesuburan tanah dapat dilakukan dengan penambahan pupuk sesuai kebutuhan tanaman. Pemberian pupuk perlu diperhatikan karena pertanaman dan panen yang terus-menerus tanpa diimbangi dengan pemberian pupuk akan menguras unsur-unsur hara yang tersedia dalam tanah. Pemberian pupuk yang sesuai kebutuhan akan menjaga kesuburan tanah walaupun digunakan sebagai lahan pertanian. Niswati, dkk (1994) menyatakan bahwa kegiatan olah tanah dan pemupukan N yang berbeda akan mempengaruhi ketersediaan hara N. Pemupukan nitrogen yang terus-menerus dilakukan di waktu musim tanam sebelumnya dengan sistem pengolahan tanah konservasi memiliki kandungan nitrogen tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengolahan tanah intensif.

Menurut Rohmat (2009), kegiatan olah tanah akan mempengaruhi permeabilitas dan ruang pori tanah, jika tanah diolah secara intensif akan terjadi pemadatan tanah terlebih lagi jika dilakukan dengan menggunakan alat-alat berat. Pemadatan tanah yang terjadi menyebabkan pertumbuhan akar terhambat dan menghambat pergerakan air di dalam tanah, sehingga kemampuan tanah untuk meloloskan atau melewatkan air rendah. Permeabilitas tanah juga adalah suatu kesatuan yang meliputi infiltrasi tanah dan bermanfaat juga sebagai permudahan dalam pengolahan tanah di lahan pertanian. Tanah dengan permeabilitas sangat tinggi dapat menaikkan laju air yang masuk ke dalam tanah (infiltrasi) sehingga dapat menurunkan laju air larian.

2.4. Stildi Kasuls Pengelolaan Tanah

A. Meningkatkan Bahan Organik Tanah di Maluku

Bahan organik tanah di Maluku dapat ditingkatkan melalui penambahan bahan organik tanah baru setiap tahun di lahan pertanian. Hal ini dapat pula meningkatkan dan meningkatkan kualitas kesuburan tanah secara fisik, kimia dan biologi tanah yang ada di Maluku, karena penambahan bahan organik tanah tersebut dapat

memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas memegang air dan hara, melindungi tanah dari erosi dan pemadatan, meningkatkan infiltrasi tanah dan mendukung komunitas yang sehat bagi organisme tanah. Praktek-praktek pertanian di Maluku yang dapat meningkatkan bahan organik tanah diantaranya termasuk: meninggalkan residu tanaman di lapangan, mengembalikan atau membenamkan sisa-sisa panen di lahan pertanian (jerami padi dan abu bekas pembakaran sekam dan jerami padi).

Praktek pertanian ini biasanya dilakukan di beberapa wilayah seperti di Daerah Waimital dan Waihatu Kecamatan Kairatu Kabupaten Maluku Tengah dan beberapa daerah lainnya di Maluku. Biasanya sisa-sisa tanaman tersebut dibenamkan di dalam tanah dan abu bekas pembakaran jerami padi atau sekam di sebar untuk menetralkan pH tanah di lahan pertanian tersebut sebelum dipakai untuk musim tanam berikutnya. Untuk beberapa daerah seperti Desa Liang dan sekitarnya, praktek pertanian terutama untuk budidaya tanamannya, masyarakat di sana lebih memilih untuk rotasi tanaman yang mengandung residu tinggi seperti menanam kacang tanah, yang akarnya dapat menambat unsur nitrogen dari udara melalui bintil akar tanaman tersebut. Sisa-sisa panen dari kacang tanah dapat dijadikan kompos dengan dicampur dengan daun-daun-daun gamal (*Gliricidia sepium*) dan krinyu/sungga-sungga (*Chromolaena odorata*). Kadang-kadang bahan-bahan tersebut dicampur juga dengan ela sagu yang telah membusuk atau telah mengalami dekomposisi 3 sampai dengan 6 bulan. Setelah semua bahan tersebut dicacah, dicampur untuk dijadikan kompos barulah bahan tersebut di sebar ke permukaan tanah atau langsung dibenamkan ke dalam tanah tanpa melalui pengomposan sesuai dengan kebutuhan hara tanaman apa yang mau ditanam. Tanaman semusim atau tanaman tahunan, masyarakat petani Liang telah pandai membuat pupuk sendiri terutama pupuk kompos. Pupuk kompos yang petani buat di daerah tersebut adalah pupuk organik yang berasal dari lingkungan petani itu sendiri sehingga selain aman untuk dikonsumsi, aman pula untuk tanaman dan lingkungan

terutama untuk keberlanjutan kualitas tanah (Kesuburan tanah) di masa-masa yang akan datang. Sisa-sisa hasil panen atau limbah pertanian kalau hanya dibenamkan saja ke dalam tanah akan memakan waktu yang lama, sehingga banyak petani di daerah liang dan sekitarnya mereka telah banyak mempraktekan pembuatan pupuk sendiri terutama membuat pupuk kompos. Hal ini dikarenakan masyarakat petani di daerah Liang dan sekitarnya butuh waktu cepat untuk musim tanam berikutnya sehingga pada umumnya mereka lebih memilih sisa-sisa tanaman atau limbah pertanian tersebut dikomposkan terlebih dahulu baru di campur dengan tanah. Mengapa mereka memilih untuk membuat pupuk sendiri ??? Selain bahan-bahan untuk membuat pupuk kompos, mudah didapat atau diperoleh di sekitar lahan pertanian mereka, pupuk yang beredar di pasaran sangat mahal, begitupun yang di jual di took-toko pertanian. Selain membuat pupuk sendiri, mereka juga telah menggunakan unsur hara optimal dan praktek-praktek pengelolaan air untuk pertumbuhan tanaman yang sehat dengan akar dan residu dalam jumlah besar, menanam tanaman penutup tanah, menanam tanaman pagar sebagai pohon pelindung lahan pertanian mereka. Selain berfungsi sebagai tanaman pagar seperti tanaman stek (gamal), tanaman ini juga mengandung unsur hara N, P dan K yang sangat tinggi, menerapkan pupuk kandang yang dicampur dengan kompos, menggunakan sistem pengolahan tanah minimal atau tanpa olah tanah dan pemulsaan.

B. Menghindari Pengolahan Tanah Berlebihan di Maluku

Salah satu praktek pengelolaan kesuburan tanah yang disorot akhir-akhir ini di Maluku adalah pengolahan tanah. Pengolahan tanah berkorelasi negatif dengan kandungan karbon tanah. Makin intensif tanah atau lahan pertanian tersebut diolah, maka kandungan bahan organik tanah menjadi semakin kecil. Hal ini akan menyebabkan meningkatnya oksidasi bahan organik oleh biota tanah. Pengolahan tanah yang terus-menerus akan mempercepat oksidasi bahan organik tanah, sehingga akan mengurangi kandungan bahan organik tanah, kestabilan agregat, dan laju infiltrasi.

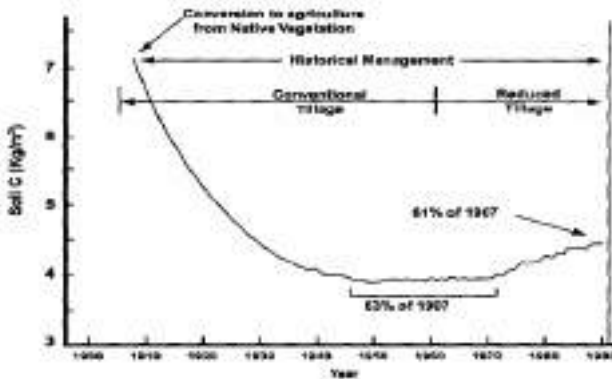
Mengurangi pengolahan tanah berdampak meminimalkan hilangnya bahan organik tanah dan melindungi permukaan tanah dengan sisa-sisa tanaman. Praktek-praktek pengolahan tanah yang sebagian besar telah dilakukan oleh Masyarakat Petani di Maluku yaitu dengan melonggarkan permukaan tanah, mempersiapkan persemaian, membuat guludan-guludan kecil yang kita sebut juga dengan kata “kuming” (gundukan tanah setelah di pacul) dan pengendalian gulma dan hama. Tapi pengolahan tanah juga bisa merusak struktur tanah, mempercepat dekomposisi dan hilangnya bahan organik, meningkatkan ancaman erosi, menghancurkan habitat organisme yang bermanfaat, dan menyebabkan pemadatan. Pengendalian hama seperti babi hutan, sebagian masyarakat Maluku telah membuat pagar yang disusun dari batu setinggi orang dewasa. Hal ini juga telah dilakukan di disebaian wilayah yang ada di Maluku salah satunya yang ada di Desa Liang dan sekitarnya. Ada juga yang membuat pagar dari jaring yang dianyam dari tali, dari pelepah sagu atau dari daun sagu untuk menghindari kerusakan yang ditimbulkan oleh Babi hutan atau semacamnya.

Robert (2001) mengemukakan bahwa mekanisme pengurangan kandungan bahan organik tanah akibat pengolahan tanah dapat berupa tersingkapnya bahan organik menjadi fraksi bebas, yang secara alami mudah menjadi mangsa mikroorganisme tanah. Fraksi lain yang berupa fraksi terikat pada agregat tanah baik agregat makro maupun mikro, tidak mudah menjadi mangsa mikroorganisme tanah karena terlindung dalam agregat. Pengolahan tanah memungkinkan agregat tanah pecah, sehingga bahan organik yang tadinya terlindung dalam ikatan agregat menjadi terbuka dan dapat dimangsa oleh mikroorganisme.

Sistem tanpa olah tanah yang telah banyak dilakukan oleh masyarakat petani di Maluku terbukti dapat meningkatkan kandungan karbon tanah. Laju peningkatan kandungan karbon tanah bervariasi dari tanah satu ke tanah lain tergantung pengelolaan lahan pertanian yang diterapkan, dan juga tergantung pada iklim setempat. Iklim

tropis seperti di Maluku memungkinkan laju penurunan karbon tanah lebih cepat dibandingkan dengan iklim temperat. Tanah dengan kandungan bahan organik rendah dilaporkan dapat mengikat karbon sebanyak 0,1 ton/ha/tahun (Miller *et al.*, 2004). Perubahan praktek manajemen pertanian dengan mengubah pengolahan tanah konvensional menjadi pengolahan tanah konservasi dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah. Pengamatan perubahan kandungan C tanah daerah corn belt membuktikan hal tersebut, seperti diilustrasikan pada Gambar 2.

Simulated total soil carbon changes (0 to 20 cm depth) from 1907 to 1990 for the central U.S. corn belt (from Smith, 1999)



Gambar 2. Perubahan praktek pengolahan tanah dapat mempengaruhi kandungan bahan organik tanah (Robert, 2001)

Tingkat perolehan karbon tanah setelah mengadopsi metode perbaikan pengelolaan tanah sangat bervariasi tergantung dari jenis tanah. Hasil dari 27 penelitian di Amerika mendapatkan bahwa peningkatan karbon dalam tanah pada tanpa olah dibanding cara konvensional setelah 5 – 20 tahun berkisar dari –4 sampai + 10 juta gram per hektar (rata-rata + 3 x 10⁶ g/ha) (Paustian et al, 1997b).

C. Pengelolaan residu atau Biomasa Tanaman di Maluku

Pengelolaan residu atau biomasa tanaman sangat penting di Maluku terutama di wilayah kepulauan karena hal ini sangat berkaitan erat dengan peningkatan kualitas kesuburan tanah. Salah satu indikator kesuburan tanah dalam hubungannya dengan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim di wilayah Maluku adalah Bahan organik tanah. Bahan organik tanah berkorelasi positif dengan biomasa tanah. Begitupun dengan intensitas pertanaman di lahan pertanian. Intensitas pertanaman berkolerasi positif dengan kandungan karbon tanah, karena masukan karbon tanah sebagian besar berasal dari biomasa tanaman. Makin besar biomasa dihasilkan dalam suatu lahan pertanian maka makin besar pula masukan karbon tanah. Penelitian di Konza Prairie menunjukkan bahwa rumput lokal *tallgrass* menghasilkan biomasa yang sebagian besar atau 60 – 80 % berupa biomasa bawah permukaan tanah. Biomasa bawah permukaan ini memberikan sumbangan yang lebih besar daripada biomasa atas permukaan tanah, menghasilkan kandungan bahan organik tanah setara dengan kandungan bahan organik tanah pada hutan basah tropis (Rice, 2002)

Pengelolaan residu tanaman dengan mengembalikan semua residu ke dalam tanah telah menaikkan kandungan bahan organik tanah. Residu yang dikembalikan ke dalam tanah tersimpan di dalam agregat berukuran lebih dari 250 μm (Rice 2002), membuktikan bahwa perlindungan fisik agregat tanah menjadi bagian yang sangat penting dalam sequestrasi karbon.

D. Mengelola Hara dan Hama Secara Efisien Studi kasus di Maluku

Mengelola hara dan hama secara efisien juga sangat penting di Maluku. Sebuah fungsi penting tanah yaitu sebagai buffer racun kimia, tetapi kemampuan tanah untuk mendetoksifikasi terbatas. Pestisida dan pupuk kimia memiliki manfaat yang berharga, tetapi juga dapat membahayakan organisme non target dan mencemari air dan udara

jika salah penerapan. Hal ini dapat menyebabkan tanah menajadi terdegradasi dan unsur hara dari sumber organik juga dapat mencemari jika penggunaan tidak tepat atau diterapkan secara berlebihan. Manajemen efisien hama dan hara termasuk pengujian tanah dan memonitoring hama di lapangan menjadi sangat penting. Kalau kita hanya menerapkan bahan-bahan kimia yang diperlukan, pada saat dan tempat yang tepat; dan mengambil manfaat dari pendekatan non-kimia dalam mengatasi atau mengendalikan hama dan manajemen hara seperti rotasi tanaman, tanaman penutup, dan pemupukan.

Pemupukan mempengaruhi kandungan karbon tanah, karena pemupukan meningkatkan hasil biomasa tanaman. Rasio C/N bahan organik tanah yaitu antara 8-10/1. Angka ini menunjukkan bahwa pada setiap bagian karbon yang diikat tanah diperlukan 1/8 - 1/10 bagian nitrogen. Keterbatasan persediaan nitrogen akan membatasi karbon yang diikat oleh tanah.

Menurut Robert (2001), terjadi perubahan kandungan karbon pada tanah yang diberi amandemen pupuk (khususnya pupuk organik) dengan yang tidak diberi pupuk pada 42 plot percobaan. Plot-plot yang dibuat pada tahun 1929, tanamannya dibiarkan secara alami dengan kandungan bahan organik awal 1,7 %. Setelah 50 tahun, kandungan karbon pada plot yang tidak dipupuk turun 60 % menjadi 0,7 %, sedangkan pada plot yang diberi pupuk kandang dengan dosis 100 ton/ha/tahun meningkat 50 % menjadi 2,5 %. Pada kedua kasus ini perubahannya menurun dengan membentuk kurva mendatar secara langmuir (grafik 3).

Perubahan pertanaman dari padang rumput menjadi lahan pertanian mengakibatkan kehilangan karbon sebanyak 55 % selama 20 tahun. Hasil yang sama ditunjukkan oleh perubahan dari prairi alami menjadi lahan pertanian di Amerika dan Kanada (Robert, 2001). Plot percobaan jangka panjang (90 tahun) pada Bad Lauchstadt, menunjukkan bahwa pemupukan N secara positif mempengaruhi pengikatan karbon oleh tanah.

E. Menjaga agar Permukaan Tanah Tertutup

Menjaga agar permukaan tanah tetap tertutup sebagian besar telah dilakukan di Maluku. Salah satunya dengan sistem “DUSUNG” atau “DUSUN” atau ada yang dikenal dengan agroforestri. Keuntungan dari sistem Dusung di Maluku mempunyai banyak manfaat terutama dalam mempertahankan kesuburan tanah dan menurunkan limpasan permukaan, erosi dan meningkatkan infiltrasi tanah. Tanah tanpa penutup tanah rentan terhadap erosi angin dan air, dan untuk pengeringan dan pengerasan kerak. Penutup tanah melindungi tanah, menyediakan habitat bagi organisme tanah, seperti serangga dan cacing tanah, dan dapat meningkatkan ketersediaan air tanah. Permukaan tanah yang tertutup oleh tanaman akan meninggalkan residu pada permukaan tanah sehingga untuk lahan pertanian yang terbuka sebaiknya menanam tanaman penutup tanah. Selain tanaman penutup tanah memberikan tambahan bahan organik ke tanah, juga merupakan sumber makanan bagi organisme tanah. Penutup tanah harus dikelola untuk mencegah masalah kekeringan, penyakit, dan kelebihan fosfor pada permukaan. Di daerah tropis seperti di Maluku, penanaman lahan pertanian dengan tanaman penutup tanah dapat meningkatkan penyerapan karbon 250 – 500 kw/ha dalam jangka waktu 4 – 12 bulan tergantung pada jenis tanaman penutup tanah yang digunakan (Arsyad, 1989).

F. Diversifikasi Sistem Pertanaman di Maluku

Difersifikasi sistem pertanian di Maluku sangat penting karena keragaman memberi keuntungan dari sisi lingkungan maupun sisi ekonomi. Dari Sisi kesuburan tanah baik itu fisik, kimia maupun biologi tanah, masing-masing memberikan kontribusi pada struktur akar tanaman yang unik dan jenis residu ke tanah. Keragaman organisme tanah dapat membantu mengendalikan populasi hama, selain itu keanekaragaman praktek-praktek budidaya pertanian dapat mengurangi tekanan gulma dan penyakit pada tanaman pertanian yang diusahakan. Keanekaragaman sistem pertanian dapat ditingkatkan

dengan menggunakan buffer strip, ladang-ladang kecil, atau pertanaman strip kontur, Alley Cropping, dan lain-lain. Keragaman dari waktu ke waktu dapat ditingkatkan dengan menggunakan rotasi tanaman yang panjang dan sistem tumpang sari. Mengubah vegetasi di sepanjang lahan pertanian atau dari waktu ke waktu tidak hanya meningkatkan keanekaragaman tanaman, tetapi juga jenis serangga, mikroorganisme, dan satwa liar yang hidup di peternakan.

DAFTAR PUSTAKA

- 2029, R. (no date) *Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Banyumas Tahun 2009–2029*.
- Adhi, W., Ratmini, S. and Swastika, W. (1997) *Adhi, W., Ratmini, S. dan Swastika, W., Pengelolaan Tanah dan Air di Laban Pasang Surut, Proyek Penelitian Pengembangan Pertanian Rawa Terpadu ISDP Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 1997*.
- Enemark, S. (2007) ‘Land Management in Support of The Global Agenda’, in *V Internasional Congress Geomatica 2007*, pp. 12–17.
- Hakim, N., Nyakpa, Y. and Lubis (1986) *Dasar-dasar Ilmu Tanah*.
- Hurni, H. (1997) ‘Concepts of Sustainable Land Management’, *ITC Journal*, 3(4).
- Rahim, E. S. (2006) *Pengendalian Erosi Tanah Dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup*.
- Sartohadi, J. (2008) ‘The Landslide Distribution in Loano Sub-District, Purworejo District Central Java Province, Indonesia’, *Forum Geografi*, 22(2), pp. 129–144.
- Stubbs and Jeffry (1996) *Megacity Management in The Asian and Pacific Region, The Asian Development Bank*.
- Suryatmojo, H. and Soedjoko, S. A. (2008) ‘Pemilihan Vegetasi untuk Pengendalian Longsorlahan’, *Jurnal Kebencanaan Indonesia*, 1(5), pp. 374–382.

PROFIL PENULIS



Dr. Maimuna Lahabi, SPMP adalah dosen tetap Fakultas Pertanian Universitas Pattimura (UNPATTI) Ambon. Menyelesaikan pendidikan sarjana pertanian dengan jurusan Budidaya Pertanian di Universitas Pattimura pada tahun 2000, Magister Pengelolaan Tanah dan air di Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2006, dan menyelesaikan pendidikan Doktor Ilmu Pertanian Minat Manajemen Sumberdaya Lahan Dan Lingkungan di Universitas Brawijaya Malang Pada Tahun 2014. Bekerja di jurusan Tarbiyah, Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Ambon pada tahun akademik 2000 dan Universitas Darussalam (UNIDAR) Ambon pada program Studi Kimia, Program Studi Biologi dan program studi agroteknologi. Bekerja sebagai Dosen tetap Uninersitas Pattimura Fakultas pertanian program Studi Ilmu Tanah (Strata-1) dan Program Studi Pengelolaan Lahan (Strata-2) mengampu mata kuliah; (1) Kesuburan Tanah dan Pemupukan, (2) Kimia Tanah, (3) Bioteknologi Tanah, (4) Metode Analisis Tanah, Air dan Tanaman, (5) Biologi Tanah, (6) Dasar-dasar Ilmu Tanah, (7) Pertanian Organik, (8) bioremediasi, (9) Kebijakan Pengelolaan Lahan, (10) Fisika Tanah, (11) Masalah Khusus Produksi Pertanian. Kepala laboratorium kimia tanah dan nutrisi tanaman dari Tahun 2018 – sekarang Penelitian dan pengabdian yang dilakukan bidang kajian banyak dilakukan dibidang kajian Ilmu Pertanian, Pengelolaan Lahan dan Ilmu Tanah terkait dengan pemanfaatan limbah pertanian (ela sagu, *Gliricidia sepium*, *Chromolaena odorata*), Limbah serasah Kampus, Limbah rumah tangga yang dijadikan pupuk kompos, pupuk organik cair, dan pupuk kompos granul (PKG) dan dampaknya terhadap sifat Fisik dan kimia tanah serta hasil jagung (*Zea mays* L.) di Ultisols. Ketersediaan Fosfat, Serapan Fosfat, dan Hasil Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) Akibat Pemberian Kompos Granul Ela Sagu Dengan Pupuk Fosfat Pada Inceptisols, Analisis spasial pencemaran logam berat sebagai dampak tempat pembuangan akhir

sampah kota ambon pada DAS Wai Yori di Negeri Passo, Penggunaan *Trichoderma harzianum* untuk mengendalikan Jamur Patogen Terbawah Benih Padi (*Oryza zativa L.*) dari Penangkar di Kecamatan Waeapo Kabupaten Buru. Pemanfaatan pupuk organik kompos untuk meningkatkan Kesuburan Tanah Di Allang asaude Kecamatan Huamual Belakang Kabupaten Seram Bagian Barat. Pembuatan pupuk organik dari limbah pertanian dan limbah rumah tangga dan aplikasinya pada tanaman perkebunan dan tanaman hortikultura di Telaga Kodok, Kecamatan Leihitu Kabupaten Maluku Tengah, Di Kranjang dan Waringin Cap Desa Wayame Kecamatan Teluk Ambon Kota Ambon, dan beberapa desa di Pulau Seram dan Pulau Ambon. Pemanfaatan pupuk organik kompos untuk meningkatkan Kesuburan Tanah Di Allang asaude Kecamatan Huamual Belakang Kabupaten Seram Bagian Barat.

Email: maimunalahabi10@gmail.com

HP: 08124840154



KLASIFIKASI, SIFAT DAN CIRI PUPUK

Ida Sugeng Suyani

Universitas Panca Marga

A. KLASIFIKASI PUPUK

1. Klasifikasi Pupuk Berdasarkan Asal Pembentukannya

Pembentukan pupuk adalah proses pembuatan pupuk dari bahan-bahan tertentu. Berdasarkan pembentukan, pupuk dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- Pupuk alam

Pupuk Alam: Pupuk yang tidak dibuat di pabrik, melainkan terdapat di alam atau dibuat dengan bahan alam tanpa proses yang berarti. Contoh pupuk alam adalah pupuk kompos, pupuk kandang, guano, pupuk hijau, dan pupuk buatan (Elliafrida, 2024).

Pupuk kompos adalah pupuk yang berasal dari penguraian bahan organik oleh mikororganisme. Pupuk kompos organik merupakan pupuk ramah lingkungan yang memiliki ragam manfaat seperti: meningkatkan kesuburan tanah, sebagai pemantap agregat tanah, sumber hara untuk tanah dan tanaman serta dapat meningkatkan

produktivitas lahan dalam jangka panjang. Pupuk kompos dapat dibuat pada kondisi lingkungan aerob dan anaerob. Kompos aerob dihasilkan dari penguraian bahan-bahan organik dengan adanya oksigen atau udara yang menghasilkan produk utama yaitu karbon dioksida, air dan panas. Sedangkan, kompos anaerob adalah penguraian bahan organik tanpa adanya oksigen yang dilakukan dalam wadah tertutup dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk membantu proses dekomposisi bahan organik (Azmin et al., 2022).

- Pupuk buatan

Pupuk yang dibuat di pabrik dengan mengubah sumber daya alam melalui proses fisika atau kimia. (elliafrida, 2024). Pupuk anorganik merupakan istilah lain dari pupuk buatan olahan hasil pabrik yang telah direkayasa baik secara kimia, fisik dan atau biologis dengan kadar hara tinggi (Nopriani et al., 2023). Contoh pupuk kimia antara lain : Pupuk UREA, ZA, KCl, NPK Phonska

2. Klasifikasi Pupuk Berdasarkan Jumlah Hara

Jumlah hara adalah jumlah jenis hara yang terkandung dalam pupuk. Hara adalah zat yang dibutuhkan oleh tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Berdasarkan jumlah hara, pupuk dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- Pupuk Tunggal

Pupuk tunggal yaitu pupuk yang mengandung satu jenis hara saja. Contoh pupuk tunggal adalah MerokeZA yang mengandung nitrogen (N) (Anonim, 2024). Keuntungan penggunaan pupuk tunggal adalah cepat larut sehingga dapat mengurangi pencucian hara dan dapat digunakan pada semua jenis tanaman dan sesuai dengan kebutuhan (Cartika et al., 2021)

Contoh pupuk tunggal yaitu pupuk nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K). Contoh lainnya yaitu, MerokeZA yang mengandung nitrogen (N), urea (N) dan KCl (*Kalium Chlorida*– unsur K).

- Pupuk majemuk

Pupuk majemuk, yaitu pupuk yang mengandung lebih dari satu jenis hara. Contoh pupuk majemuk adalah NPK Mutiara 16-16-16 yang mengandung nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dengan perbandingan 16:16:16. Untuk pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman diperlukan unsur-unsur hara terutama N, P dan K. Unsur N diperlukan untuk pembentukan karbohidrat, protein, lemak dan persenyawaan organik lainnya (Prasetya, 2014).

3. Klasifikasi Pupuk Berdasarkan Senyawa

Senyawa adalah susunan atom-atom yang membentuk suatu zat. Senyawa dapat bersifat organik atau anorganik. Berdasarkan senyawa, pupuk dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- Pupuk organik

Pupuk organik yaitu pupuk yang mengandung senyawa organik. Senyawa organik adalah senyawa yang mengandung unsur karbon (C) dan hidrogen (H), serta dapat berasal dari makhluk hidup. Umumnya pupuk alam termasuk pupuk organik, misalnya pupuk kandang, guano, dan blotong. Pupuk organik dapat meningkatkan kandungan bahan organik, aktivitas mikroba, dan struktur tanah. 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/atau biologi tanah. Pupuk organik dibedakan dalam bentuk padat dan cair, sedangkan berdasar penyusunannya dapat berupa pupuk hijau, pupuk kandang, kompos, dan pupuk hayati (Wihardjaka, 2021).

- Pupuk anorganik

Pupuk anorganik merupakan istilah lain dari pupuk buatan olahan hasil pabrik yang telah direkayasa baik secara kimia, fisik dan atau biologis dengan kadar hara tinggi (Nopriani et al., 2023).

Penggunaan pupuk anorganik sebagai bahan agrokimia secara intensif lambat laun berdampak negatif terhadap lingkungan, seperti degradasi sumber daya lahan, akumulasi kontaminan dalam tanah, keseimbangan hara dalam tanah terganggu, dan peningkatan emisi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim walaupun penggunaan bahan agrokimia tersebut dan adanya varietas unggul tipe baru memberikan kontribusi terhadap capaian swasembada pangan tahun 1984. Dengan demikian, penggunaan pupuk anorganik perlu dikurangi (Wihardjaka, 2021). Contoh pupuk Anorganik yaitu, Urea, NPK, ZA KCL.

4. Klasifikasi Pupuk Berdasarkan Fasa atau Bentuk

- Bentuk padat

Pupuk organik padat adalah pupuk yang sebagian besar atau keseluruhannya terisi atas bahan organik yang berasal dari sisa tanaman atau kotoran hewan yang berbentuk padat. Pupuk ini juga memiliki bahan pengikat sehingga larutan pupuk yang diberikan ke permukaan tanah bisa langsung dimanfaatkan oleh tanaman (Andriani et al., 2022). Contoh pupuk padat yaitu, Urea, ZA.

- Bentuk cair

Pupuk cair adalah larutan yang mengandung satu atau lebih pembawa unsur yang dibutuhkan tanaman yang mudah larut. Kelebihan pupuk cair adalah pada kemampuannya untuk memberikan unsur hara sesuai dengan kebutuhan tanaman. Pupuk organik cair mempunyai beberapa manfaat diantaranya dapat mendorong dan meningkatkan pembentukan klorofil daun sehingga meningkatkan kemampuan fotosintesis tanaman dan penyerapan nitrogen dari udara, dapat meningkatkan vigor tanaman sehingga tanaman menjadi kokoh

dan kuat, meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kekeringan, merangsang pertumbuhan cabang produksi, meningkatkan pembentukan bunga dan bakal buah, mengurangi gugurnya dan, bunga, dan bakal buah (Andriani et al., 2022). Contoh pupuk cair, POC, Pupuk kandang cair.

5. Klasifikasi pupuk berdasarkan cara penggunaan

- Pupuk daun

Pupuk daun (*foliar fertilizer*) adalah pupuk yang diaplikasikan dengan cara disemprot pada daun tanaman. (Islamiah, 2020). Pemberian pupuk melalui daun memberikan respon yang cepat tetapi bersifat sementara, sehingga pemberiannya harus berulang. Pemenuhan unsur hara melalui pemupukan daun dapat meningkatkan laju fotosintesis. Peningkatan laju fotosintesis dapat memicu pertumbuhan tanaman, khususnya tinggi tanaman (Ulva et al., 2019).

- Pupuk akar

Pupuk akar adalah pupuk yang diaplikasikan dengan cara disebar atau ditanamkan pada tanah disekeliling tanaman agar mudah diserap oleh akar. Kebanyakan pupuk akar memiliki kandungan hara makro. Contoh : NPK, Urea, TSP, Surfaktan Wetcit.

B. Sifat dan kandungan unsur hara pupuk (Organik dan Anorganik)

Pupuk Organik memiliki beberapa sifat, di antaranya ; 1). Ramah lingkungan, 2). Pupuk organik berasal dari bahan-bahan alami, seperti tumbuhan, hewan, atau limbah organik, 3). Memperbaiki struktur tanah, 4). Pupuk organik dapat memperbaiki ukuran pori-pori tanah sehingga daya pegang air dan aerasi tanah menjadi lebih baik, 5). Membantu pelepasan hara tanah Pupuk organik melepaskan hara tanah secara perlahan dan kontinu, sehingga dapat mencegah ledakan suplai hara yang dapat meracuni tanaman, 6). Menyediakan unsur hara Pupuk organik menyediakan unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman, seperti nitrogen,

fosfor, kalium, kalsium, magnesium, sulfur, zink, tembaga, kobalt, barium, mangan, dan besi, 7). Menurunkan aktivitas mikroorganisme tanah yang merugikan .

Pupuk organik baik pupuk organik cair maupun pupuk organik padat/kompos mempunyai kandungan unsur hara makro dengan jumlah yang beragam. Gusmini *et all.* (2008), menyatakan bahwa pemberian bahan organik dapat meningkatkan kandungan hara N, P dan K dalam tanah dan dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan cara memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Rosmarkam dan Yuwono, 2002)..Secara fisik bahan organik dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan daya menahan air, secara kimia bahan organik meningkatkan kapasitas pertukaran kation (KTK) sehingga kemampuan mengikat kation tinggi.dan secara biologi, bahan organik memperbaiki kehidupan biologi tanah.

Nitrogen berfungsi sebagai penyusun klorofil (bahan kimia hijau yang memungkinkan tanaman untuk menangkap energi dari matahari untuk proses disebut fotosintesis) dan asam amino (protein) memperkuat pertumbuhan, mendukung percabangan/anakan, produksi daun. Fosfor merupakan bagian dari beberapa senyawa termasuk minyak dan asam amino. Senyawa P adenosine difosfat (ADP) dan adenosin trifosfat (ATP) bertindak sebagai pembawa energi di dalam tanaman. Fosfor berfungsi untuk pembelahan sel, pembentukan albumin, pembentukan bunga, buah, dan biji.(Roy *et all.*, 2006).

Kalium adalah nutrisi mineral paling banyak kedua dalam tanaman setelah N. K berfungsi sebagai aktivator enzim (sekitar 80 jenis enzim yang aktivasinya memerlukan unsur K), membantu penyerapan air dan unsur hara dari tanah oleh tanaman, membantu transportasi hasil asimilasi dari daun ke jaringan tanaman.

Pupuk Anorganik memiliki keunggulan seperti ketersediaan yang cukup dan kandungan unsur hara yang tinggi. Namun pupuk anorganik juga memiliki kelemahan seperti kekurangan unsur hara mikro dan berdampak negatif pada lingkungan. Oleh karena itu,

dalam pemilihan pupuk, perlu mempertimbangkan sifat-sifat pupuk anorganik, serta memerhatikan kebutuhan tanaman dan dampaknya terhadap lingkungan. Berikut merupakan beberapa sifat dari pupuk anorganik:

1. Kandungan Unsur Hara atau Analisis Pupuk

Kadar unsur hara tertentu yang terkandung pada pupuk jenis ini disebut dengan analisis pupuk. Untuk kadar unsur hara makro dinyatakan dalam satuan persen, sedang kadar unsur hara mikro dinyatakan dalam satuan ppm (part per Million atau persepjuta).

2. Higroskopisitas

Higroskopis adalah sifat pupuk yang berkaitan dengan potensinya atau kemampuannya untuk mengikat uap air dari udara bebas

3. Daya Larut

Daya larut adalah merupakan kemampuan suatu jenis pupuk untuk terlarut di dalam air.

4. Reaksi Pupuk

Reaksi pupuk adalah bila suatu jenis pupuk diberikan pada tanah, maka pH tanah dapat berubah menjadi lebih tinggi atau lebih rendah.

Pupuk anorganik merupakan unsur-unsur esensial bagi pertumbuhan tanaman baik tingkat tinggi atau rendah. Istilah pupuk umumnya berhubungan dengan pupuk buatan. yang tidak hanya berisi unsur hara tanaman dalam bentuk unsur nitrogen, tetapi juga dapat berbentuk campuran yang memberikan bentuk-bentuk ion dari unsur hara yang dapat diabsorpsi oleh tanaman. Untuk menunjang pertumbuhan tanaman secara normal diperlukan minimal 16 unsur di dalamnya dan harus ada 3 unsur mutlak, yaitu nitrogen, fosfor dan kalium (Adhikari, 2004).

Pupuk anorganik teknis yang merupakan pupuk buatan, yaitu pupuk yang dibuat oleh pabrik dari bahan kimia anorganik seperti urea, NPK dan TSP dan pupuk anorganik pro analisis. Urea merupakan pupuk tunggal, yaitu pupuk karena hanya mengandung satu unsur

saja, yaitu nitrogen, yang merupakan hasil penguraian alami protein, baik dari manusia maupun hewan yang dikeluarkan bersama urine.

Unsur yang diperlukan dalam jumlah besar adalah karbon, Nitrogen, Fosfor, Sulfur, Natrium, Magnesium dan Kalsium. Sedangkan unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah relatif sedikit adalah besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), seng (Zn), silicon (Si), boron (B), molibdenum (Mo), vanadium (V) dan kobalt (Co) (S,A, 2004).

C. CIRI-CIRI PUPUK

- **Pupuk Alami (Organik)**

- a. **Kompos**

Kompos memiliki ciri-ciri sebagai berikut ; Kompos mengandung hara-hara mineral yang esensial bagi tanaman, menggemburkan tanah, menyuburkan tanah, memperbaiki struktur tanah dan tekstur tanah, meningkatkan porositas aerasi, dan komposisi mikroorganisme tanah, meningkatkan daya ikat tanah terhadap air dan menyimpan air tanah tahan lebih lama, bersifat multi lahan karena dapat digunakan di lahan Pertanian dan reklamasi lahan kritis.

Cara pengaplikasian pupuk kompos menurut Artikel Indragirione, 2020, sebagai berikut:

1. Pengaplikasian pupuk kompos pada tanaman dilakukan dengan cara menyaringnya terlebih dahulu untuk memisahkan dari kotoran ataupun pupuk yang menggumpal.
2. Menaburkan di permukaan tanah dengan ketebalan 5-10 cm agar nutrisi terserap secara perlahan sehingga ideal untuk tanaman.

- b. **Pupuk Hijau**

Karakteristik pupuk hijau hampir sama dengan pupuk organik lainnya, yaitu sebagai berikut :

1. Memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah dengan memperbaiki struktur tanah.

2. Meningkatkan kapasitas tukar kation, memicu aktivitas biologi tanah atau mikroba tanah.
3. Sebagai unsur hara bagi tanaman, dan dapat mencegah erosi.
4. Pupuk hijau umumnya terbuat dari sampah organik hijau berupa sisa rumput, sayuran, daun buah-buahan, dll.

Cara pengaplikasian Pupuk hijau yaitu antara lain :

1. Pupuk hijau bisa di aplikasikan sebagai mulsa.

Digunakan sebagai mulsa, beberapa jenis pupuk hijau bisa diaplikasikan sebagai mulsa. Misalnya, jerami sisa tanaman padi yang dijadikan mulsa tanaman cabe atau bawang daun. Mulsa berguna untuk menjaga erosi dan kelembaban tanah saat tanaman inti masih muda. Ketika mulsa mulai terurai akan digunakan sebagai sumber hara tanaman oleh tanaman inti.

2. Pembedaman langsung

Sumber pupuk hijau dari jenis tanaman yang memiliki rasio C/N rendah (seperti legum dan azolla) bisa dibenamkan langsung pada lahan saat pengolahan tanah. Tanaman jenis ini biasanya memiliki kandungan nitrogen tinggi dan mudah terurai dalam tanah.

3. Dikomposkan

Tanaman yang memiliki rasio C/N tinggi (biasanya kadar ligninnya tinggi), sebaiknya dikomposkan terlebih dahulu. Lignin memerlukan waktu yang lama untuk terurai dalam tanah. Apabila sumber pupuk hijau seperti ini langsung diaplikasikan pada lahan, akan terjadi proses dekomposisi yang memerlukan nitrogen. Hal ini memunculkan persaingan perebutan nitrogen dengan tanaman inti sehingga pertumbuhan tanaman inti terganggu (Dinas Pertanian dan Pangan Demak, 2021).

Cara pengaplikasian: Pupuk hijau dapat diberikan pada berbagai jenis tanaman, seperti padi, jagung, kacang, dan lain-lain, dengan dosis yang sesuai dengan jenis tanaman dan kondisi lahan (Jurnal Agroekoteknologi Tropika, 2020).

c. Pupuk Guano

Karakteristik pupuk guano antara lain, sebagai berikut :

1. Pupuk yang disebut pupuk Guano ini mengandung nitrogen, fosfor dan potassium yang sangat bagus untuk tanaman. Guano juga mengandung amonia, asam urat, asam fosfat, asam oksalat dan asam karbonat, serta garam tanah.
2. Pupuk guano terdiri dari pupuk cair dan pupuk padat. Pupuk guano cair dibuat dengan menambahkan air dan fermentasi, sedangkan pupuk padat diperoleh di gua-gua kelelawar.
3. Kotoran kelelawar memiliki kadar nitrogen yang besar, kadar unsur fosfat tertinggi dan kadar kalium yang besar. Fosfat merupakan bahan utama penyusun pupuk, selain nitrogen dan Potasium. Memanfaatkan kotoran hewan menjadi pupuk organik adalah langkah yang bagus untuk mencapai hasil maksimal. (PTD Balai Penyuluhan Pertanian Pangan dan Perikanan Wilayah III Sleman , 2021),

Cara pengaplikasian Pupuk guano yaitu antara lain :

1. cara pengaplikasian pupuk guano cair adalah dengan cara menyemprotkan di ke tanah dan daun tanaman sesuai dengan masing-masing konsentrasi yang telah ditentukan. Upaya dalam menjaga ketersediaan unsur hara dalam tanah selain pemberian konsentrasi pupuk juga dapat melalui frekuensi waktu pemberian pupuk guano cair, cara pemberian pupuk dan bentuk pupuk yang di aplikasikan secara tepat (Jurnal Nabati Vol 9 No.2 (2), 2021),
2. Guano dapat dicampur langsung ke dalam tanah, atau dapat diencerkan dalam air dan digunakan sebagai pupuk cair.

Jika menggunakannya sebagai bahan pembenah tanah, menggunakan sekitar 1 cangkir guano untuk setiap 10 kaki persegi area kebun. Sedangkan kalau membuat pupuk cair, melarutkan sekitar 1 sendok makan guano dalam satu galon air (Planet Natural Research Center, 2024).

d. Pupuk Kandang

Pupuk kandang memiliki beberapa karakteristik, di antaranya:

1. Pupuk kandang yang telah siap diaplikasikan memiliki ciri dingin, remah, wujud aslinya tidak nampak, dan baunya telah berkurang. Penggunaan pupuk kandang yang belum matang akan menghambat pertumbuhan tanaman, bahkan bisa mematikan tanaman.
2. Kotoran hewan mengandung unsur hara makro seperti nitrogen (N), posfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan belerang (S). Bila dibandingkan dengan pupuk kimia sintetis, kadar kandungan unsur hara dalam pupuk kandang jauh lebih kecil.
3. Berdasarkan bentuknya, pupuk kandang terbagi atas dua jenis yakni pupuk kandang padat dan pupuk kandang cair. Pupuk padat biasanya diperoleh dari tahi (feses) sedangkan pupuk cair diperoleh dari air kencing (urine), (Artikel bibit bunga, 2024).

Cara pengaplikasian Pupuk kandang, diantaranya :

1. Pengomposan. Sebelum digunakan, pupuk kandang perlu dikomposkan terlebih dahulu untuk mengurangi kandungan bahan organik yang kasar dan meningkatkan kandungan nutrisinya.
2. Pencampuran. Pupuk kandang dicampur dengan tanah secara merata sebelum menanam tanaman agar tanaman mendapatkan nutrisi yang seimbang.
3. Pemberian Secara Berkala. Pupuk kandang diberikan secara berkala selama pertumbuhan tanaman untuk memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup sepanjang siklus pertumbuhannya.

(Fakultas Pertanian Medan Area, 2024).

• Pupuk Buatan (Anorganik)

a) Pupuk Urea

Pupuk Urea memiliki beberapa karakteristik, di antaranya ; memiliki rumus kimia, yaitu NH_2CONH_2 atau $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ atau

CON₂H₄, mengandung sekitar 46% unsur Nitrogen, kadar air 0,50%, memiliki bentuk prill atau butiran kristal putih, bersifat higroskopis atau mudah menarik air, sangat mudah larut di dalam air, mudah diserap oleh akar tanaman untuk dikatalisasi menjadi amonium atau nitrat.

Adapun langkah-langkah agar aplikasi urea dapat dilakukan secara efektif, yaitu:

1. Pilih waktu yang tepat. Pemberian pupuk biasanya diterapkan selama musim tanam ketika tanaman aktif tumbuh dan dapat memanfaatkan Nitrogen secara efektif. Biasanya pemupukan dilakukan pada awal pertumbuhan tanaman.
2. Kondisi cuaca. Memastikan kondisi cuaca terlebih dahulu sebelum mengaplikasikan pupuk ini. Pemberian pupuk paling baik dilakukan saat akan turun hujan atau saat tanah sudah lembap, dengan begitu pupuk akan mudah larut mencapai zona akar tanaman.
3. Hitung jumlah dosis. Jumlah pupuk Urea yang diaplikasikan tergantung pada jenis tanaman, tahap pertumbuhannya, dan kondisi tanah. Biasakan membaca label pada paket pupuk atau konsultasikan dengan kantor penyuluh pertanian setempat untuk mendapatkan panduan tentang dosis aplikasi yang sesuai.
4. Pupuk harus merata. Pupuk disebar secara merata ke seluruh area lahan. Selain itu, menghindari aplikasi pupuk terlalu banyak di satu tempat, sebab hal tersebut dapat menyebabkan tanaman terbakar atau pertumbuhan tidak merata.
5. Menyirami area lahan. Jika tidak ada kemungkinan hujan setelah aplikasi pupuk, area yang terkena pupuk disiram sedikit untuk membantu agar larut dan pindah ke tanah sehingga dapat diserap akar tanaman.

b) Pupuk Phonska

Pupuk Phonska memiliki beberapa karakteristik, di antaranya ; Nitrogen (N): 15 %, Fosfat (P₂O₅) : 15 % Kalium (K₂O): 15%, Zinc (Zn): 0,1%, Kadar air maksimal 2%, Bentuk Higroskopis, Mudah larut dalam air, mengandung unsur hara N, P, K dan Zn, kandungan unsur hara setiap butir pupuk merata, larut dalam air sehingga mudah diserap tanaman, sesuai untuk berbagai jenis tanaman, meningkatkan produksi dan kualitas panen, menambah daya tahan tanaman terhadap gangguan hama, penyakit dan kekeringan butiran.

Cara pengaplikasian Pupuk Phonska ,diantaranya :

1. Tanaman Pangan

Pemberian pupuk phonska pada tanaman padi biasanya menggunakan kombinasi dosis 500 kg/ha Pupuk Organik Petroganik, 300 kg/ha Pupuk NPK Phonska, dan 200 kg/ha Urea. Sedangkan untuk prosedur aplikasinya yaitu:

Dasar : 500 kg Pupuk Organik Petroganik + 150 kg NPK Phonska + 50 kg Urea
20 HST : 150 kg NPK Phonska + 50 kg Urea, 35 HST : 100 kg Urea

2. Tanaman Hortikultura

Pupuk NPK Phonska banyak digunakan pada berbagai tanaman hortikultura seperti bawang merah, kubis, tomat, kentang, dan lainnya. Masing-masing tentu memiliki dosis dan waktu aplikasi yang berbeda, berikut contoh aplikasi pada tanaman kacang panjang: Dasar: 2000 kg/ha Petroganik + 150 kg NPK Phonska, 15 HST: 150 kg NPK Phonska, 30 HST: 150 kg NPK Phonska.

3. Tanaman Keras

Beberapa tanaman keras seperti kopi, kakao, lada, dan cengkeh juga membutuhkan pupuk NPK Phonska dalam dosis takaran untuk satu pohon. Biasanya, waktu aplikasi pupuk NPK Phonska pada tanaman keras dibedakan berdasarkan musim. Berikut contoh untuk pemberian NPK Phonska pada tanaman kopi.

Awal musim hujan: 3000 gr Petroganik + 550 gr NPK Phonska + 90 gr Kieserit
Akhir musim hujan: 500 gr NPK Ph onska + 90 gr Kieserit (Gokomodo, 2024).

c) Pupuk **TRIPLE SUPER PHOSPHATE (TSP)**

Karakteristik pupuk TSP,diantaranya adalah :

1. Pupuk TSP memiliki kandungan P tertinggi diantara pupuk karakter kering yang tidak mengandung Nitrogen (N). Keuntungan lainnya adalah bahwa hampir 90% kandungan P nya bersifat Mudah larut dalam air (water soluble), ehingga dapat dengan cepat/ segera tersedia untuk diserap oleh tanaman.
2. Begitu ditebar di tanah yang lembab, segera bentuk butirannya akan meluruh, kemudian campuran tanah-TSP ini akan menjadi bersifat asam. TSP juga mengandung 15% Kalsium (Ca), yang menyediakan unsur hara tambahan bagi tanaman. (Mahkota Fertilizer, 2024).

Cara pengaplikasian Pupuk TSP ,diantaranya :

1. Teknik penggunaan pupuk ini sebenarnya cukup beragam. Mulai dari disebar, ditanam di tanah, hingga cara kocoran. Saat ditebar di tanah yang lembab, bentuk butiran dari TSP dapat dengan mudah meluruh dan campuran tanah-TSP akan bersifat asam.
2. Pupuk TSP dapat ditaburkan dengan jarak sekitar 25 cm dari pangkal batang hingga ujung pinggiran dengan takaran dosis yang direkomendasikan. Untuk memastikan dosis agar tetap terjaga, biasanya dapat menggunakan alat takaran saat melakukan pemupukan.
3. Intensitas pemberian pupuk TSP juga beragam tergantung dengan kondisi tanah dan kebutuhan tanaman. Umumnya TSP diberikan dua kali dalam waktu satu tahun, misalnya saat akan tiba musim hujan dan saat musim hujan berakhir.

d) Pupuk ZA (Zwavelzure Amonium)

Ciri-ciri Pupuk ZA antara lain ; Pupuk ZA bersifat higroskopis atau mudah menyerap uap air. Terutama pada kelembapan 80 persen atau lebih, jadi mudah diserap tanaman. Hampir sama dengan urea, reaksinya asam. Kurang baik diberikan pada tanah muda yang masih asama atau tanah yang kurang kandungan kalsium (alkali), Nitrogen 21%, Sulfur 24%, Zink 1.000ppm, kadar Asam Bebas sebagai H₂SO₄ maksimal 0,1%, bentuk kristal, warna Hijau. (Fakultas Pertanian, Univestitas Medan Area, 2023).

Cara pengaplikasian Pupuk ZA ,diantaranya :

1. Bila tanah dengan pH netral ataupun asam, Meroke ZA dapat diaplikasikan dengan cara ditabur, namun bila pada tanah basa dengan kelembapan dan suhu tinggi yang dapaat meningkatkan penguapan maka diaplikasikan dengan cara dipendam.
2. Dosis dan frekuensi pemupukan dapat disesuaikan dengan tingkat kesuburan dan kondisi tanah, pertumbuhan dan produktivitas tanaman serta varietas tanaman yang digunakan. Perlu diberikan Dolomit/Kapur Pertanian sebanyak 2-4 kg/meter bedeng (bila pH<5) dan pupuk kandang/bahan organik sebanyak 2-4 kg/meter bedeng.

(PT Meroke Tetap Jaya, 2024).

Menurut Firmansyah, (2011), Pupuk ZA adalah pupuk kimia buatan yang dirancang untuk memberi tambahan unsur hara nitrogen dan unsur sulfur bagi tanaman. Adapun fungsi dari unsur hara nitrogen dan unsur hara sulfur bagi tanaman yaitu sebagai berikut:

Fungsi Nitrogen :

- Mendorong pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, terlebih pasa saat tanaman berada dalam fase vegetatif (daun, tunas, batang).

- Bahan pembentuk klorofil dan enzim
- Meningkatkan daya serap akar terhadap unsur fosfor

Fungsi sulfur :

- Membantu pertumbuhan tunas
- Berperan sebagai sintesa minyak yang berguna bagi proses pembuatan zat gula

Pupuk kimia yang banyak dipakai petani terdiri dari pupuk hara makro dan pupuk hara mikro. Berikut ini beberapa pupuk kimia yang sering diaplikasikan untuk komoditas pertanian.

1. Pupuk Urea

Pupuk urea paling diminati oleh petani, karena sangat bermanfaat untuk lahan pertanian maupun budi daya. Pupuk ini memiliki rumus kimia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, terbuat dari campuran gas alam, air, dan udara. Ketiga bahan tersebut diolah menghasilkan nitrogen (N_2), hidrogen (H_2) dan karbondioksida (CO_2). Reaksi antara gas N_2 dan H_2 menghasilkan amonia yang bila direaksikan dengan gas CO_2 menghasilkan urea.

Dalam urea terkandung 46% N yang berarti dalam setiap 100 kg pupuk urea terdapat 46 kg nitrogen yang mampu memenuhi kebutuhan nitrogen tanaman, mempercepat pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Nitrogen berfungsi mempermudah proses fotosintesis, sehingga tanaman mampu menghasilkan lebih banyak klorofil.

Pupuk urea berbentuk kristal butiran (pril) dan gelintiran (granul) dengan warna putih dan merah muda. Urea bersifat higroskopis, sehingga mudah larut dan mudah diserap tanaman. Reaksinya sedikit asam dan mudah terbakar oleh sinar matahari.

2. Pupuk ZA

Pupuk ZA (Zwavelzure Ammonium) mempunyai rumus kimia $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang mengandung sekitar 21% nitrogen dan 24% sulfur. Pupuk ZA berbentuk kristal berwarna putih. Khusus ZA bersubsidi berwarna oranye.

Pupuk ZA, mampu menambah unsur hara nitrogen dan sulfur pada tanah, memperbaiki kualitas tanaman, serta menambah nilai gizi pada hasil panen. Pupuk ZA juga dapat membantu tanaman agar terhindar dari hama. Pupuk ZA kurang baik diberikan pada tanah muda yang masih asam atau tanah yang kekurangan kalsium.

3. Pupuk SP-36

Pupuk SP-36 (Super Phosphate) dengan rumus kimia P_2O_5 . Pupuk ini terdiri dari asam sulfat (belerang) dengan fosfat alam. Pupuk SP-36 kerap digunakan petani untuk membantu tanaman pada masa reproduksi dengan membentuk bunga dan menghasilkan buah yang lebih banyak. Pupuk SP-36 mengandung sekitar 36% fosfor dalam bentuk P_2O_5 (fosfat) dan 5% sulfur berbentuk granul dan berwarna abu-abu.

4. Pupuk KCl

Pupuk KCl (Potassium Chloride) merupakan pupuk buatan yang mengandung kalium (K_2O) tinggi, yakni 60%, berbentuk kristal, berwarna merah oranye. Kandungan klorida dalam pupuk KCl berguna untuk meningkatkan resistensi terhadap hama dan penyakit pada tanaman sehingga hasil panen lebih meningkat. Selain itu, pupuk KCl juga membuat batang tanaman lebih kokoh, ukuran buah lebih besar dan lebih manis.

5. Pupuk NPK

Pupuk NPK (Nitrogen Phosphate Kalium) merupakan pupuk majemuk yang mengandung unsur hara makro primer N, P, dan K yang sangat dibutuhkan tanaman serta dapat ditambah unsur lain, seperti Ca, Mg, dan unsur mikro Cu, Zn, Mn, dan lain-lain. Kandungan unsur hara N, P, dan K dalam pupuk NPK sangat bervariasi. Sebagai contoh, pupuk NPK 15-15-15 mengandung 15% N, 15% P_2O_5 , dan 15% K_2O . Pada umumnya pupuk NPK berbentuk granul dengan warna bervariasi dari abu-abu, merah, biru, hijau, atau cokelat.

6. Dolomite

Dolomite (anhydrous carbonate) dengan rumus kimia $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ terbentuk dari kalsium magnesium karbonat, memiliki manfaat sebagai penyedia unsur hara makro sekunder berupa kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Pupuk ini mengandung minimal 29% CaO dan 18% MgO. Reaksi kimia yang ditimbulkan berupa basa (alkali) sehingga menaikkan pH tanah. Pupuk ini berbentuk butiran halus atau tepung berwarna putih keabu-abuan atau putih kebiruan.

7. Pupuk ZK

Pupuk ZK (Zwavelzure Kali) merupakan pupuk sumber kalium (K) dan sulfur (S) cocok untuk tanaman yang sensitif terhadap klorida. Pupuk ini mengandung 50% K_2O dan 17% sulfur, berbentuk butiran kecil atau serbuk, berwarna putih serta bersifat tidak higroskopis sehingga dapat disimpan lama tanpa mengalami perubahan fisik. Pupuk jenis ZK memiliki rumus kimia K_2SO_4 . Dibuat dari kandungan asam sulfat dan kalium, sehingga disebut pupuk sulfat.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, A. E., Shobrina, A., Putri, I., & Irbah, K. (2022). "Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga Menjadi Pupuk Cair dan Pupuk Padat Pendahuluan". *Jurnal Abdi Desa*. 4(2), 241–244.
- Anonim. 2024. "NPK Mutiara - Kupas Tuntas Klasifikasi Pupuk Dan Manfaatnya Dalam Pertanian." <https://www.npkmutiara.com/post/kupas-tuntas-klasifikasi-pupuk-dan-manfaatnya-dalam-pertanian>. Accessed 9 Oct. 2024.
- Azmin, N., Irfan, I., Nasir, M., Hartati, H., & Nurbayan, S. (2022). "Pelatihan Pembuatan Pupuk Kompos Dari Sampah Organik Di Desa Woko Kabupaten Dompu". *Jompa Abdi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(3), 137–142. <https://doi.org/10.57218/jompaabdi.v1i3.266>
- Cartika, I., Hudaya, A., Aprianto, F., & Murtiningsih, R. (2021). "Optimalisasi Dosis Pupuk Tunggal dan Pupuk Kandang untuk Produksi Bawang Putih di Dataran Tinggi". *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 2, 61–65. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v2i.168>
- Elliafrida. "Pupuk Dan Pemupukan Tanaman Serta Klasifikasi | Prof.Dr.Ir. Elli Afrida, M.P." *Uma.ac.id*, 14 June 2024, elliafrida.blog.uma.ac.id/2024/06/14/pupuk-dan-pemupukan-tanaman/. Accessed 9 Oct. 2024.
- Fajriah, N. (2017). "Penyelesaian Sengketa Tanah Wakaf Di Pengadilan Agama Surakarta". *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Festina. "Pengertian Pupuk Beserta Jenis Dan Manfaatnya | AMTAST Indonesia." *AMTAST Indonesia*, 22 June 2021, amtast.id/pengertian-pupuk-beserta-jenis-dan-manfaatnya/. Accessed 9 Oct. 2024.
- Islamiah, Dian. "Pengertian Dan Klasifikasi Pupuk - DGW Fertilizer." *DGW Fertilizer*. www.dgwfertilizer.co.id/pengertian-dan-klasifikasi-pupuk-tanaman/. Accessed 9 Oct. 2024.

- Manahan, E. . (1984). "Environmental chemistry". *4th Edition*. Brooks/Cole Publishing Company Monterey.
- Nopriani, L. S., Radiananda, R. A. A. T., & Kurniawan, S. (2023). "Pengaruh Aplikasi Pupuk Anorganik Dan Hayati Terhadap Sifat Kimia Tanah Dan Produksi Tanaman Padi (*Oryza Sativa* L.)". *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Laban*, 10(1), 157–163.
- NW, R. A. dan Y. (2002). "Ilmu Kesuburan Tanah". *Kanisius Yogyakarta*, 224.
- Prasetya, M. E. (2014). "Pengaruh pupuk NPK mutiara dan pupuk kandang sapi terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai merah keriting varietas arimbi (*Capsicum annum* L.)". *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Kebutuhan*, 13(2), 191–198.
- Roy RN, Finck A. Blair GJ, dan T. H. (2006). "*Plant nutrition for food security : A guide for integrated*".
- S, A. (2004). "*Fertilization, soil and water quality management in small scale ponds: Fertilization requirements and soil properties*". hlm. [http://www.enach.org/aquaculture/ article/oct](http://www.enach.org/aquaculture/article/oct).
- Ulva, D. A., Supriyono, S., & Pardono, P. (2019). "Efektivitas pupuk daun terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai pada sistem tanpa olah tanah". *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*, 21(2), 29–33.
- Widowati, Ladiyani Retno, Wiwik Hartatik, Diah Setyorini, dan Y. T. (2022). "Pupuk Organik Dibuatnya Mudah, Hasil Tanam Melimpah". 58.
- Wihardjaka, A. (2021). "Dukungan pupuk organik untuk memperbaiki kualitas tanah pada pengelolaan padi sawah ramah lingkungan". *Jurnal Pangan*, 30(1), 53–64.

PROFIL PENULIS



Ida Sugeng Suyani, S.P., M.P.

Lahir di Probolinggo, 3 Januari 1978. Pendidikan Sekolah Dasar, Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama dan Sekolah lanjutan Tingkat Akhir ditempuh di Gending - Probolinggo. Pendidikan D3 Pertanian di Politeknik Pertanian Jember Jurusan Budidaya Tanaman Pangan pada tahun 1993-1999. Meraih gelar Sarjana Pertanian pada tahun 2003 di Fakultas Pertanian Universitas Panca Marga. Gelar Magister Pertanian diselesaikan pada tahun 2006 di Universitas Jember. Sejak tahun 2008 sampai saat ini menjadi dosen di Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Panca Marga.. Pada tahun 2010 mendapatkan tugas menjadi Wakil Dekan I, dan selama 2 periode sejak tahun 2014 - 2022 mendapatkan tugas menjadi Dekan di Fakultas Pertanian Universitas Panca Marga. Tahun 2018 - 2022 menjadi Anggota Asosiasi Perguruan Tinggi Swasta Ilmu Pertanian Indonesia (APTS-IPI) dan Pengurus APTS-IPI wilayah VII Jawa Timur. Pada tahun 2023 mendapatkan tugas menjadi Ketua Program Studi Agroteknologi FP UPM Masa Bakti 2023-2027. Selain mengajar, aktif melaksanakan Penelitian dan Pengabdian kepada masyarakat. Email : idasugengsuyani@upm.ac.id.



METODE PEMUPUKAN

Gelvin Iqbal Pradhipta
Praktisi Bidang Pertanian

4.1. Pendahuluan

Metode pemupukan yang efisien berkontribusi langsung pada produktivitas tanaman dengan memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup untuk mendukung pertumbuhan vegetatif dan generatif. Jika pemupukan dilakukan dengan cara yang salah, seperti penggunaan dosis berlebihan atau waktu yang tidak tepat dapat menyebabkan penurunan kualitas dan kuantitas hasil panen, kelebihan pupuk yang terbuang, mencemari lingkungan, dan meningkatkan biaya produksi. Metode penggunaan pupuk (pupuk organik atau pupuk mineral) merupakan komponen penting dalam praktik pertanian yang baik. Pupuk diterapkan dengan metode berbeda, terutama untuk 3 tujuan: 1) Agar unsur hara mudah tersedia bagi tanaman, 2) Untuk mengurangi kehilangan pupuk dan 3) Untuk kemudahan dalam aplikasi pupuk (Mahardika, 2023). Usaha optimalisasi penggunaan pupuk yang dapat menuju kepada tercapainya efisiensi pemupukan dengan menggunakan pupuk secara

rasional sesuai dengan kemampuan tanah menyediakan hara, sumbangan hara dari air pengairan dan kebutuhan tanaman. Rekomendasi pemupukan spesifik lokasi dimana rekomendasi pupuk didasarkan status hara tanah dan kebutuhan hara tanaman. Analisis kimia tanah (soil chemical analysis) adalah suatu metode untuk menentukan status unsur hara dalam tanah sebagai dasar penyusunan rekomendasi pemupukan. Ada tiga tahapan kegiatan yang dilakukan yaitu : 1). Studi korelasi yang bertujuan untuk mendapatkan metode ekstraksi terbaik untuk analisis tanah, 2). Studi kalibrasi untuk menentukan batas kritis suatu unsur hara terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman, dan 3). penyusunan rekomendasi pemupukan spesifik lokasi. (Kumulontang et al., 2022). Aplikasi pemberian pupuk yang rasional membutuhkan informasi jumlah hara yang tersedia dalam tanah serta status nutrisi pada jaringan tanaman. Penggunaan pupuk berimbang harus mempertimbangkan dua poin penting, yaitu dosis dan rasio nutrisi. Jika salah satu nutrisi hadir dalam jumlah besar mungkin akan menekan serapan dari beberapa nutrisi lain dan merugikan hasil panen. Produksi suatu tanaman ditentukan oleh kegiatan yang berlangsung dalam sel dan jaringan tanam. Untuk mencapai jumlah hasil produksi yang besar harus diusahakan agar pertumbuhan bagian tanaman mempunyai nilai ekonomis meningkat (Makmur & Zainuddin, 2020).

1. Aspek Pemupukan

Efektivitas dan efisiensi pemupukan dapat dicapai dengan mengacu lima tepat pemupukan (kaidah 5T), yaitu tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, tepat cara, dan tepat sasaran, penentuan jenis pupuk didasarkan pada sifat pupuk, sifat tanah, harga pupuk, dan kebutuhan pupuk per fisik tanah, logistik pupuk, serta sifat sinergis dan antagonis unsur hara. Aplikasi yang tepat cara dan sasaran mengupayakan pupuk dapat mencapai zona perakaran dengan cepat dan tidak mudah menguap karena penguapan dan aliran permukaan. (Khalida & Lontoh, 2019)

Aspek-aspek pemupukan yang memerlukan pertimbangan dalam aplikasi pupuk adalah sebagai berikut:

- 1) Ketersediaan unsur hara yang dikandung pupuk kandang dan pupuk kimia.
- 2) Kebutuhan unsur hara tanaman pada berbagai tahap pertumbuhan tanaman.
- 3) Waktu aplikasi.
- 4) Cara aplikasi, penempatan pupuk.
- 5) Aplikasi daun (foliar spraying).
- 6) Respon tanaman terhadap pemberian pupuk dan interaksi N, P, dan K.
- 7) Efek sisa (residue) pupuk kandang dan pupuk kimia.
- 8) Biaya satuan unsur hara dan keekonomian pemupukan.

4.2. Waktu dan metode pemberian pupuk

Waktu pemberian pupuk

Waktu pemberian pupuk pada tanaman berbeda-beda tergantung kepada sifat pupuk, jenis tanah, perbedaan kebutuhan unsur hara dan sifat tanaman. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Rafii & Pribadi, 2023) bahwa waktu pemberian pupuk menghasilkan pengaruh terbaik pada parameter pengamatan tinggi tanaman, umur muncul bunga, jumlah buah total panen per tanaman dan Berat buah total panen per tanaman. Waktu Pemberian Pupuk sebagai berikut,

1. Aplikasi dasar

A. Sebelum persiapan pengolahan tanah

Pupuk organik dalam jumlah besar, pupuk hijau, bahan pembenah tanah dan kondisioner tanah diaplikasikan sebelum persiapan pengolahan tanah agar tercampur sempurna dengan tanah.

B. Pupuk dasar

Pemberian pupuk kandang dan pupuk sebelum pembajakan/penggenangan terakhir atau sebelum penanaman atau penanaman.

C. Saat semai atau menanam

Pupuk organik pekat, pupuk yang mudah larut dan memiliki mobilitas tinggi, pupuk lepas lambat, pupuk N dosis awal untuk tanaman kacang-kacangan dan pupuk untuk tanah yang kekurangan unsur hara tertentu diterapkan selama masa ini.

2. Pupuk susulan

Ini adalah pemberian pupuk kandang dan pupuk pada tanaman yang sudah ada dalam jangka waktu panen. Pupuk susulan dapat dilakukan pada tanah atau daun. Pemberian nitrogen dan kalium secara terpisah dilakukan sepanjang masa tanam untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk.

Metode Aplikasi Pupuk

Pemupukan bisa dilakukan dengan berbagai metode tergantung pada jenis tanaman, kondisi lahan, dan tujuan aplikasi. Penggunaan metode yang tepat akan membantu tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup, meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, dan mencegah pemborosan serta kerusakan lingkungan. Aplikasi penggunaan pupuk kimia pada pertanian yang belum tepat takaran, waktu, jenis dan tempat pemberiannya menjadi isu pencemaran lingkungan di dunia akhir dekade ini. Suatu metode pemupukan yang lebih presisi dan efisien terus dicari dan diteliti hingga saat ini. Metode penebaran pupuk di dalam tanah (*broadcast incorporated*) menjadi hal baru yang terus dikembangkan. (Agustami Sitorus, 2018). Berikut berbagai macam metode pemberian pupuk pada tanaman,

A. Metode Broadcasting (Penyebaran)

Pemberian pupuk dalam bentuk padat disebut metode penyebaran (*broadcast*). Penyebaran pupuk kandang atau pupuk secara merata dan seragam dengan tangan atau mesin ke seluruh permukaan lahan pada saat penanaman atau setelah benih disemai pada tanaman tegakan, disebut dengan *Broadcast*. Sangat cocok untuk tanaman dengan tegakan padat, akar tanaman menembus seluruh volume tanah, pupuk dosis besar diterapkan dan pupuk

fosfat yang tidak larut seperti batuan fosfat digunakan, ada dua jenis pemberian pupuk dengan metode penyebaran yaitu: a) aplikasi dasar sebelum tanam dan b) Dressing yaitu penyebaran pada saat penanaman.

Penyebaran pupuk kandang dan pupuk kimia dilakukan pada sebelum dan sesudah penanaman bertujuan :

- Untuk mendistribusikan pupuk secara merata dan mencampur dengan sebagian atau seluruh lapisan bajak
- Untuk mengaplikasikan dalam jumlah yang lebih besar yang dapat diaplikasikan dengan aman pada saat penanaman dengan alat penebar benih dan pupuk.

B. Metode Banding

Penempatan pupuk dengan cara **dibenamkan (banding)** adalah metode pemupukan di mana pupuk diletakkan di dekat akar tanaman di dalam tanah, biasanya dalam alur atau parit kecil. Setelah pupuk ditaburkan, lubang atau alur tersebut ditutup kembali dengan tanah. Cara ini bertujuan untuk memastikan pupuk lebih dekat dengan akar tanaman, sehingga penyerapan hara lebih efisien dan risiko kehilangan pupuk (akibat pencucian atau penguapan) berkurang. (Makmur & Zainuddin, 2020). Pemberian pupuk dengan cara dibenamkan dapat dilakukan pada tanaman dengan beberapa syarat:

1. **Tanaman Berakar Dalam:** Pupuk dibenamkan cocok untuk tanaman yang memiliki sistem perakaran dalam, seperti jagung, padi, tebu, atau tanaman sayuran.
2. **Tanaman yang Baru Ditanam:** Metode ini juga dapat digunakan pada fase awal pertumbuhan tanaman, sehingga akar muda bisa segera menyerap nutrisi.
3. **Tanaman yang Ditanam Berjajar:** Tanaman seperti jagung, kentang, atau padi yang ditanam dalam barisan atau bedengan cocok untuk metode ini, karena pupuk bisa dibenamkan di antara barisan tanaman.

Jenis pupuk yang biasanya diaplikasikan pada tanaman dengan cara dibenamkan adalah pupuk yang tidak mudah menguap atau hilang karena penguapan atau pencucian. Beberapa jenis pupuk yang cocok untuk metode ini adalah:

1. **Pupuk NPK Granular:** Kombinasi nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang larut perlahan sehingga bisa bertahan lama di tanah.
2. **Pupuk Fosfat (TSP atau SP-36):** Fosfat merupakan unsur hara yang tidak mudah berpindah di dalam tanah, sehingga sering dibenamkan agar lebih dekat ke akar.
3. **Pupuk Organik:** Pupuk kandang atau kompos bisa dibenamkan untuk memperbaiki struktur tanah dan menyediakan nutrisi secara bertahap.
4. **Urea (untuk kondisi tanah yang sesuai):** Urea dapat dibenamkan terutama pada tanaman seperti jagung atau padi, namun perlu diwaspadai karena jika terlalu dangkal, pupuk urea bisa menguap sebagai gas amonia.

Dosis Pupuk dengan Cara Dibenamkan

Dosis pupuk dengan cara dibenamkan tergantung pada jenis tanaman, kebutuhan nutrisi, dan hasil analisis tanah. Berikut adalah beberapa contoh dosis pupuk yang umum digunakan dalam metode pembedaan:

1. **Tanaman Jagung:**
 - o Pupuk dasar: NPK (15-15-15) diberikan sekitar 200-300 kg per hektar. Pupuk ini dibenamkan pada saat tanam di alur sekitar 5-10 cm dari bibit.
 - o Urea (jika digunakan sebagai pupuk tambahan) bisa diberikan pada fase pertumbuhan vegetatif, dengan dosis sekitar 100-200 kg/ha.
2. **Tanaman Padi:**
 - o Pupuk dasar: Pupuk fosfat (TSP atau SP-36) sekitar 50-100 kg per hektar, dibenamkan di alur tanah dekat perakaran sebelum tanam.

- Pupuk urea diberikan dengan dosis sekitar 100-150 kg/ha pada fase awal pertumbuhan, dan bisa ditambahkan lagi pada fase pembungaan.
3. **Tanaman Sayuran (seperti kentang):**
- Pupuk dasar: NPK (16-16-16) diberikan dengan dosis 200-250 kg/ha, ditanamkan di antara barisan tanaman.
 - Pupuk organik (kandang/kompos): Sekitar 10-20 ton/ha, ditanamkan saat pengolahan tanah sebelum tanam.

Perhitungan Pupuk dengan Cara Ditanamkan

Untuk menghitung jumlah pupuk yang ditanamkan secara akurat, beberapa faktor yang harus diperhitungkan adalah:

1. **Kebutuhan Hara Tanaman:** Setiap tanaman memiliki kebutuhan hara yang berbeda tergantung pada fase pertumbuhan dan kondisi tanah.
2. **Luas Lahan:** Dosis pupuk harus disesuaikan dengan luas lahan. Biasanya dosis diberikan dalam satuan kg/ha.
3. **Hasil Uji Tanah:** Uji tanah digunakan untuk mengetahui kandungan hara di tanah, sehingga dosis pupuk bisa disesuaikan dengan defisiensi atau kelebihan unsur tertentu.

Contoh Perhitungan: Misalkan lahan seluas 1 hektar membutuhkan pupuk NPK dengan dosis 250 kg/ha dan pupuk diberikan di alur barisan tanaman. Jika jarak antar barisan adalah 50 cm dan panjang barisan tanaman adalah 200 meter, perhitungannya adalah:

1. Hitung total panjang barisan: (1 hektar = 10.000 m², jika jarak antar barisan 0,5 m, maka jumlah barisan = 10.000 / 0,5 = 20.000 meter barisan).
2. Dosis per meter barisan: 250 kg pupuk dibagi 20.000 meter = 0,0125 kg atau 12,5 gram per meter.

- **Cara:** Pupuk ditaburkan di dalam alur atau parit kecil di dekat akar tanaman, kemudian ditutup dengan tanah. Metode ini menjaga pupuk lebih dekat dengan akar tanaman.
- **Keunggulan:** Mengurangi kehilangan pupuk karena penguapan dan pencucian, lebih efisien dalam penyerapan hara oleh tanaman.
- **Kekurangan:** Membutuhkan tenaga kerja lebih banyak untuk membuat alur atau lubang.

Jenis pupuk yang digunakan:

- Pupuk granular seperti NPK, pupuk organik, atau kompos.

Dosis:

- Misalnya, untuk tanaman jagung, dosis pupuk urea adalah 150-200 kg/ha, diberikan dalam 2 tahap (pada awal dan fase pertumbuhan).

C. Metode pembuatan lubang

Tata laksana pemupukan dengan **cara pembuatan lubang** biasanya diterapkan pada tanaman tahunan seperti tanaman keras (misalnya buah-buahan, perkebunan) dan dilakukan dengan beberapa pertimbangan untuk memastikan efektivitas pemberian pupuk. (Endang & Bayu, 2019). Berikut adalah panduan pemupukan dengan cara pembuatan lubang:

1. Pengenalan Jenis Tanaman dan Kebutuhan Hara

- **Tanaman Tahunan:** Tanaman seperti kelapa sawit, karet, kopi, kakao, durian, atau mangga memiliki siklus hidup yang panjang dan membutuhkan hara dalam jumlah besar untuk pertumbuhan awal dan produktivitas jangka panjang.
- **Tahap Pertumbuhan Tanaman:** Pemupukan harus disesuaikan dengan tahap pertumbuhan tanaman. Pada fase awal (vegetatif), tanaman membutuhkan nitrogen (N) lebih banyak untuk pertumbuhan daun dan akar. Pada fase generatif (pembuahan), unsur fosfor (P) dan kalium (K) sangat penting untuk pembentukan bunga dan buah.

2. Pemilihan Jenis Pupuk

- **Pupuk Organik:** Sangat efektif untuk tanaman tahunan karena memberikan nutrisi secara bertahap dan memperbaiki struktur tanah. Pupuk kandang, kompos, atau pupuk hijau sering digunakan.
- **Pupuk Anorganik:** Digunakan untuk memenuhi kebutuhan hara spesifik tanaman, misalnya urea (N), TSP atau SP-36 (P), KCl (K). Jenis dan dosisnya harus disesuaikan dengan hasil analisis tanah dan kebutuhan tanaman.

3. Penentuan Dosis Pupuk

Dosis pupuk disesuaikan dengan umur tanaman, hasil uji tanah, dan kebutuhan tanaman. Contoh umum dosis pupuk untuk beberapa tanaman tahunan:

- **Kelapa Sawit:** Nitrogen (N) sekitar 600-800 gram/pohon/tahun, fosfor (P) 200-300 gram/pohon/tahun, kalium (K) 800-1200 gram/pohon/tahun.
- **Mangga:** Nitrogen (N) sekitar 250-500 gram/pohon/tahun, fosfor (P) 200-400 gram/pohon/tahun, kalium (K) 300-500 gram/pohon/tahun.

Dosis ini bisa berubah tergantung kondisi spesifik tanaman dan tanah.

4. Teknik Pembuatan Lubang untuk Pemupukan

- **Lubang Cincin (Ring Method):** Dibuat mengelilingi tanaman dengan jarak tertentu dari batang (biasanya sesuai dengan lebar tajuk daun). Lubang ini dibuat untuk memberikan pupuk di daerah yang dekat dengan akar serapan, sehingga penyerapan pupuk lebih optimal.
- **Lubang Tunggal (Single Hole):** Dibuat di beberapa titik di sekeliling tanaman. Biasanya digunakan untuk tanaman muda atau tanaman dengan jarak tanam yang lebar.

Cara Membuat Lubang:

- Lubang digali di sekitar tanaman dengan kedalaman 10-30 cm tergantung ukuran tanaman.

- Pupuk dimasukkan ke dalam lubang dan ditutup dengan tanah.
- Lubang bisa dibuat pada jarak 50 cm - 1 meter dari batang, atau sesuai dengan sistem perakaran tanaman.

5. Waktu Pemberian Pupuk

- **Pupuk Dasar:** Diberikan sebelum atau saat penanaman. Biasanya menggunakan pupuk organik (kompos atau pupuk kandang).
- **Pupuk Susulan:** Diberikan beberapa kali selama masa pertumbuhan tanaman, terutama pada masa vegetatif awal dan menjelang fase generatif. Pada tanaman buah, pemberian pupuk tambahan dapat dilakukan menjelang musim berbunga atau berbuah.

6. Efektivitas Pemupukan dengan Lubang

- **Mengurangi Kehilangan Pupuk:** Dengan cara ini, pupuk yang diberikan langsung di sekitar akar sehingga mengurangi pencucian oleh air hujan dan mengurangi kehilangan pupuk akibat evaporasi.
- **Memfokuskan Nutrisi ke Akar:** Nutrisi langsung terserap oleh akar tanaman yang berada di area lubang, sehingga lebih efektif dibandingkan metode lain seperti penyebaran.
- **Memperbaiki Kualitas Tanah:** Penggunaan pupuk organik di dalam lubang dapat membantu meningkatkan kandungan bahan organik dan struktur tanah di sekitar perakaran, yang mendukung pertumbuhan akar lebih baik.

7. Pemantauan dan Evaluasi

Pemantauan tanaman secara berkala diperlukan untuk mengevaluasi apakah pemberian pupuk sudah mencukupi atau memerlukan penyesuaian. Perhatikan perubahan warna daun, pertumbuhan, serta produksi buah atau bunga.

Contoh Pemupukan pada Tanaman Tahunan:

- **Tanaman Kelapa Sawit:**

1. Buat lubang cincin di sekitar pohon dengan jarak sekitar 1 meter dari batang.
2. Masukkan pupuk urea, SP-36, dan KCl sesuai dosis yang dianjurkan.
3. Tutup lubang dengan tanah untuk menghindari pencucian pupuk oleh hujan.
4. Lakukan pemupukan susulan secara rutin sesuai dengan siklus pertumbuhan tanaman.

- **Tanaman Mangga:**

1. Buat 3-4 lubang di sekitar pangkal pohon dengan jarak 50-75 cm dari batang.
2. Masukkan pupuk NPK atau campuran pupuk kandang dan pupuk kimia.
3. Tutup kembali lubang dengan tanah dan sirami jika diperlukan.

Dengan pemupukan yang tepat, tanaman tahunan bisa tumbuh sehat dan produktivitas jangka panjangnya akan lebih terjaga

D. Pemupukan lewat daun (Foliar fertilization)

Pemupukan Lewat Daun (foliar fertilization) adalah salah satu metode pemberian pupuk di mana larutan pupuk disemprotkan langsung pada permukaan daun tanaman. Tanaman dapat menyerap nutrisi melalui stomata (pori-pori daun) dan dinding sel daun. Pemupukan daun bertujuan untuk memberikan nutrisi tambahan, terutama pada saat tanaman membutuhkan nutrisi cepat atau akar kurang efektif menyerap hara dari tanah.

Pemupukan lewat daun menyediakan solusi cepat bagi tanaman yang kekurangan nutrisi, terutama unsur mikro seperti seng (Zn), besi (Fe), boron (B), dan lainnya. Teknik ini mempercepat penyerapan nutrisi karena hara langsung diambil

melalui stomata daun, yang lebih cepat dibandingkan pemberian pupuk melalui tanah. Fisher dan Hill (2012) menyampaikan bahwa aplikasi pupuk lewat daun menunjukkan peningkatan hasil tanaman

Metode pemberian pupuk lewat daun menurut sebagai berikut :

1. **Persiapan Larutan Pupuk:** Larutkan pupuk daun ke dalam air dengan dosis yang dianjurkan oleh produsen pupuk. Gunakan air bersih dan jangan terlalu pekat, karena larutan yang terlalu kuat dapat merusak daun.
2. **Penyemprotan yang Merata:** Pastikan penyemprotan dilakukan merata ke seluruh permukaan daun, terutama bagian bawah daun yang lebih banyak memiliki stomata. Gunakan alat semprot dengan nozel halus untuk memastikan distribusi larutan pupuk yang baik.
3. **Waktu Penyemprotan:** Penyemprotan dilakukan **pagi hari** atau **sore hari** ketika stomata terbuka dan kondisi sinar matahari tidak terlalu terik, menghindari penguapan yang berlebihan. Hindari penyemprotan saat hujan atau cuaca sangat panas karena dapat mengurangi efektivitas dan menyebabkan daun terbakar.
4. **Frekuensi:** Pemupukan daun bisa dilakukan beberapa kali selama musim tanam, tergantung kebutuhan tanaman. Frekuensi ini dapat disesuaikan berdasarkan jenis tanaman dan kondisi pertumbuhan.

Dosis Pupuk Lewat Daun

Dosis pupuk daun sangat bervariasi tergantung pada jenis tanaman dan jenis pupuk yang digunakan. Umumnya, pabrik pupuk sudah mencantumkan anjuran dosis dalam label produk. Sebagai contoh:

- **Pupuk daun cair NPK:** Dosis umum 1-2 ml pupuk per liter air, disemprotkan secara merata ke permukaan daun.
- **Unsur Mikro (Fe, Zn, Mn, B):** Dosis biasanya berkisar 0,5-2 gram/liter air untuk masing-masing elemen, tergantung tingkat defisiensi pada tanaman.

Penting untuk tidak memberikan dosis terlalu tinggi karena pupuk daun yang pekat bisa menyebabkan daun terbakar dan rusak.

Jenis Pupuk Lewat Daun

Pupuk yang digunakan untuk pemupukan daun harus memiliki **kelarutan yang tinggi** agar dapat diserap dengan cepat oleh daun. Beberapa contoh pupuk daun yang umum digunakan adalah:

1. **Pupuk Mikro:**
 - **Fe-EDTA (Besi):** Digunakan untuk mengatasi klorosis (daun menguning akibat kekurangan zat besi).
 - **ZnSO₄ (Seng):** Meningkatkan pertumbuhan akar dan tunas serta membantu produksi hormon auksin.
 - **MnSO₄ (Mangan):** Membantu fotosintesis dan pembentukan enzim.
 - **Borax (Boron):** Penting untuk pembentukan dinding sel dan perkembangan bunga serta buah.
2. **Pupuk NPK Cair:**
 - **NPK Cair:** Digunakan sebagai pupuk tambahan yang cepat terserap, biasanya memiliki rasio nitrogen tinggi untuk merangsang pertumbuhan daun (misalnya NPK 20-20-20 atau NPK 10-30-10).
3. **Amino Acid (Asam Amino):** Produk asam amino cair sering digunakan untuk membantu tanaman mengatasi stres, meningkatkan aktivitas fotosintesis, dan memperbaiki perkembangan tanaman.
4. **Humic Acid (Asam Humat):** Pupuk daun yang berbahan dasar asam humat sering digunakan sebagai suplemen untuk meningkatkan daya serap nutrisi dan memperbaiki efisiensi penggunaan hara.

5. **Pupuk Organik Cair:** Pupuk ini berasal dari bahan organik alami seperti kompos atau ekstrak rumput laut, mengandung unsur hara mikro dan bahan bioaktif yang membantu pertumbuhan tanaman.

Dengan metode pemupukan lewat daun yang benar, tanaman dapat memperoleh tambahan nutrisi secara cepat dan efisien, terutama dalam kondisi defisiensi hara mikro atau stres tanah.

Menurut Kumar, V. & Dutta, S. K. (2019) bahwa pemupukan lewat daun mempunyai kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

Kelebihan:

1. **Penyerapan Cepat:** Pemupukan lewat daun memungkinkan tanaman menyerap nutrisi lebih cepat dibandingkan aplikasi melalui tanah. Nutrisi yang diberikan langsung ke daun dapat segera diambil oleh stomata dan digunakan oleh tanaman.
2. **Efektif untuk Hara Mikro:** Pemupukan daun sangat cocok untuk memberikan unsur hara mikro seperti besi (Fe), seng (Zn), mangan (Mn), dan boron (B) yang mungkin kurang tersedia atau terikat di tanah.
3. **Mengatasi Masalah Tanah yang Tidak Optimal:** Ketika tanah terlalu asam, basa, atau kering, akar tanaman mungkin kesulitan menyerap nutrisi. Pemupukan daun dapat mengatasi kekurangan hara pada kondisi tersebut.
4. **Mengurangi Kehilangan Nutrisi:** Dibandingkan dengan pemupukan tanah, yang dapat mengalami kehilangan nutrisi akibat pencucian (leaching) atau penguapan, pemupukan daun lebih efisien dalam menyalurkan nutrisi langsung ke tanaman.
5. **Mengatasi Defisiensi Nutrisi dengan Segera:** Apabila tanaman menunjukkan gejala kekurangan nutrisi, pemupukan daun dapat memberikan perbaikan dalam jangka pendek karena nutrisi masuk dengan cepat ke dalam jaringan tanaman.

Kekurangan:

1. **Efek Jangka Pendek:** Pemupukan daun memberikan hasil yang bersifat sementara, dan sebagian besar nutrisi tetap harus dipenuhi melalui akar dari tanah. Aplikasi daun biasanya tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan hara makro (seperti N, P, K) dalam jumlah besar.
2. **Risiko Daun Terbakar (Phytotoxicity):** Penyemprotan pupuk dengan dosis terlalu tinggi atau pada waktu yang salah (misalnya siang hari di bawah terik matahari) dapat menyebabkan daun terbakar, yang mengakibatkan kerusakan tanaman.
3. **Keterbatasan pada Unsur Makro:** Meskipun efektif untuk unsur mikro, pemupukan daun tidak efisien untuk pemberian unsur makro (seperti nitrogen, fosfor, dan kalium) dalam jumlah besar, yang biasanya diserap lebih baik melalui akar.
4. **Pengaruh Cuaca:** Cuaca mempengaruhi efektivitas pemupukan daun. Hujan setelah penyemprotan dapat mencuci pupuk sebelum sempat diserap oleh tanaman, sementara cuaca panas dapat mempercepat penguapan sebelum nutrisi diserap.
5. **Aplikasi yang Perlu Berulang:** Karena efeknya bersifat sementara, pemupukan daun sering kali perlu dilakukan beberapa kali dalam musim tanam untuk menjaga ketersediaan nutrisi.

Mekanisme Penyerapan Nutrisi oleh Daun menurut Marschner, H. (2011) adalah

1. **Penyerapan Melalui Stomata:**
 - o Stomata adalah pori-pori kecil yang terdapat pada permukaan daun, terutama di bagian bawah daun. Saat stomata terbuka, nutrisi yang telah disemprotkan ke permukaan daun dapat masuk ke dalam jaringan daun. Penyerapan ini efektif untuk nutrisi yang berbentuk ion atau molekul kecil yang mudah larut dalam air.

2. Penyerapan Melalui Epidermis:

- o Selain melalui stomata, nutrisi juga dapat diserap melalui dinding sel epidermis daun. Proses ini terjadi melalui difusi pasif, di mana ion-ion nutrisi yang terlarut dalam air bergerak dari area dengan konsentrasi tinggi (permukaan daun) ke area dengan konsentrasi rendah (di dalam sel daun). Epidermis daun yang dilapisi kutikula cenderung memperlambat penyerapan, tetapi nutrisi tetap dapat melewati kutikula ini jika berbentuk molekul yang sangat kecil.

3. Translokasi Nutrisi dalam Tanaman:

- o Setelah nutrisi diserap melalui daun, nutrisi tersebut ditranslokasikan ke bagian lain dari tanaman. Misalnya, nitrogen yang diserap melalui daun dapat diangkut ke area tumbuh atau organ penyimpan untuk membantu pembentukan protein dan klorofil.

Keterbatasan Pemupukan Lewat Daun:

1. Keterbatasan Kapasitas Penyerapan:

- o Meskipun daun mampu menyerap nutrisi, kapasitasnya terbatas, terutama untuk unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang dibutuhkan dalam jumlah besar. Pemupukan lewat daun lebih cocok untuk pemberian unsur hara mikro (mikronutrien) seperti seng (Zn), besi (Fe), mangan (Mn), dan boron (B).

2. Efek Jangka Pendek:

- o Nutrisi yang diberikan melalui daun umumnya hanya memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman untuk jangka pendek. Sebagian besar nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan jangka panjang harus tetap diserap melalui akar dari tanah.

3. Pengaruh Lingkungan:

- o Kondisi cuaca sangat mempengaruhi efektivitas penyerapan daun. Cuaca panas dapat mempercepat penguapan cairan pupuk sebelum daun memiliki kesempatan untuk menyerap nutrisi. Sebaliknya, hujan dapat mencuci pupuk dari permukaan daun, mengurangi jumlah nutrisi yang terserap.

4. Resistensi Kutikula Daun:

- o Kutikula daun yang tebal atau lilin alami pada permukaan daun dapat menghambat penyerapan nutrisi. Tanaman dengan lapisan kutikula yang lebih tebal mungkin kurang efisien dalam menyerap pupuk daun dibandingkan dengan tanaman berdaun tipis.

5. Konsentrasi dan Risiko Phytotoxicity:

- o Penggunaan pupuk daun dengan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan phytotoxicity (kerusakan daun), di mana daun menjadi terbakar atau rusak. Oleh karena itu, dosis dan konsentrasi harus sangat diperhatikan.

E. Metode Pemupukan dengan Drone

Integrasi teknologi merupakan salah satu strategi bisnis inti di sektor pertanian untuk efektivitas program smart farming. Munculnya teknologi blockchain yang digunakan untuk perancangan sistem logistik pangan yang efisien, transparan dan tertelusur (traceable), akan memudahkan perusahaan dan konsumen untuk menentukan kualitas suatu produk pertanian. Oleh karena itu Internet of Things (IoT) menjadi sangat penting. Petani dapat menggunakan sensor untuk mengumpulkan data terkait budi daya tanaman. Data ini ditulis di blockchain dan mencakup faktor-faktor yang mengidentifikasi penyakit, hama serta pH tanah. Guna mengoptimalkan proses pertanian, perangkat IoT yang dipasang di pertanian dapat mendukung

pengolahan dan pendataan, sehingga petani dapat mengambil tindakan cepat terhadap masalah yang muncul dan perubahan lingkungan sekitarnya. Analisis data dapat membantu memantau produktivitas dan membuat prediksi yang lebih akurat. Ini sangat penting untuk menjaga efisiensi produksi pertanian guna mencegah gagal. Oleh karena itu, segala kelebihan smart farming dapat dijadikan salah satu strategi untuk menarik generasi muda yang identik dengan penguasaan teknologi dan internet. Smart farming mampu merubah anggapan buruk generasi muda terhadap pertanian dan beberapa alasan lainnya. Teknologi terkini dalam bidang pertanian telah memungkinkan penerapan pupuk dengan lebih canggih, presisi, dan efisien. Alat dan sistem otomatis kini mampu menjangkau bagian tersulit tanaman, memastikan pupuk disebarluaskan secara merata dan sesuai kebutuhan spesifik tanaman, sambil menjaga biaya tetap terkendali. Penggunaan teknologi ini tidak hanya menghemat waktu dan biaya, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan (Rachmawati, 2021).

Cara Aplikasi Pupuk dengan Teknologi Terkini

1. Drone Penyemprot (Spraying Drones):

- **Cara Kerja:** Drone dapat diprogram untuk terbang di atas ladang dan menyemprotkan pupuk cair atau larutan pupuk daun secara presisi ke tanaman. Dengan bantuan sensor dan GPS, drone dapat mengidentifikasi area tertentu yang membutuhkan lebih banyak pupuk.
- **Keunggulan:** Drone menjangkau area yang sulit dijangkau manusia atau mesin konvensional, misalnya di ladang yang luas, berbukit, atau basah.
- **Efisiensi:** Waktu aplikasi lebih cepat dibandingkan metode manual, dengan tingkat penggunaan pupuk yang lebih hemat karena fokus pada area yang membutuhkan.

2. **Sistem Irigasi Tetes dengan Pupuk Terintegrasi (Fertigation):**
 - **Cara Kerja:** Pupuk cair dicampur dalam air irigasi yang kemudian dialirkan langsung ke akar tanaman melalui sistem irigasi tetes. Metode ini digunakan untuk tanaman seperti sayuran, buah, dan tanaman hortikultura.
 - **Keunggulan:** Nutrisi diberikan langsung ke akar tanaman dengan tingkat presisi tinggi, mengurangi kehilangan hara akibat pencucian oleh air hujan atau irigasi berlebih. Efisiensi air dan pupuk tinggi.
3. **Mesin Aplikator Pupuk Presisi (Precision Fertilizer Applicators):**
 - **Cara Kerja:** Mesin ini mampu mendeteksi kebutuhan hara tanaman menggunakan sensor tanah atau tanaman yang terhubung dengan sistem GPS. Mesin kemudian menerapkan pupuk hanya di area yang membutuhkan, baik secara granul maupun cair.
 - **Keunggulan:** Mesin ini meminimalisir over-application (penggunaan berlebih) yang dapat merusak tanaman atau mencemari lingkungan. Selain itu, aplikasi dilakukan lebih cepat dan efisien di lahan luas.
4. **Teknologi Controlled-Release Fertilizer (Pupuk Lepas Lambat):**
 - **Cara Kerja:** Pupuk ini dilapisi bahan tertentu sehingga nutrisi dilepaskan secara bertahap selama periode waktu yang lama, sesuai dengan kebutuhan tanaman.
 - **Keunggulan:** Mengurangi frekuensi pemupukan dan memperpanjang periode serapan nutrisi, meningkatkan efisiensi tanpa harus terus-menerus memantau atau melakukan aplikasi ulang.

5. Pemupukan Otomatis melalui Sensor Tanah (Soil Sensors):

- **Cara Kerja:** Sensor yang tertanam di tanah mengukur kandungan hara, kelembaban, dan pH, serta mengirimkan data ke sistem kontrol otomatis. Berdasarkan data tersebut, pupuk diaplikasikan sesuai kebutuhan spesifik di area tertentu.
- **Keunggulan:** Pemberian pupuk sangat akurat, mengurangi pemborosan pupuk dan dampak negatif pada lingkungan.

Jenis Pupuk yang Digunakan dalam Teknologi Terkini

1. Pupuk Cair:

- **Jenis:** NPK cair, pupuk mikro cair, pupuk organik cair, humic acid, dan amino acid.
- **Keunggulan:** Mudah dicampur dengan air untuk diaplikasikan melalui irigasi atau drone. Lebih cepat diserap oleh tanaman, terutama dalam metode foliar atau fertigation.

2. Pupuk Lepas Lambat (Controlled-Release Fertilizer):

- **Jenis:** Urea-coated, NPK granular berlapis, atau pupuk slow-release berbahan organik.
- **Keunggulan:** Nutrisi dilepaskan secara perlahan sesuai kebutuhan tanaman, mengurangi kehilangan nutrisi akibat pencucian atau volatilisasi.

3. Pupuk Mikro dalam Bentuk Cair:

- **Jenis:** Seng (Zn), Besi (Fe), Boron (B), Mangan (Mn).
- **Keunggulan:** Digunakan untuk menyuplai unsur mikro yang tidak banyak dibutuhkan tetapi sangat penting untuk mengatasi defisiensi spesifik pada tanaman.

4. **Bio-Pupuk dan Pupuk Hayati:**

- o **Jenis:** Mengandung mikroorganisme yang membantu meningkatkan kesuburan tanah, seperti bakteri penambat nitrogen (*Rhizobium*), pelarut fosfat (PSB), atau pemecah kalium (KSB).
- o **Keunggulan:** Memperbaiki kesehatan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara alami tanpa merusak ekosistem.

Dosis Pupuk

Dosis pupuk harus disesuaikan berdasarkan beberapa faktor seperti jenis tanaman, jenis pupuk, kondisi tanah, dan metode aplikasi. Beberapa contoh dosis umum:

1. **NPK Cair:** 2-5 liter per hektar untuk aplikasi menggunakan drone atau irigasi tetes.
2. **Pupuk Mikro (Zn, Fe, Mn):** 100-200 ppm dalam larutan air untuk aplikasi foliar (penyemprotan daun) dengan dosis rendah tetapi teratur.
3. **Pupuk Lepas Lambat (Controlled-Release Fertilizer):** Dosis berkisar antara 50-80% dari dosis pupuk konvensional, karena efisiensi yang lebih tinggi.

Penting untuk selalu mengikuti anjuran dosis dari produsen atau berdasarkan hasil uji tanah, agar aplikasi pupuk optimal.

Regulasi Pemupukan dengan Teknologi Terkini

Penerapan teknologi pemupukan yang lebih canggih umumnya diatur oleh sejumlah regulasi yang bertujuan untuk mengontrol kualitas, keselamatan, dan dampak lingkungan. Beberapa poin utama dalam regulasi terkait teknologi pemupukan meliputi:

1. **Sertifikasi dan Izin Alat:** Penggunaan alat-alat otomatis seperti drone dan mesin penyebar pupuk harus memenuhi standar keamanan dan efisiensi tertentu, yang ditetapkan oleh lembaga regulasi pertanian atau penerbangan di suatu negara.

2. **Kontrol Kualitas Pupuk:** Semua jenis pupuk yang digunakan, terutama pupuk cair dan pupuk mikro, harus memenuhi standar kelarutan, kemurnian, dan komposisi nutrisi yang diatur oleh otoritas terkait.
3. **Pengendalian Lingkungan:** Regulasi mengenai penggunaan pupuk sering kali mencakup aturan tentang jumlah maksimum yang dapat diterapkan, serta pengawasan terhadap pencemaran tanah dan air untuk mengurangi risiko eutrofikasi (pencemaran air akibat kelebihan nutrisi).
4. **Pelaporan dan Pencatatan Aplikasi Pupuk:** Dalam beberapa kasus, petani yang menggunakan teknologi canggih diwajibkan untuk mencatat dan melaporkan penggunaan pupuk untuk tujuan pemantauan, baik untuk meminimalkan penggunaan pupuk berlebihan maupun untuk meningkatkan efisiensi.

Teknologi pemupukan terkini memudahkan petani dalam menerapkan pupuk secara lebih presisi, cepat, dan hemat biaya. Penggunaan alat seperti drone, sistem irigasi tetes dengan pupuk terintegrasi, serta sensor tanah, memungkinkan nutrisi diberikan sesuai kebutuhan tanaman secara spesifik, mengurangi pemborosan, dan dampak negatif pada lingkungan. Dengan memahami cara aplikasinya, memilih jenis pupuk yang tepat, serta mematuhi regulasi yang berlaku, efisiensi dan produktivitas tanaman bisa ditingkatkan secara signifikan.

F. Pemupukan dengan infus

Pemupukan infus tanaman adalah teknik di mana nutrisi atau pupuk diberikan langsung ke dalam batang atau akar tanaman melalui selang infus. Metode ini sering digunakan untuk tanaman besar seperti pohon yang mengalami defisiensi hara berat, atau untuk memberikan pupuk secara cepat dan tepat pada tanaman dengan akar yang sulit menjangkau nutrisi dari tanah. Aplikasi pemupukan dengan menggunakan sistem infus langsung ke jaringan tanaman dapat

dijadikan sebagai alternatif untuk meningkatkan efisiensi pemupukan pada tanaman karet. Pemupukan dengan menggunakan sistem infus ini memiliki beberapa keunggulan, antara lain distribusi pupuk yang tertutup ke dekat akar tanaman sehingga membuat aliran pupuk ke tanaman menjadi lebih seragam dan terkontrol, mengurangi resiko kehilangan pupuk melalui proses pencucian dan penguapan, efisiensi dalam pemberian air karena air dan pupuk dapat diberikan secara bersamaan, serta dapat meningkatkan hasil (Musafak et al., 2017) dalam (Irmawati et al., 2022)

Cara Pemupukan Infus Tanaman

1. Persiapan Larutan Pupuk:

- Pupuk yang digunakan harus larut dalam air. Larutan pupuk disiapkan dengan mencampurkan pupuk cair atau pupuk terlarut ke dalam air sesuai dosis yang dianjurkan.
- Air yang digunakan harus bersih, bebas dari kotoran, dan memiliki pH netral agar tidak merusak sistem infus.

2. Pemasangan Infus:

- Lubang kecil dibuat pada batang pohon atau bagian akar utama dengan menggunakan bor steril. Kedalaman lubang sekitar 2-5 cm (tergantung ukuran batang atau akar).
- Selang infus dimasukkan ke dalam lubang tersebut, dan alat infus digantung atau dipasang pada batang dengan kantung atau botol berisi larutan pupuk yang siap diinfuskan ke dalam jaringan tanaman.
- Cairan pupuk akan masuk perlahan melalui selang ke sistem jaringan tanaman secara langsung.

3. Waktu Aplikasi:

- Waktu terbaik untuk melakukan infus adalah pagi atau sore hari saat suhu tidak terlalu panas untuk menghindari stres pada tanaman.

- o Frekuensi infus tergantung pada kondisi tanaman dan keparahan defisiensi. Biasanya, infus dilakukan dalam siklus tertentu (mingguan atau bulanan) sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Jenis Pupuk untuk Infus Tanaman

Jenis pupuk yang digunakan untuk infus tanaman harus memiliki kelarutan yang sangat baik agar tidak menyumbat selang infus dan bisa langsung diserap oleh jaringan tanaman. Beberapa jenis pupuk yang umum digunakan dalam pemupukan infus tanaman meliputi:

1. Pupuk Cair NPK:

- o Mengandung nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang penting untuk pertumbuhan umum tanaman.
- o Rasio NPK bisa disesuaikan tergantung pada jenis tanaman dan kebutuhan spesifiknya (misalnya, 20-20-20 untuk pertumbuhan umum atau 10-30-10 untuk tanaman yang sedang berbunga atau berbuah).

2. Pupuk Mikro:

- o Larutan yang mengandung unsur mikro seperti besi (Fe), seng (Zn), mangan (Mn), boron (B), dan molibdenum (Mo) yang sangat dibutuhkan dalam jumlah kecil tetapi vital untuk fungsi fisiologis tanaman.
- o Pupuk mikro umumnya digunakan untuk mengatasi defisiensi hara spesifik, seperti klorosis yang disebabkan kekurangan besi.

3. Asam Amino dan Bio-Stimulant:

- o Larutan yang mengandung asam amino atau bahan bioaktif lainnya untuk meningkatkan kesehatan tanaman, memperbaiki efisiensi fotosintesis, dan membantu tanaman mengatasi stres lingkungan.

- Bio-stimulant seperti asam humat atau fulvat sering digunakan dalam larutan infus untuk meningkatkan serapan nutrisi.
4. **Pupuk Organik Cair:**
- Pupuk yang terbuat dari bahan organik alami seperti ekstrak rumput laut, kompos, atau bahan organik lainnya yang sudah terlarut sempurna.
 - Pupuk ini membantu meningkatkan kesuburan alami tanaman dan memperbaiki kondisi tanah.

Dosis Pupuk Infus Tanaman

Dosis pemupukan infus tanaman sangat bervariasi tergantung pada jenis tanaman, ukuran tanaman, dan kondisi tanaman. Beberapa panduan umum untuk dosis pupuk dalam infus tanaman:

1. **Pupuk NPK Cair:**
 - Untuk pohon besar (misalnya pohon buah atau pohon pelindung), dosis biasanya berkisar antara 100-500 ml larutan pupuk NPK cair per infus, dengan konsentrasi sekitar 1-2 gram per liter air.
 - Pupuk ini bisa diberikan dalam beberapa tahap tergantung pada kebutuhan tanaman.
2. **Pupuk Mikro:**
 - Dosis pupuk mikro seperti seng atau besi biasanya rendah, sekitar 0,5-1 gram per liter air untuk satu infus. Pemberian pupuk mikro dilakukan jika ada indikasi kekurangan nutrisi mikro pada tanaman.
3. **Asam Amino dan Bio-Stimulant:**
 - Dosis bio-stimulant bervariasi tergantung pada produk, tetapi umumnya sekitar 2-5 ml per liter air untuk tanaman besar.
4. **Pupuk Organik Cair:**
 - Dosis untuk pupuk organik cair biasanya berkisar antara 100-300 ml per infus, tergantung pada kebutuhan spesifik tanaman dan bahan aktif yang terkandung dalam pupuk.

Tanaman yang Cocok untuk Pemupukan Infus

Pemupukan infus biasanya diterapkan pada:

1. **Pohon Besar:**

- Pohon buah besar seperti mangga, durian, alpukat, dan jeruk.
- Pohon pelindung atau penghijauan seperti mahoni, trembesi, atau jati yang membutuhkan perawatan intensif.
- Tanaman perkebunan seperti kelapa sawit atau kakao yang berada di tanah suboptimal.

2. **Tanaman Hias Besar:**

Tanaman hias yang bernilai tinggi seperti palem, beringin, atau tanaman bonsai yang membutuhkan nutrisi intensif atau sedang mengalami masalah defisiensi nutrisi.

3. **Tanaman yang Mengalami Stres atau Penyakit:**

Tanaman yang sakit atau mengalami stres akibat kekurangan hara, kerusakan akar, atau kondisi lingkungan yang buruk. Infus dapat membantu mengembalikan kesehatan tanaman secara cepat.

Pemupukan dengan metode infus tanaman adalah cara yang efektif untuk memberikan nutrisi langsung ke dalam jaringan tanaman, terutama untuk tanaman besar atau tanaman yang mengalami defisiensi hara parah. Dengan jenis pupuk yang larut sempurna seperti pupuk cair NPK, pupuk mikro, asam amino, atau pupuk organik cair, tanaman dapat menerima nutrisi dengan cepat dan tepat. Dosis dan frekuensi pemupukan infus harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman untuk mendapatkan hasil yang optimal.

G. **Pemupukan Fertigasi**

Fertigasi adalah teknik pemupukan yang dilakukan bersamaan dengan pengairan, di mana pupuk dilarutkan dalam air dan diberikan langsung ke tanaman melalui sistem irigasi. Teknik ini memadukan dua kegiatan penting, yaitu irigasi dan pemupukan, menjadi satu

proses yang lebih efisien dan hemat sumber daya. Fertigasi sering digunakan dalam budidaya tanaman hortikultura, perkebunan, dan tanaman sayuran, terutama pada lahan dengan sistem irigasi tetes (drip irrigation) atau sprinkler. Fertigasi merupakan pendekatan yang menjanjikan dengan mengintensifkan pemberian nutrisi makro dan mikro esensial yang tepat sasaran dan memadukan teknologi irigasi dengan pemupukan. Fertigasi mempunyai potensi untuk mengurangi kehilangan pupuk, menghemat sumber daya air, dan mendorong praktik pertanian yang berkelanjutan dan bertanggung jawab terhadap lingkungan. Hal ini akan meminimalkan pemborosan nutrisi di lingkungan, dapat mengurangi limpasan dan pencucian nutrisi, yang merupakan penyebab utama pencemaran air dan eutrofikasi (Sarma et al., 2023)

Cara Kerja Fertigasi

1. **Sistem Irigasi:** Fertigasi biasanya diterapkan menggunakan sistem irigasi tetes atau sprinkler. Air yang sudah dicampur dengan pupuk disalurkan melalui pipa dan dilepaskan secara perlahan ke akar tanaman.
2. **Pencampuran Pupuk:** Pupuk yang digunakan harus larut air dan ditambahkan ke dalam tangki pencampur air irigasi. Sistem kontrol otomatis dapat mengatur proporsi campuran pupuk dalam air secara presisi.
3. **Distribusi Nutrisi:** Nutrisi diserap langsung oleh akar tanaman bersama dengan air irigasi. Karena air langsung menuju ke akar, penyerapan nutrisi menjadi lebih efisien dan kehilangan hara karena penguapan atau pencucian dapat dikurangi.
4. **Sistem Kontrol:** Dalam sistem fertigasi canggih, kontrol dilakukan secara otomatis dengan sensor yang memantau kelembaban tanah, kebutuhan hara, dan kondisi cuaca. Hal ini memungkinkan aplikasi pupuk yang tepat waktu dan tepat dosis.

Keunggulan Fertigasi

1. **Efisiensi Penggunaan Pupuk dan Air:** Fertigasi memastikan bahwa pupuk diberikan tepat pada zona akar tanaman, mengurangi pemborosan pupuk dan air. Ini meningkatkan efisiensi penggunaan hara dan mengurangi biaya pemupukan.
2. **Penyebaran Pupuk yang Merata:** Nutrisi tersebar secara merata ke seluruh lahan yang diairi, menghindari masalah kelebihan atau kekurangan pupuk pada area tertentu.
3. **Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi:** Nutrisi diberikan secara berkala bersama irigasi, sehingga tanaman mendapatkan pasokan hara yang stabil. Hal ini mendorong pertumbuhan yang lebih baik dan hasil yang lebih tinggi.
4. **Mengurangi Tenaga Kerja:** Fertigasi menghilangkan kebutuhan akan tenaga kerja manual untuk pemupukan, terutama pada lahan yang luas.
5. **Mengurangi Dampak Lingkungan:** Dengan meminimalkan pencucian pupuk ke dalam tanah atau air tanah, fertigasi membantu mengurangi polusi hara yang dapat mencemari lingkungan.

Jenis Pupuk yang Digunakan dalam Fertigasi

Pupuk yang digunakan dalam fertigasi harus memiliki kelarutan yang tinggi agar mudah dicampur dengan air dan tidak menyumbat sistem irigasi. Berikut adalah beberapa jenis pupuk yang umum digunakan:

1. **Pupuk NPK Larut Air:**
NPK (Nitrogen, Fosfor, Kalium) dalam bentuk larut air sangat ideal untuk fertigasi. Rasio NPK dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman pada tahap pertumbuhan tertentu, misalnya NPK 20-20-20 atau 10-30-10 untuk fase berbunga.

2. **Pupuk Mikro:**

Pupuk yang mengandung unsur mikro seperti seng (Zn), boron (B), besi (Fe), tembaga (Cu), dan mangan (Mn) sering dicampurkan dalam larutan fertigasi untuk mengatasi defisiensi hara mikro.

3. **Kalsium Nitrat:**

Sumber kalsium (Ca) dan nitrogen (N) yang mudah larut, sering digunakan untuk memperbaiki kualitas buah dan mencegah masalah fisiologis seperti ujung buah busuk pada tomat.

4. **Kalium Sulfat:**

Sumber kalium (K) yang baik tanpa tambahan klorin (Cl), cocok untuk tanaman yang sensitif terhadap klorin, seperti kentang atau stroberi.

5. **Pupuk Organik Cair:**

Pupuk organik cair seperti ekstrak rumput laut, humic acid, atau kompos cair juga dapat digunakan dalam sistem fertigasi untuk meningkatkan kesehatan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara alami.

Dosis Pupuk dalam Fertigasi

Dosis pupuk yang digunakan dalam fertigasi tergantung pada beberapa faktor seperti jenis tanaman, tahap pertumbuhan, jenis pupuk, dan kondisi tanah. Beberapa panduan umum untuk dosis pupuk dalam fertigasi:

1. **Fertigasi untuk Sayuran dan Tanaman Hortikultura:**

Misalnya, untuk tanaman tomat atau paprika, pemberian NPK larut air dengan rasio 15-15-15 dapat dilakukan dengan dosis sekitar 200-300 ppm (part per million) dalam larutan irigasi.

Frekuensi pemberian dapat dilakukan setiap minggu atau sesuai kebutuhan tanaman.

2. **Fertigasi untuk Tanaman Perkebunan:**

Untuk tanaman seperti kelapa sawit atau karet, dosis pupuk nitrogen (N) dan kalium (K) yang lebih tinggi diperlukan, sering kali dalam kisaran 300-500 ppm.

3. **Fertigasi pada Buah-Buahan:**

Tanaman buah seperti stroberi atau melon mungkin membutuhkan tambahan kalsium nitrat atau kalium sulfat dengan dosis sekitar 150-250 ppm, terutama pada fase pembentukan buah.

Dosis ini dapat disesuaikan berdasarkan uji tanah dan kebutuhan hara spesifik tanaman.

Jenis Tanaman yang Cocok untuk Fertigasi

Fertigasi sangat cocok untuk tanaman yang membutuhkan pemupukan teratur dan intensif, terutama tanaman dengan nilai ekonomi tinggi. Beberapa tanaman yang sering menggunakan teknik fertigasi meliputi:

1. **Tanaman Hortikultura:**

Sayuran seperti tomat, cabai, paprika, selada, brokoli, dan mentimun sangat diuntungkan dari fertigasi, karena mereka membutuhkan pasokan nutrisi yang stabil dan reguler.

2. **Tanaman Buah:**

Tanaman buah seperti stroberi, melon, semangka, dan anggur memanfaatkan fertigasi untuk memastikan nutrisi tersedia selama tahap pertumbuhan, berbunga, dan pematangan.

3. **Tanaman Perkebunan:**

Tanaman seperti kelapa sawit, kopi, kakao, dan teh, terutama yang dibudidayakan di lahan besar, juga menggunakan sistem fertigasi untuk meningkatkan efisiensi pemupukan dan irigasi.

4. **Tanaman Hias:**

Fertigasi juga diterapkan pada tanaman hias komersial seperti mawar, anggrek, dan kaktus untuk menjaga kualitas bunga dan pertumbuhan tanaman yang optimal.

Fertigasi adalah metode pemupukan modern yang memberikan pupuk bersamaan dengan pengairan, menghasilkan efisiensi tinggi dalam penggunaan air dan pupuk. Dengan penggunaan sistem irigasi tetes atau sprinkler, pupuk cair atau larut air dapat diserap langsung oleh akar tanaman secara merata. Teknik ini cocok untuk tanaman hortikultura, buah, dan tanaman perkebunan dengan nilai ekonomi tinggi. Fertigasi memungkinkan dosis pupuk yang lebih tepat dan distribusi yang merata, sehingga meningkatkan produktivitas tanaman dan mengurangi dampak lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustami Sitorus. (2018). Penggunaan Metode Pemupukan Awal Broadcast Incorporated Menggunakan Mesin Tanam Terintegrasi Dan Pengaruhnya Pada Fase Awal Pertumbuhan Tanaman Jagung. *Rona Teknik Pertanian*, Volume 11(2) Oktober 2018, 11(2), 57–66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gde.2016.09.008><http://dx.doi.org/10.1007/s00412-015-0543-8><http://dx.doi.org/10.1038/nature08473><http://dx.doi.org/10.1016/j.jmb.2009.01.007><http://dx.doi.org/10.1016/j.jmb.2012.10.008><http://dx.doi.org/10.1038/s4159>
- Endang, K., & Bayu, A. (2019). *Teknologi Pemupukan Ramah Lingkungan*.
- Fisher, P. J. & Hill, R. L. (2012). *Foliar Fertilization in Crop Production*. In *Advances in Agronomy*. Academic Press.
- Irmawati, I., Priadi, D., Marlina, M., Sodikin, E., Ria, M., & Amelia, C. (2022). Aplikasi pupuk NPK melalui sistem infus akar pada tanaman karet (*Hevea brasiliensis*). *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal Ke-10 Tahun 2022, Palembang 27 Oktober 2022 “Revitalisasi Sumber Pangan Nabati Dan Hewani Pascapandemi Dalam Mendukung Pertanian Lahan Suboptimal Secara Berkelanjutan,”* 1, 793–799.
- Khalida, R., & Lontoh, A. P. (2019). Manajemen Pemupukan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.), Studi Kasus pada Kebun Sungai Sagu, Riau. *Buletin Agrohorti*, 7(2), 238–245. <https://doi.org/10.29244/agrob.7.2.238-245>
- Kumulontang, W. J. N., Purwanto, Y. J., Widiatmaka, Paat, F. J., & Nangoi, R. (2022). Metode dan Rekomendasi Pemupukan. *June*, 1–69.
- Kumar, V. & Dutta, S. K. (2019). Foliar Application of Nutrients: An Effective Approach to Enhance Nutrient Uptake in Crops. *Indian Journal of Fertilizers*, 15(2), 52-60.

- Mahardika, S. P. (2023). Metode Efektif Pembuatan Pupuk AHA (Aplikatif, Hemat, dan Anti Polusi) Dalam Meningkatkan Kualitas Hasil Pertanian. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 29(2), 1–5. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2023.29.2.1>
- Makmur, M., & Zainuddin, D. U. (2020). Pengaruh Berbagai Metode Aplikasi Pupuk Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *AGROVITAL: Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v5i1.631>
- Marschner, H. (2011). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
- Rachmawati, R. R. (2021). Smart Farming 4.0 Untuk Mewujudkan Pertanian Indonesia Maju, Mandiri, Dan Modern. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 38(2), 137. <https://doi.org/10.21082/fae.v38n2.2020.137-154>
- Rafii, A. K., & Pribadi, D. U. (2023). Dampak Penggunaan Pupuk Hayati dengan Variasi Waktu Pemberian dan Konsentrasi Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Cabai Rawit. *AGRIUM: Jurnal Ilmu Pertanian*, 26(2), 111–120. <https://doi.org/10.30596/agrium.v26i2.14999>
- Sarma, H. H., Paul, A., Kakoti, M., & Talukdar, N. (2023). Fertigation: A Modern Approach for Enhancing Nutrient use Efficiency. *Fertigation: A Modern Approach for Enhancing Nutrient Use Efficiency*, September, 111–126. www.researchgate.net/publication/374060354_Fertigation_A_Modern_Approach_for_Enhancing_Nutrient_use_Efficiency

PROFIL PENULIS



Gelvin Iqbal Pradhipta, S.P. MM. Penulis lahir 32 tahun yang lalu di kota Blitar di Jawa Timur. Setelah menyelesaikan kuliah S-1 di Fakultas Pertanian Universitas Palangkaraya Jurusan Ilmu Tanah di tahun 2018 meniti karier sebagai staf administrasi pada PT. Sarana Prima Multi Niaga sebuah Perusahaan

Perkebunan Kelapa Sawit, Manajemen Legal pada PT Sarana Prima Multi Niaga Palangkaraya, Kalimantan Tengah, Indonesia, Manajer Kebun pada PT. KSO Capitol Casagro Sinarmas Halmahera Utara, Indonesia , Field Inspection pada PT Corteva Agriscience Malang hingga sekarang. Penulis menyelesaikan pendidikan Magister Manajemen di Universitas Islam Malang pada 2024. Menulis buku tentang Manajemen Perubahan yang diterbitkan oleh Penerbit Laekesha Yogyakarta tahun 2023, Dasar Ilmu Tanah (2024). Menulis artikel ilmiah berjudul Analisis Riset Pasar Pada usaha menengah ke atas (UMKM) di Indonesia pada Journal of Economics, Business, and Accountancy Ventura 18 Mei 2023, Artikel karakteristik Gambut kawasan Hidrologis kahayan Sebangau Pada Sifat Biologi dan Gugus Fungsionalnya pada Jurnal Viabel Pertanian Vol. 17 No. 1 Mei 2023



DASAR PERTIMBANGAN PEMUPUKAN

Juharni

Universitas Lambung Mangkurat

Tanah merupakan salah satu media tumbuh bagi tanaman yang dapat menyediakan unsur hara. Namun, tidak semua unsur hara dapat disediakan oleh tanah. Unsur hara yang tidak dapat disediakan tersebut dapat dicukupi dengan melakukan pemberian pupuk. Pupuk berkaitan erat dengan pemupukan. Pemupukan merupakan suatu cara pengaplikasian pupuk atau unsur hara pada tanah, dengan tujuan agar unsur hara dapat diserap oleh tanaman (unsur hara merupakan makanan bagi tanaman).

Pupuk adalah suatu bahan yang mengandung satu atau lebih nutrisi atau unsur hara bagi tanaman untuk menyokong pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pupuk yang diberikan ke dalam tanah bertujuan untuk menyediakan unsur hara yang dibutuhkan bagi tanaman, baik berupa unsur hara makro maupun mikro. Pemberian pupuk ini dapat memberikan pertumbuhan dan produktivitas yang maksimal bagi tanaman.

Pemupukan merupakan salah satu cara yang digunakan dalam meningkatkan hasil produksi tanaman. Pemupukan yang dilakukan secara tepat merupakan salah satu upaya penting untuk meningkatkan produksi pertanian. Pemberian pupuk dimaksudkan untuk memelihara dan memperbaiki kesuburan tanah dengan memberikan unsur hara atau zat hara ke dalam tanah, baik itu unsur hara makro maupun mikro, dalam bentuk cair maupun padat, dengan tujuan untuk meningkatkan hasil produksi pertanian.

Pemberian pupuk yang dilakukan harus didasarkan pada beberapa pertimbangan agar dapat memenuhi kebutuhan unsur hara bagi tanaman. Dasar pertimbangan pemupukan, yaitu kehilangan hara tanah, tanaman yang akan dipupuk, dan jenis tanah. Selain hal tersebut, yang juga perlu dipertimbangkan adalah jenis pupuk, dosis pupuk yang akan diberikan, waktu pemupukan, dan cara pemupukan.

1. Kehilangan Hara

Kehilangan hara dapat disebabkan oleh pencucian, erosi, terangkut bersama hasil panen, *run off* dan penguapan. Erosi merupakan suatu proses hilangnya atau terkikisnya lapisan tanah akibat adanya energi kinetik hujan yang menyebabkan terdispersinya partikel-partikel tanah.

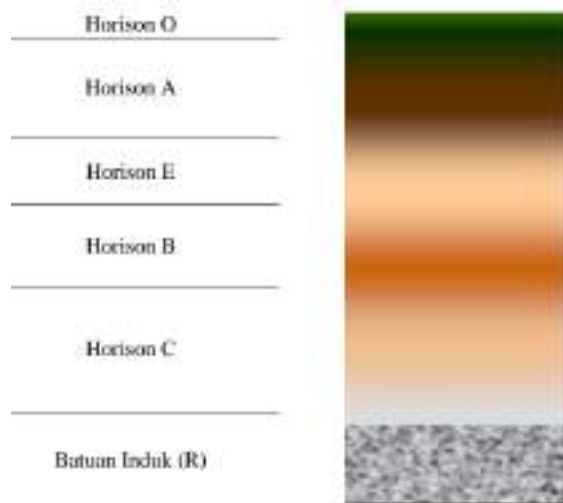
Erosi pada dasarnya terjadi akibat interaksi kerja antara faktor-faktor iklim, vegetasi, topografi, tanah dan manusia (Arsyad, 2010). Banuwa (2013) menyatakan bahwa erosi dapat menyebabkan hilangnya lapisan atas tanah yang subur dan baik untuk pertumbuhan tanaman, serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air. Kondisi hilangnya lapisan tanah atas ini, menyebabkan tanah menjadi miskin unsur hara, karena unsur hara banyak terdapat pada lapisan atas tanah, khususnya unsur hara, N, P dan K yang merupakan pupuk dasar yang dapat menyuburkan tanaman.

Erosi yang terjadi pada suatu lahan akan mengangkut tanah dan menghasilkan sedimen. Konsentrasi unsur hara di dalam sedimen dapat mencapai 50% lebih tinggi daripada

konsentrasinya pada tanah asal (Wischmeier dan Smith, 1978 dalam Banuwa, 2013).

Jumlah hara yang terangkut oleh tanaman setelah panen ditentukan oleh produktivitas tanaman. Kehilangan hara bervariasi, tergantung pada hasil panen, sifat genetika tanaman, tingkat kesuburan tanah dan sebagainya. Pada dasarnya tanah memiliki seluruh unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman, tetapi jumlahnya terbatas. Selain itu, unsur hara yang terdapat dalam tanah tidak dalam bentuk tersedia dan dapat diserap oleh tanaman.

Kehilangan hara pada musim hujan akan lebih tinggi terjadinya erosi tanah yang terbawa aliran permukaan tanah, karena air turun dalam jumlah banyak, sehingga areal sekitar pertanaman mengalami kehilangan air dan hara dengan cepat. Akibatnya sifat fisik dan kimia tanah mengalami penurunan karena hilangnya lapisan atas tanah yang kaya akan unsur hara dan bahan organik. Lapisan atas tanah yang dikenal sebagai lapisan horison O, mengandung kadar bahan organik tinggi sedangkan fraksi mineralnya sangat sedikit, kemudian lapisan berikutnya dikenal dengan horison A adalah horison mineral yang terdapat dibawah Horison O. Horison A terbentuk akibat akumulasi bahan organik halus yang telah melapuk dan bercampur dengan bahan mineral tanah, serta banyak dijumpai perakaran kasar, halus dan sedang (Gambar 1) (Fiantis, 2007). Pada gambar dapat dilihat bahwa lapisan atas tanah merupakan lapisan yang banyak mengandung bahan organik. Kehilangan hara melalui proses aliran permukaan dan erosi yang terbawa dari lahan pertanian, adalah penyebab utama dari degradasi lahan pertanian, khususnya pada manajemen lahan yang konvensional dan lereng berbukit (Arsyad, 2010; Bertol et al., 2003).



Gambar 1. Susunan horison utama pada suatu profil tanah
(Sumber: Fiantis, 2007)





2. Tanaman yang akan dipupuk

Jenis tanaman yang akan dipupuk menjadi salah satu pertimbangan dalam pemupukan, sebab setiap tanaman memiliki kebutuhan nutrisi atau unsur hara yang berbeda sehingga memiliki hasil produksi yang maksimal, baik dari kuantitasnya maupun dari kualitasnya. Nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman terdiri dari unsur hara makro (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S) dan unsur hara mikro (Fe, Mn, Cu, Zn, Cl, Mo). Dari beberapa unsur hara tersebut, unsur hara utama yang dibutuhkan oleh tanaman adalah unsur hara nitrogen, fosfor dan kalium. Jika salah satu dari ketiga unsur tersebut tidak tersedia untuk tanaman, atau kebutuhannya tidak sesuai jumlahnya dengan jenis tanaman yang sedang dibudidayakan, maka pertumbuhan dan perkembangannya akan terganggu sehingga hasil panen tidak maksimal dan kualitasnya akan berkurang.

Unsur hara utama yang menjadi penunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman seperti nitrogen, fosfor dan kalium memiliki fungsi yang berbeda dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Unsur hara nitrogen (N) berfungsi sebagai perangsang pertumbuhan akar dan penyerapan nutrisi atau unsur hara lainnya, serta pertumbuhan daun. Jika tanaman kekurangan unsur hara nitrogen maka warna daun akan kekuningan, jumlah klorofil berkurang, tanaman kerdil dan batang tipis dan kurus. Nitrogen ini berfungsi untuk meningkatkan pertumbuhan vegetatif, sehingga daun tanaman menjadi lebih lebar, berwarna lebih hijau dan lebih berkualitas (Wahyudi, 2010).

Fungsi penting fosfor dalam tanaman yaitu dalam proses fotosintesis, respirasi, transfer dan penyimpanan energi, pembelahan dan pembesaran sel serta proses-proses di dalam tanaman lainnya dan membantu mempercepat perkembangan akar dan perkecambahan. Selain itu kegunaan Fosfor lainnya adalah dalam memperkuat batang tanaman, pembungaan, pemasakan buah dan produksi benih. Tanaman yang kekurangan unsur fosfor biasanya proses pembungaan dan pembuahannya tertunda serta pada bagian daun dan batangnya berwarna keunguan.

Fungsi unsur hara kalium bagi tanaman yaitu diperlukan dalam berbagai fungsi fisiologis, termasuk didalamnya adalah metabolisme karbohidrat, aktivitas enzim, regulasi osmotik, efisiensi penggunaan air, serapan unsur nitrogen, sintesa protein dan translokasi asimilat. Sebagai contoh, gejala kekurangan unsur hara N, P, dan K dapat dilihat pada Gambar 2.

Variable	Kriteria	Citra	Ciri-ciri
K (-NP)	Kekurangan Nitrogen dan Fosfor		Terlihat sedikit pucat dan sedikit menguning
N (-PK)	Kekurangan Fosfor dan Kalium		terlihat sangat menguning
NPK	Normal		daun terlihat gelap
P (-NK)	Kekurangan Nitrogen dan Kalium		daun terlihat hijau pucat dan sedikit terlihat terbakar

Gambar 2. Kekurangan unsur hara pada tanaman cabai (Sumber: Qurania, 2023)

3. Jenis Tanah yang akan dipupuk

Tanah sebagai penyedia unsur hara dan air bagi tanaman merupakan salah satu faktor yang mendukung dalam pertumbuhan tanaman disamping faktor fisik, kimia serta biologi tanah. Kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara sangat ditentukan oleh kualitas dan jumlah bahan organik dalam mengikat partikel-partikel tanah (Hardjowigeno, 1987).

Tanah merupakan salah satu media tumbuh bagi tanaman, penyedia unsur hara dan air serta sebagai penopang akar. Tanah terdiri dari beberapa jenis dan memiliki tingkat kesuburan yang berbeda-beda. Jenis tanah tersebut memiliki sifat fisik, kimia dan biologi yang berbeda-beda sehingga memiliki kandungan unsur hara yang berbeda-beda pula. Sebagai contoh jenis tanah Podsolik Merah Kuning, yang merupakan tanah sangat tercuci

yang berwarna abu-abu muda sampai kekuningan pada horison permukaan sedang lapisan bawah berwarna merah atau kuning dengan kadar bahan organik dan kejenuhan basa yang rendah serta reaksi tanah yang masam sampai sangat masam (pH 4.2 – 4.8). Jika mengetahui jenis tanah tersebut, maka kita bisa mengetahui pemupukan yang harus dilakukan, unsur hara yang kurang dari jenis tanah tersebut, dan bagaimana cara pengaplikasiannya. Didalam kesuburan tanah pupuk sangat berperan penting untuk menyuburkan tanah dan memperbaiki sifat-sifat tanah.

4. Jenis Pupuk

Jenis pupuk yang akan diaplikasikan pada tanaman harus memperhatikan jenis tanaman yang akan dibudidayakan. Sebab setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan unsur hara yang berbeda-beda. Selain itu, jenis pupuk juga ditentukan oleh sifat pupuk, sifat tanah, harga pupuk, dan kebutuhan pupuk per satuan luas.

Jenis pupuk yang dibutuhkan oleh tanaman sangat tergantung pada kandungan unsur hara yang terdapat dalam pupuk tersebut. Beberapa jenis pupuk diantaranya pupuk yang menjadi sumber nitrogen, sumber kalium, sumber fosfor, sumber unsur hara tunggal, sumber unsur hara majemuk, sumber unsur hara makro dan sumber unsur hara mikro. Sebagai contoh, dalam beberapa jenis tanaman ada yang banyak membutuhkan unsur hara nitrogen, sementara tanaman lainnya banyak membutuhkan unsur hara makro dan unsur hara mikro. Berdasarkan kebutuhan tersebut, maka dapat dipilih jenis pupuk yang mengandung sumber nitrogen, jenis pupuk yang mengandung sumber unsur hara makro dan unsur hara mikro. Contoh lainnya yaitu penggunaan pupuk nitrogen (N) seperti urea dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman padi, sedangkan pupuk fosfor

(P) seperti Ponska dapat meningkatkan pembentukan bunga dan buah.

Pengaplikasian jenis pupuk selain dipengaruhi hal-hal di atas, juga perlu memperhatikan apakah produk yang digunakan sesuai dengan SNI dan memperhatikan antara karakterisasi tanah dan bahan produk yang sesuai untuk digunakan pada tanah tersebut. Sebagai contoh, jika tanahnya merupakan tanah yang masam maka sebaiknya direkomendasikan pengaplikasian pupuk Fosfat (P).

5. Dosis Pupuk yang diberikan

Pupuk yang diberikan pada tanaman dapat memberikan pengaruh pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dalam pemberian pupuk selain jenis pupuk, yang perlu ditentukan selanjutnya adalah dosis pupuk. Jenis pupuk yang tepat, namun dengan dosis yang tidak tepat tidak memberikan pengaruh yang maksimal pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman, sehingga dalam pemupukan diperlukan dosis yang tepat.

Pemberian pupuk dengan dosis yang tepat dapat memberikan pengaruh yang positif, namun jika dosis tidak sesuai dapat memberikan pengaruh yang negatif atau dapat diartikan dapat mendorong pertumbuhan dan perkembangan tanaman, tetapi dapat pula mengganggu pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Sebagai contoh Pemberian nitrogen pada dosis yang tepat akan meningkatkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan metabolisme tanaman, pembentukan protein, karbohidrat, akibatnya pertumbuhan dan produksi tanaman meningkat (Lakitan, 2008). Novizan (2002) menyatakan bahwa unsur hara yang dikandung dalam pupuk Urea sangat besar kegunaannya bagi tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan, antara lain: (1) membuat tanaman lebih hijau segar dan banyak mengandung butir hijau daun (Chlorophyll) yang mempunyai

peranan dalam proses fotosintesis, (2) mempercepat pertumbuhan tanaman (tinggi, jumlah daun, anakan, cabang dan lain-lain), (3) menambah kandungan protein tanaman, (4) dapat dipakai untuk semua jenis tanaman baik tanaman pangan, hortikultura, tanaman perkebunan, usaha peternakan dan usaha perikanan.

Dosis yang tepat dilakukan agar pemberian pupuk sesuai dengan dosis yang dibutuhkan tanaman. Tujuannya adalah agar dosis yang diberikan ke tanaman memiliki dosis yang sesuai dengan kebutuhannya atau dengan kata lain tidak kekurangan dan tidak kelebihan. Apabila pupuk yang digunakan tidak tepat dosis, maka nutrisi yang berlebih akan terbawa oleh air hingga ke sungai atau danau dan dapat menyebabkan eutrofikasi. Selain itu, apabila penggunaan dosis pupuk yang terlalu berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur tanah dan mengurangi ketersediaan nutrisi alami yang berada di tanah. Adapun dalam menentukan dosis pupuk yang ideal adalah dengan memperhatikan jenis tanaman yang dibudidayakan, kondisi tanah, dan jenis pupuk yang digunakan.

6. Waktu Pemupukan

Pemberian pupuk perlu memperhatikan waktu pelaksanaan pemupukan, karena jika tidak dilakukan pada waktu yang tepat maka pupuk yang diberikan tidak dapat diserap oleh tanaman dan tidak dapat tersedia di dalam tanah. Hal ini juga berkaitan erat dengan jenis pemupukan yang dilakukan. Jika menggunakan pupuk organik, maka waktu pemupukan sebaiknya dilakukan 7 hari sampai 14 hari sebelum penanaman. Hal ini dilakukan agar pupuk tersebut sudah terdekomposisi dalam tanah sehingga sudah tersedia dalam tanah dan dapat diserap oleh tanaman. Sedangkan jika menggunakan pupuk anorganik, maka bisa dilakukan saat penanaman karena jika tidak maka pupuk yang diberikan akan mengalami penguapan dan tidak diserap oleh tanaman.

Pemberian pupuk dapat dilakukan pada saat sebelum tanam, bersamaan saat tanam, pemupukan pada masa pertumbuhan vegetatif, dan pemupukan pada masa pembungaan. Pelaksanaan pemupukan dengan waktu yang berbeda ini memiliki peran yang berbeda dalam memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman pada setiap fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Misal pada awal pertumbuhan tanaman banyak membutuhkan unsur hara nitrogen kemudian pada saat perkembangan menuju pembungaan tanaman membutuhkan unsur hara fosfor dan kalium. Diketahui bahwa Unsur fosfor (P) yang berperan penting dalam transfer energi di dalam sel tanaman, mendorong perkembangan akar dan penguatan batang lebih awal, memperkuat batang sehingga tidak mudah rebah, serta meningkatkan serapan N pada awal pertumbuhan. Unsur kalium (K) juga sangat berperan dalam pertumbuhan tanaman misalnya untuk memacu translokasi karbohidrat dari daun ke organ tanaman.

7. Cara Pemupukan

Cara pemupukan memberikan pengaruh pada penyerapan unsur hara ke tanaman dan tersedianya unsur hara dalam tanah. Pemupukan dapat dilakukan melalui akar tanaman atau melalui daun tanaman. Pemupukan melalui akar tanaman terdiri dari:

a. Disebar (*broadcasting*)

Pemupukan dilakukan dengan cara menyebar pupuk secara merata pada tanah-tanah di sekitar pertanaman, dilakukan jika apabila jarak tanam rapat dan teratur dalam barisan. Selain itu cara ini cocok dilakukan untuk tanaman yang mempunyai akar dangkal, tanah cukup subur, dan dosis tinggi atau takaran pemupukan yang banyak. Cara ini dapat pula dilakukan pada waktu pengolahan lahan dengan memberikan pupuk kandang sebelum tanam pada area tanam. Pemupukan dengan cara ini biasanya dilakukan minimal 7 hari sebelum tanam, kemudian tanah dibolak balik

agar pupuk masuk ke dalam tanah. Cara pemupukan ini biasanya digunakan untuk memupuk tanaman padi, kacang-kacangan dan lain-lain yang mempunyai jarak tanam rapat.

b. Larikan atau Barisan (*ring placement*)

Pemupukan dilakukan dengan cara menaburkan pupuk diantara larikan tanaman. Larikan bisa dibuat memanjang atau melingkari tanaman. Pupuk bisa ditaburkan melingkari tanaman dengan jarak tegak lurus dengan daun terjauh (tajuk daun). Cara ini dilakukan dengan beberapa pertimbangan, yaitu pupuk yang digunakan relatif sedikit, jarak tanam antartanaman yang dipupuk cukup jarang dan jarak antara barisan pertanaman cukup jarang, tanaman dengan perkembangan akar yang sedikit, dan untuk tanah tegalan atau darat.

c. Lubang (*spot placement*)

Pemupukan ini dilakukan dengan cara membenamkan pupuk ke dalam lubang di samping tanaman sedalam kurang lebih 5 - 10 cm dan ditutup dengan tanah.

Menurut Setyamidjaya (1986) dalam Jumini et al. (2011) pemupukan dapat dilakukan dengan beberapa cara; 1. Disebar yaitu pupuk disebar di permukaan tanah pada saat pengolahan tanah terakhir atau sehari sebelum tanam, 2. Ditempatkan dalam larikan yang dibuat di antara barisan tanaman, 3. Ditempatkan dalam lubang yang dibuat di samping tanaman, 4. Disemprot melalui daun. Cara pemupukan harus disesuaikan dengan jenis pupuk, sebab pupuk anorganik banyak mengandung bahan kimia, kesalahan cara pemupukan akan berakibat kurang baik bagi tanah dan tanaman.

Cara pemupukan merupakan salah satu hal yang penting untuk diperhatikan. Cara pemupukan yang tepat yang dilakukan adalah cara penempatan pupuk agar tanaman dapat mengkonsumsi unsur hara secara efisien (Imbiri et al., 2021). Pemupukan dengan cara yang tepat dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman (Masnang

& Dyah Budibruri Wibaningwati, 2023; Masnang, 2022). Beberapa cara pemupukan yang umum digunakan yaitu: Broadcast (disebar), Sideband (disamping tanaman), In the row (dalam larikan), Top atau side dressed, Foliar application, Fertigation. Setiap tanaman memiliki preferensi dan respons yang berbeda terhadap cara pemupukan tertentu (Faamatuainu, 2018; Hatfield, 2018) . Oleh karena itu penting untuk memahami kebutuhan unsur hara tanaman dan kondisi pertanian secara keseluruhan sebelum memutuskan menggunakan cara pemupukan.

Gambar 3. Cara Pemupukan (Sumber: Permana et al., 2022)



3a



3b.

Keterangan: 3a = Cara pemupukan sideband,

3b = cara pemupukan top atau side dressed

Pemupukan melalui daun tanaman (*spraying*) dilakukan dengan cara melarutkan melarutkan pupuk dalam air sesuai dengan konsentrasi yang dibutuhkan kemudian disemprotkan langsung pada daun dengan alat penyemprot biasa (hand sprayer). Pemberian pupuk daun bisa dilakukan bersamaan dengan pemberian pestisida jika dianggap perlu atau bersamaan dengan zat perangsang.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam melakukan pemupukan melalui daun:

- a. Konsentrasi larutan pupuk yang dibuat harus mengikuti petunjuk dalam kemasan pupuk. Jika konsentrasinya lebih rendah dari anjuran maka untuk mengimbangnya bisa memperbanyak frekuensi pemupukan, misalnya dari setiap 10 hari bisa dipercepat jadi seminggu sekali.

- b. Pupuk daun disemprotkan ke bagian daun yang menghadap ke bawah karena mulut daun (*stomata*) umumnya menghadap ke bawah atau bagian punggung daun
 - c. Pupuk hendaknya disemprotkan ketika matahari tidak sedang terik-teriknya. Paling ideal dilakukan sore atau pagi
 - d. Penyemprotan pupuk daun tidak dilakukan pada saat hujan, karena beresiko pupuk daun akan habis tercuci oleh air hujan.
- Beberapa hal yang harus dihindari dalam melakukan penyemprotan daun tanaman:
- a. Pada saat tunas telah muncul, penyemprotan dihentikan sebab tunas muda ini amat peka terhadap pupuk, apalagi kalau dosisnya melebihi dari yang dianjurkan.
 - b. Pada saat bunga mulai mekar, penyemprotan harus dihentikan agar bunga bakal buah tidak rontok (keguguran).
 - c. Satu lagi tanaman yang tidak bisa disemprot pupuk daun ialah tanaman yang baru dipindah ke lapangan karena tanaman itu masih terhitung masih muda dan lemas.



Gambar 4. Cara pemupukan melalui daun
(Sumber:Permana et al. 2022)

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah Dan Air*. Edisi Kedua. IPB Press. Bogor.
- Banuwa, I. S. 2013. *Erosi*. Kencana Prenadamedia Group. Jakarta.
- Bertol, I., E.L. Mello, J.C. Guadagnin, A.L.V. Zapparoli and M.R. Carrafa. 2003. Nutrient losses by water erosion. *Sci. Agric.*, 60:581-586.
- Djaenuddin, D, H. Marwan, H. Subagyo, A, Mulyani, N. Suharta. 2003. Kriteria kesesuaian lahan untuk komoditas Pertanian. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan pengembangan Pertanian. Bogor.
- Faamatuainu, W. 2018. Growth, Development, and Yield of Taro Plants Treated with Controlled and Fast Release Nitrogen Fertilizers. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 1(1). <https://doi.org/10.2134/age2018.04.0010>
- Fiantis, D. 2007. *Buku Ajar Morfologi dan Klasifikasi Tanah*. LPTIK Universitas Andalas. Padang.
- Hardjowigeno, S. 1987. *Ilmu Tanah*. Mediyatama sarana perkasa. Jakarta.
- Hatfield, J. L. (2018). Withdrawn: Growth, Development, and Yield of Taro Plants Treated with Controlled and Fast Release Nitrogen Fertilizers. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 1(1). <https://doi.org/10.2134/age2018.04.0010w>
- Imbiri, K., Jannah, A., & Masnang, A. 2021. Respon Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Pada Beberapa Media Tumbuh Organik. *Agrisintech (Journal of Agribusiness and Agrotechnology)*, 2(1). <https://doi.org/10.31938/agrisintech.v2i1.310>
- Jumini, Nurhayati, & Murzani. 2011. Efek Kombinasi Dosis Pupuk N P K Dan Cara Pemupukan Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jagung Manis. *Jurnal Floratek* 2011. Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian. Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh

- Lakitan, B. 2008. Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Masnang, A., Jannah, A., Wibaningwati, D. B., Nurilmala, F., & Nurhayati, L. 2022. Placement Precision of Organic Fertilizer Based on Soil Conservation in Taro Cultivation. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 11(3),396. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v11i3.396-404>
- Novizan. 2002. Pupuk Pemupukan Yang Efektif. Agromedia. Jakarta.
- Qurania, A., L. Karlitasari, S. Maryana, C. Sudrajat, & Zolla. Identifikasi Defisiensi Unsur Hara Pada Tanaman Cabai Menggunakan Support Vector Machine. *J-ICON*, Vol. 11 No. 1, Maret 2023, pp. 62-67
- Permana, I., O. Anggoro, D. Carsidi, S. Alam, N. Kitti, Y. M. Killa, W. A. Wida, R. Putra, C. Mutiara, A. Masnang, Z. Wirda, & R. Elizabeth. 2022. Kesuburan Tanah dan Pemupukan. Get Press Indonesia. Padang
- Setyamidjaja, D. 1986. Pupuk dan Pemupukan. CV. Simplex. Jakarta.
- Wahyudi. 2010. Petunjuk Praktis Bertanam Sayuran. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Winarso, S. 2005. Kesuburan Tanah. Gava Media. Yogyakarta.
- Wischmeier, W.H.& Smith DD. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses : A Guide to Conservation Planning, USDA Agriculture. Handbook No. 37.

PROFIL PENULIS



Juharni, S.P., M.Si., lahir pada tahun 1994 di Desa Lahontohe, Kecamatan Tongkuno, Muna, Sulawesi Tenggara. Saat SMA, penulis aktif dalam kegiatan akademik dan non-akademik (mengikuti olimpiade tingkat kecamatan dan mengikuti cerdas cermat MTQ tingkat kecamatan dan mendapatkan juara III). Penulis melanjutkan kuliah di Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo pada tahun 2012. Selama kuliah, penulis aktif dalam kegiatan organisasi kampus seperti Himpunan Mahasiswa Agronomi dan Mahasiswa Pecinta Mushalah, serta menjadi asisten praktikum pada berbagai mata kuliah diantara Botani, Statistika Pertanian, dan Rancangan Percobaan. Setelah lulus dari Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo, penulis melanjutkan studi Magister Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman di IPB University pada tahun 2017. Setelah menyelesaikan pendidikan magister, penulis mulai menjadi mentor di salah satu Internasional Islamic Private Homeschooling di Makassar. Pada tahun 2022, penulis diterima sebagai Dosen Program Studi Agronomi di Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat. Sebagai seorang dosen, penulis mengampu berbagai mata kuliah seperti Matematika, Kesuburan dan Nutrisi Tanaman, Genetika Tanaman, Pengantar Ilmu Pertanian, Statistika Pertanian, Rancangan Percobaan, Dasar-Dasar Agronomi, dan Pemuliaan Tanaman. Penulis telah memiliki 4 artikel ilmiah yang tercatat dalam Google Scholar.



DINAMIKA PUPUK DALAM TANAH

La Mudi

Politani Samarinda

6.1 Deskripsi Singkat

Hara pada tanaman umumnya diperoleh dari pupuk atau pemupukan. Organ yang banyak membantu dalam penyerapan hara dalam tanah yaitu akar tanaman. Kemampuan tanaman dalam menyerap hara sangat ditentukan oleh banyaknya rambut akar yang terbentuk. Semakin banyak jumlah rambut akar yang terbentuk maka kemampuan akan penyerapan hara semakin tinggi, begitu pula sebaliknya semakin sedikit jumlah rambut akar yang terbentuk maka akan semakin sedikit pula jumlah unsur hara yang akan diserap tanaman. Selain faktor tanaman, jenis pupuk dan jenis tanah juga menentukan dalam penyerapan hara oleh tanaman. Dinamika pupuk dalam tanah merujuk pada pergerakan, perubahan, dan interaksi antara pupuk dan tanah yang mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Pupuk yang diberikan ke tanah dapat mengalami berbagai proses yang mempengaruhi efektivitasnya, seperti pelarutan, adsorpsi, perubahan kimia, dan pergerakan dalam profil tanah.

6.2 Tujuan Pembelajaran

Tujuan pembelajaran pada materi ini yaitu untuk memberikan pemahaman terhadap mahasiswa akan dinamika pergerakan pupuk dalam tanah dan pengaruhnya terhadap tanaman.

6.3 Aspek Penting Dinamika Pupuk dalam Tanah

Aspek penting dalam dinamika pupuk dalam tanah meliputi:

1. Pelarutan Pupuk

Pelarutan pupuk dalam tanah, baik dalam bentuk padat maupun cair harus mengalami pelarutan dalam air agar unsur hara yang terkandung di dalamnya dapat diserap oleh akar tanaman. Proses pelarutan hara tersebut tergantung pada sifat kimia pupuk, suhu tanah, dan pH tanah (Massah & Azadegan, 2016). Pupuk yang mengandung unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium harus larut dalam air agar bisa dipindahkan melalui perkolasi (gerakan air) dalam tanah dan diserap oleh akar tanaman.

2. Adsorpsi dan Interaksi dengan Partikel Tanah

Aplikasi pupuk pada tanah, akan mengalami pelarutan, dimana sebagian unsur hara akan mengalami adsorpsi atau terikat oleh partikel tanah, terutama oleh koloid tanah yang bersifat negatif (anion). Unsur-unsur tertentu, seperti kalsium, magnesium, dan kalium, cenderung teradsorpsi kuat oleh partikel tanah. Sedangkan unsur hara seperti nitrogen dalam bentuk amonium (NH_4^+) atau nitrat (NO_3^-) dapat lebih mudah bergerak di dalam tanah (Fageria et al., 2010). Adsorpsi ini dapat mempengaruhi ketersediaan pupuk. Beberapa unsur hara kemungkinan akan tetap tersedia bagi tanaman karena ikatannya dengan tanah tidak terlalu kuat, sementara yang lain dapat terikat begitu kuat sehingga sulit diserap oleh tanaman.

3. Pergerakan Pupuk dalam Tanah

Unsur hara dalam pupuk akan bergerak dalam tanah tergantung pada konsentrasi, sifat larutan, dan pergerakan air dalam tanah (perkolasi). Pergerakan unsur hara melalui tanah sangat dipengaruhi oleh sifat tanah terutama tekstur tanah, struktur tanah, dan kapasitas

tukar kation (KTK) tanah serta proses perkolasi air dalam tanah yang membawa unsur hara menuju akar tanaman.

Pergerakan pupuk dalam tanah dapat melalui 2 cara yaitu Pergerakan vertikal dan pergerakan secara horizontal. Pergerakan vertikal yaitu pergerakan melalui tanah yang biasanya terjadi dengan aliran air yang mengalir ke dalam tanah. Sementara pergerakan horizontal terjadi pada daerah tanah yang lebih dekat dengan perakaran tanaman. Pergerakan ini mempengaruhi ketersediaan pupuk pada bagian akar tanaman, sehingga sangat efisien untuk pemanfaatan pupuk oleh tanaman.

4. Transformasi Kimia Pupuk

Unsur hara dalam pupuk dapat mengalami transformasi kimia di dalam tanah, tergantung pada kondisi kimia tanah, seperti pH dan keberadaan mikroorganisme tanah (Zhang et al., 2018). Berikut beberapa bentuk transformasi kimia pupuk dan gejala defisiensi dan kelebihan/toksisitas hara pada tanaman.

4.1 Nitrogen

Nitrogen dalam pupuk dapat terkonversi dari bentuk amonium (NH_4^+) ke nitrat (NO_3^-) melalui proses nitrifikasi yang dilakukan oleh bakteri tanah (Zilio et al., 2023).

Gejala kekurangan/defisiensi N pada tanaman yaitu sebagai berikut: 1) terhambatnya pertumbuhan tanaman; 2) daun tanaman berwarna hijau cerah hingga kuning pucat; 3) daun tanaman mengalami kekeringan/kerontokan; 4) tanaman mengalami kematian dini, umumnya gejala defisiensi dimulai pada jaringan tua dikarenakan unsur N bersifat mobile.

Kelebihan unsur hara N pada tanaman dapat menyebabkan toksisitas unsur hara terhadap tanaman sehingga dapat mengganggu pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fageria et al., 2010; Zilio et al., 2023). Tanaman yang kelebihan unsur N akan berdampak terhadap pertumbuhan tanaman yang abnormal yang disebabkan oleh daun tanaman berwarna hijau pekat. Selain itu, tanaman lebih fokus

mempengaruhi organ pertumbuhan seperti daun dan batang dan mudah patah. Kelebihan unsur N juga menyebabkan mudahnya serangan hama wereng coklat pada tanaman padi karena batang padi sangat remah sehingga memudahkan stilet serangga menusuk batang padi. Terjadi penghambatan pembentukan buah. Kelebihan unsur N juga berdampak terhadap serangan cendawan dan penyakit (Stevens G et al., 2002).

4.2 Fosfor

Fosfor dalam pupuk sering kali terikat dengan kalsium, besi, atau aluminium dalam tanah, dan seringkali kurang tersedia bagi tanaman, terutama di tanah yang memiliki pH rendah (asam).

Gejala defisiensi unsur P yaitu sebagai berikut: 1) pertumbuhan tanaman melambat dan kerdil; 2) daun tanaman berwarna hijau gelap; 3) permukaan daun tua terdapat bercak berwarna keunguan atau berwarna kecoklatan; 4) perkembangan akar tanaman terhambat (Anjum et al., 2024); 5) pada keadaan parah, batang menjadi kurus dan tertundanya perkembangan biji dan buah.

Gejala kelebihan atau toksisitas unsur P yaitu sebagai berikut: 1) kelebihan unsur P menyebabkan gejala kekurangan hara mikro: Fe dan Zn; dan 2) terjadi pengkhelatan unsur P terhadap Fe, Al dan Ca (Lizcano-Toledo et al., 2021).

4.3 Kalium

Kalium dalam pupuk sebagian besar bergerak bebas dalam tanah dan tidak banyak terikat dengan partikel tanah. Transformasi unsur K yang dapat diserap tanaman dalam bentuk K^+ .

Gejala kekurangan K Terdapat beberapa tanda atau gejala terjadinya kekurangan atau defisiensi unsur hara K, antara lain: 1) daun cepat mengalami penuaan; 2) pertumbuhan tanaman terhambat; 3) ruas pada batang tanaman memendek; 4) tanaman mengalami klorosis (tanaman menguning); 5) tanaman mengalami nekrosis (tanaman berwarna kecoklatan lalu mati); 6) perkembangan akar

tanaman mengalami penghambatan (Kusumawati A, 2021); 7) tanaman mudah rebah; 8) tanaman penghasil gabah menjadi hampa; dan 9) kasus pada tongkol tanaman Jagung tidak terisi penuh hingga bagian atas.

Kelebihan atau toksisitas unsur hara kalium menyebabkan tanaman mengalami gangguan dalam penyerapan unsur Ca dan Mg dalam tanah. Tanaman akan mengalami pertumbuhan yang terhambat, sehingga sulit untuk berkembang. Akibatnya dari gangguan ini tanaman akan mengalami defisiensi unsur hara yang lain (Stevens G et al., 2002).

4.5 Kalsium

Kalsium merupakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam pertumbuhan sel. Unsur hara Ca juga dapat menguatkan tanaman, melindungi dinding sel tanaman dan mengontrol daya tembus air. Transformasi Ca yaitu unsur hara kalsium yang dapat dipertukarkan (Ca-dd) dan kalsium yang berada dalam larutan tanah berada pada posisi keseimbangan, sehingga jika ion Ca pada larutan tanah berkurang akibat pencucian atau diserap oleh tanaman maka Ca pada kompleks jerapan (Ca-dd) akan menyuplai kembali Ca pada larutan tanah sehingga tersedia bagi tanaman (Kusumawati A, 2021).

Kalsium sangat memengaruhi pertumbuhan akar tanaman, jadi apabila tanaman kekurangan kalsium maka akar tanaman tersebut terganggu. Sehingga nutrisi yang ada di dalam tanah tidak bisa diserap secara optimal. Unsur hara kalsium dapat membantu dalam proses perbanyakan dan pemanjangan sel tanaman. Pada proses fotosintesis kalsium dapat mengatur serta mendistribusikan hasil tersebut. Tanaman yang defisiensi kalsium, akan membuat akar mengalami gangguan sehingga akan melemahkan titik tumbuh. Tanaman akan mengalami perubahan bentuk daun, perubahan-perubahan bentuk daun mengeriting, bentuk daun yang besar akan mengecil dan daun tanaman akan rontok. Unsur hara kalsium pada tanaman dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman menjadi tinggi, akan tetapi

tanaman tersebut tidak kuat. Akar tanaman yang defisiensi unsur hara, akan memengaruhi akar tanaman, sehingga dapat menimbulkan produksi tanaman berkurang. Hal ini dikarenakan bunga yang terbentuk tidak normal. Tanaman juga dapat menyebabkan bunga menjadi rontok, karena kekurangan kalsium. Toksisitas unsur hara kalsium tidak berdampak banyak pada tanaman, akan tetapi dapat menimbulkan perubahan pada pH tanah (Jones, 2012).

Gejala kekurangan atau defisiensi unsur hara Ca yaitu sebagai berikut: 1) gejala defisiensi terlihat pada daun muda dikarenakan unuse Ca tidak bersifat mobile; 2) pertumbuhan ujung akar dan pucuk daun terhenti; 3) tepi daun mengeriting dan menjadi coklat; 4) tepi daunnya tumbuh menyatu dengan daun lainnya; 5) menurunkan kuliast buah akibat mengalami kebusukan; dan 6) Terhambatnya pertumbuhan titik tumbuh batang.

4.6 Magnesium

Unsur hara Magnesium merupakan hara yang memiliki peranan dalam proses pembentukan zat hijau daun pada tanaman dikarenakan merupakan penyusun utama klorofil. Magnesium dapat berperan membantu pembentukan karbohidrat, lemak, dan sebagai aktivator enzim dalam penyaluran energi pada tanaman.

Kekurangan atau defisiensi unsur hara Mg yaitu sebagai berikut: 1) defisiensi hara muncul pada daun tua, dikarenakan unsur Mg tergolong unsur hara mobile; 2) warna daun mengalami kekuningan terutama pada bagian interveinal atau tulang antar tulang daun tua; 3) daun tanaman mengeriting sepanjang tepinya dan daun sisi bawah serta pucuk daun tetap berwarna hijau; 4) pada tingkat kekahatan yang berat, daun muda menjadi kuning atau nekrotik pada tingkat kekahatan sangat berat (Gransee and Führs, 2013); 5) daun tanaman akan mudah terserang penyakit terutama embun tepung atau powdery mildew (Jones, 2012).

4.7 Sulfur

Sulfur merupakan makroesensial yang diperlukan tanaman dalam jumlah yang hampir sama dengan serapan hara P. Unsur hara S yang dibutuhkan untuk pertumbuhan optimal tanaman berkisar antara 0.1 – 0.5 dari bobot kering tanaman. Selain berkaitan dengan serapan hara P, unsur S juga berkaitan erat dengan serapan hara N. Tanaman dalam pertumbuhan dan perkembangan sangat membutuhkan sulfur untuk melangsungkan pembentukan dari asam amino sistin, metionin dan sistein. Unsur hara sulfur merupakan unsur hara yang memiliki bagian dalam proses biotin, tiamin, glutathionim dan koenzim A pada tanaman. Asam amino dalam tanaman banyak dibantu pembentukannya oleh unsur hara sulfur. Unsur hara sulfur di dalam tanaman membantu dalam proses penyusunan protein. Transformasi sulfur dapat diserap tanaman dalam bentuk sulfat (SO_4^{2-}) dan dalam bentuk gas (SO_2) tetapi dalam jumlah sedikit.

Kekurangan unsur hara atau defisiensi yaitu sebagai berikut: 1) Menghambat proses pembentukan protein dan tanaman mengalami nekrosis; 2) pertumbuhan tunas terhambat dan jumlah tunas lebih sedikit; 3) terjadi gangguan pertumbuhan akar (Jones, 2012); dan 4) daun muda mengalami kekuningan tanaman mengalami tingkat mobilitas rendah dikarenakan terjadi penurunan kandungan klorofil.

Kelebihan hara sulfur akan mengakibatkan toksistas pada tanaman terutama pH tanah menjadi asam sehingga menyebabkan kekontakan pada daun (Stevens G et al., 2002).

4.8 Tembaga

Unsur hara tembaga (Cu) merupakan hara mikro yang dalam transformasinya diserap dalam bentuk Cu^{++} . Tembaga dibutuhkan oleh tanaman cukup kecil. Aplikasi unsur Cu adalah dengan pemupukan melalui daun dianggap lebih efektif dan efisien terutama aplikasinya bersamaan dengan pemupukan hara mikro yang lainnya (unsur Fe, Mn, Zn).

Kekurangan atau defisiensi unsur hara Cu yaitu sebagai berikut: 1) terjadi klorosis pada daun muda dan tanaman kerdil; 2) terjadi keterlambatan pematangan buah pada biji-bijian, melanosis (perubahan warna menjadi coklat); dan 3) biji yang terbentuk menjadi kosong/hampa;

Unsur tembaga pada daun tanaman yang kering berkisar antara 3-7 ppm, sehingga jika terjadi kelebihan unsur ini akan mengakibatkan toksisitas pada tanaman yaitu dapat menyebabkan defisiensi unsur Fe dan tanaman akan mengalami klorosis pada daun. Pertumbuhan akar tanaman terhambat dan akar tidak memanjang dan akar lateral akan mengalami gangguan. Unsur Cu jauh lebih beracun bagi tanaman terutama bagian akar, jika dibandingkan dengan unsur Al (Jones, 2012).

4.9. Boron

Unsur hara boron (B) merupakan unsur hara mikro yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah sedikit. Unsur hara boron di dalam tanah untuk diserap oleh tanaman sangat sedikit, akan tetapi unsur ini harus ada di dalam tanah yang dapat diserap oleh tanaman untuk pertumbuhan. Transformasi unsur hara boron diserap tanaman dalam bentuk asam borat (H_3PO_3) atau BO_3^{2-} . Unsur hara boron sangat membantu dalam proses sintesis, pertumbuhan dan perkembangan tanaman, transport karbohidrat, perkembangan serbuk sari pada tanaman dan membantu aktivitas sel tanaman.

Defisiensi unsur hara B yaitu sebagai berikut: 1) terhambatnya pertumbuhan tanaman; 2) menyebabkan kematian pada pucuk-pucuk tanaman; 3) terjadi perubahan warna pada daun muda menjadi hijau pucat dan pada daun bagian pangkal menjadi rusak; 4) menyebabkan kerusakan akar; dan 5) menyebabkan terhambatnya perkecambahan benih (Jones, 2012).

Kelebihan unsur hara B dapat menyebabkan toksisitas yang berdampak terhadap gangguan terhadap pertumbuhan dan perkembangannya. Akan tetapi, tanaman yang mengalami toksisitas

unsur hara boron tergantung berbagai unsur baik dari tanah maupun tanaman. Kelebihan boron juga dapat menyebabkan keracunan yang dapat membuat protoplasma tanaman mengalami kerusakan (Jones, 2012).

4.10 Besi

Besi (Fe) merupakan unsur hara esensial yang berperan penting dalam proses biologi tanaman terutama dalam proses fotosintesis, respirasi, pembentukan klorofil, dan biosintesa protein. Transformasi unsur Fe diserap tanaman dalam bentuk ion feri (Fe^{3+}), ion fero (Fe^{2+}), dan dalam bentuk khelat (ikatan dengan bahan organik).

Gejala defisiensi atau kekurangan unsur hara Fe antara lain sebagai berikut: 1) mengakibatkan daun tanaman mengalami klorosis; 2) daun tanaman akan menjadi kuning, daun tanaman yang baru tumbuh akan berwarna putih yang disebabkan oleh kurangnya klorofil; 2) mempengaruhi pertumbuhan akar, sehingga akar tanaman menjadi mati.

Kelebihan unsur hara akan Fe akan mengakibatkan tanaman mengalami toksisitas atau keracunan unsur hara dimana daun tanaman berwarna kuning kemerahan hingga coklat sehingga mengakibatkan daun tanaman mengalami bintik-bintik yang berwarna coklat (Jones, 2012). Selain itu juga dapat menyebabkan daun tanaman mengering seperti terbakar serta akar lebih sedikit, kasar, pendek berwarna gelap dan juga menyebabkan berkurangnya jumlah anakan.

4.11 Mangan

Mangan (Mn) adalah salah satu unsur hara mikro yang berperan penting dalam pertumbuhan tanaman terutama dalam proses fotosintesis, pertumbuhan akar, fiksasi nitrogen, sintesis protein dan vitamin C serta berperan penting dalam proses asimilasi. Transformasi unsur hara Mn diserap dalam bentuk ion Mn^{2+} . Ion ini dapat masuk ke dalam jaringan tanaman melalui kutikula.

Gejala defisiensi unsur hara Mn yaitu sebagai berikut: 1) terjadi perubahan warna daun muda dan terdapat beberapa tempat jaringan daun mengalami kematian; 2) terjadi klorosis pada interveinal daun muda; 3) terhambatnya pertumbuhan (kerdil) terutama pada sayuran (tomat dan kentang), tembakau, jeruk dan kedelai; 4) pada kasus tanaman gandum, bagian tengah helai daun berwarna coklat lalu patah; dan 5) terhambatnya pembentukan biji.

Kelebihan unsur hara akan mengakibatkan gejala toksisitas atau keracunan pada tanaman berupa gejala bintik-bintik yang berwarna coklat yang dikelilingi pembatas. Zona ini disebut dengan lingkaran nekrosis, terdapat pada daun tua. Unsur Mn yang tinggi juga menyebabkan bintik yang berwarna hitam pada kulit kayu yang masih muda dan bintik hitam ini terdapat pada buah apel (Jones, 2012).

4.12 Seng

Transformasi unsur hara seng (Zn) diserap dalam bentuk ion Zn^{2+} dan bentuk khelat sehingga pemberian melalui daun dinilai lebih efektif karena unsur ini lebih mudah diserap tanaman melalui stomata (Ilango et al., 2012). Umumnya unsur hara Zn dapat berperan sebagai aktivator enzim, pembentukan klorofil dan proses fotosintesis.

Defisiensi unsur hara Zn yaitu sebagai berikut: 1) timbulnya gejala klorosis pada daun tanaman yang muda sehingga menyebabkan terbentuknya pita pada daun tanaman; 2) mengganggu pertumbuhan daun dan menyebabkan tanaman menjadi kerdil dan dalam jangka panjang akan mengakibatkan gugurnya daun dan mati; dan 3) pada tanaman yang berbuah dan kacang-kacangan akan mengalami *rosetting* pada bagian cabang.

Kelebihan unsur Zn dapat mengakibatkan toksisitas sehingga akan muncul gejala klorosis. Hal ini sangat dipengaruhi oleh tanaman yang sangat rentan terhadap Fe, karena Zn yang tinggi dapat mengganggu Fe. Kandungan Zn > 100 ppm dapat membuat klorosis pada tanaman. Tetapi terdapat jenis tanaman yang tahan terhadap kandungan Zn yang tinggi (100 - 250 ppm) (Jones, 2012).

4.13 Klor

Tanaman memerlukan unsur hara klor (Cl) untuk proses fotosintesis. Proses fotosintesis melibatkan perubahan oksigen (O_2). Tekanan osmotik sel dapat ditingkatkan oleh unsur hara klor. Klor juga membantu dan memengaruhi membuka dan menutup stomata. Transformasi unsur hara seng (Zn) diserap dalam bentuk ion klorida (Cl).

Gejala defisiensi atau kekurangan hara Cl antara lain yaitu sebagai berikut: 1) Menyebabkan tanaman mengalami klorosis terutama pada daun muda kemudian layu; dan 2) dapat menimbulkan penyakit pada tanaman.

Gejala kelebihan unsur Cl dapat menyebabkan toksisitas terhadap tanaman terutama daun tanaman akan berwarna kuning secara cepat, sebelum daun tanaman tersebut tua. Daun tanaman akan mengalami *bronzing* (daun menjadi merah tua) dan absisi daun. Selain itu, tanaman juga akan mengalami kendala, terutama dalam penyerapan air dan ion-ion, yang dipengaruhi oleh NaCl yang tinggi dalam tanah (Jones, 2012).

4.14 Molibdenum

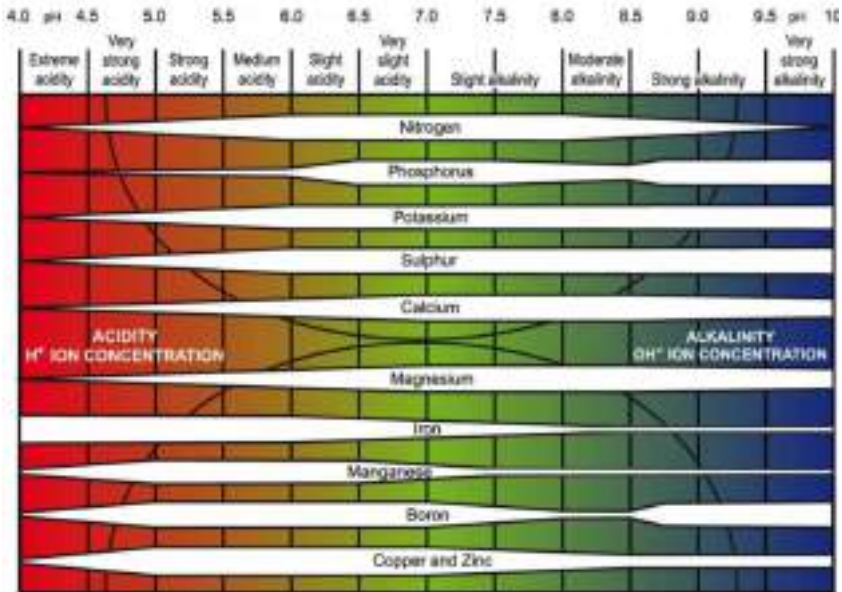
Molibdenum merupakan salah satu unsur hara mikro yang dibutuhkan oleh tanaman, terutama tanaman legum dan sayuran. Transformasi unsur hara Mo diserap tanaman dalam bentuk molibdat (MoO_4^{2-}). Unsur hara Molibdenum (Mo) yaitu unsur yang disusun dari 2 sistem enzim utama berupa nitrogenase dan nitrat reduktase. Nitrogenase membantu perubahan nitrat (NO_3) menjadi amonium (NH_4). Keberadaan Mo di dalam tanah yang dibutuhkan oleh tanaman berkurang jika kandungan N di dalam tanaman adalah NH_4 . Daun tanaman yang kering memiliki kandungan Mo kurang dari 1 ppm. Hal ini, dapat dipengaruhi oleh kandungan yang sangat rendah dari anion molibdat (MnO_4^{2-}) yang dapat larut di dalam tanah. Pada tanaman kandungan Mo yang terdapat pada tanaman berkisar 0,34 sampai 1,5 ppm.

Kandungan unsur Mo yang tinggi pada tanaman dapat menyebabkan tanaman menjadi keracunan. Kandungan Mo yang lebih tinggi dari 10 ppm dapat menimbulkan bahaya bagi hewan ternak, terutama sapi perah yang relatif lebih sensitif. Unsur hara Mo akan meningkat seiring dengan meningkatnya pH pada tanah. Mo di dalam tanah dapat diserap oleh unsur Fe dan Al Oksida, yang didukung dengan pH pada tanah. Unsur Mo masuk ke akar tanaman melalui aliran massa dan difusi, unsur Mo akan masuk ke dalam jaringan tanaman apabila unsur Mo tinggi di dalam tanah. Jika unsur hara N bersumber dari NO_3 , maka Mo dapat diserap lebih tinggi oleh tanaman. Akan tetapi, jika NH_4 sama dengan atau lebih banyak keberadaannya sebagai sumber N maka Mo akan menyerap lebih sedikit. Penyerapan unsur Mo akan meningkat jika unsur hara P dan Mg banyak, sedangkan Mo akan sedikit diserap oleh tanaman jika SO_4 lebih banyak. Tanaman yang mengalami defisiensi unsur hara Mo hampir sama dengan gejala kekurangan unsur hara N. Daun tanaman yang memiliki gejala daun tidak berwarna hijau dan daun tua akan mengalami klorosis, daun tanaman akan menggulung dan pembentukan dan pertumbuhan bunga tidak banyak. Tanaman palawija dan golongan Cruciferae memiliki kebutuhan unsur Mo yang sangat tinggi. Tanaman kembang kol tidak akan terbentuk apabila kekurangan unsur Mo, hanya terbentuk tulang daun pada tanaman tersebut. Tanaman yang memiliki gejala toksisitas Mo tidak berpengaruh terhadap tanaman itu sendiri, akan tetapi akan berdampak pada hewan ternak (Jones, 2012).

5. Pengaruh pH Tanah

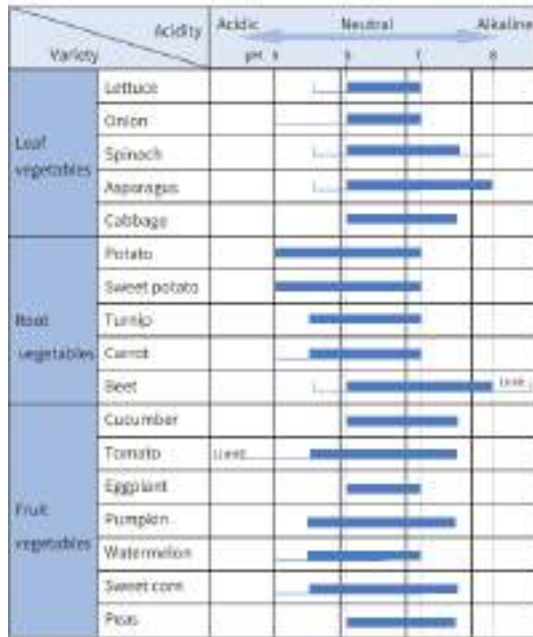
pH tanah sangat menentukan ketersediaan hara yang mampu mempengaruhi ketersediaan atau penyerapan hara yang terkandung dalam pupuk. Berikut contoh ketersediaan pupuk fosfor, akan lebih mudah terlarut dan tersedia bagi tanaman jika pH tanah sedikit masam hingga netral dengan kisaran pH 6-7. Tanah yang bersifat sangat asam atau sangat basa, pupuk fosfor sering terikat dengan

mineral tanah sehingga membuat unsur tersebut tidak mampu diikat oleh tanaman (Haran & Thaher, 2019; Li et al., 2019; Rawat et al., 2021). Berikut disajikan Gambar pengaruh pH tanah terhadap ketersediaan hara.



Gambar 1. Hubungan pH tanah terhadap ketersediaan hara (Sumber: <https://croppnuts.com/soil-ph-and-nutrient-availability/>)

Selain mempengaruhi ketersediaan hara, pH tanah juga dapat menentukan kesesuaian tanaman. Berikut disajikan beberapa kesesuaian pH tanah dengan jenis tanaman budidaya (Gambar 2).



Gambar 2. Kemasaman tanah ideal beberapa jenis sayuran
(Sumber: <https://shorturl.at/LPdE8>)

6. Mikroorganisme Tanah

Mikroorganismen tanah juga memainkan peran penting dalam dinamika pupuk, terutama untuk unsur-unsur hara yang memerlukan proses biologi untuk mengubahnya menjadi bentuk yang lebih mudah diserap oleh tanaman (Abbas et al., 2013; Backer et al., 2018; Shaikh, 2018). Contohnya adalah bakteri pengikat nitrogen yang mengubah nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang bisa dipakai tanaman (Yoneyama et al., 2017).

7. Efisiensi Penggunaan Pupuk

Efisiensi penggunaan pupuk dipengaruhi oleh seberapa baik pupuk dapat diserap oleh tanaman setelah diterapkan (Bobrovsky et al., 2023). Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi penggunaan pupuk termasuk jenis pupuk, cara aplikasi (misalnya, pemupukan lewat akar atau daun), waktu aplikasi, serta kondisi tanah dan iklim.

8. Hilangnya Unsur Hara

Pupuk dapat hilang dari tanah karena beberapa proses, antara lain:

- 8.1 Immobilisasi, dimana pupuk mengalami proses perubahan senyawa anorganik menjadi bentuk organik oleh mikroba tanah atau tanaman sehingga tidak tersedia bagi tanaman.
- 8.2 Denitrifikasi merupakan proses perubahan senyawa nitrogen, seperti nitrat, menjadi gas nitrogen atau nitrogen oksida (Zilio et al., 2023).
- 8.3 Volatilisasi: Proses di mana pupuk yang mengandung amonia atau gas nitrogen (seperti urea) bisa terlepas ke atmosfer.
- 8.4 Pencucian (*leaching*): Unsur hara, terutama nitrogen dalam bentuk nitrat, dapat terbawa oleh air perkolasi yang bergerak jauh ke bawah profil tanah, sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Kehilangan hara N pada lahan Perkebunan mencapai 24 - 35% dari total input N dan melalui pencucian (*leaching*) menyumbang 57 - 61% dari total kehilangan N (Luo et al., 2023).
- 8.5 Melalui erosi, dimana horizon tanah atas yang kaya akan hara dapat terbawa oleh sedimen atau dapat berpindah tempat.
- 8.6 Melalui banjir: air banjir dapat melarutkan unsur hara dalam tanah dan membawanya menjauh dari akar tanaman sehingga tidak tersedia bagi tanaman.
- 8.7 Terikat tanah: unsur hara seperti fosfor dapat terikat oleh partikel tanah, terutama pada tanah masam sehingga tidak tersedia untuk tanaman.
- 8.8 Melalui panen: selama panen, sejumlah besar unsur hara dapat terangkut dari tanah ke dalam jaringan tanaman atau atau hasil panen. Hal ini mengakibatkan unsur hara dalam tanah menjadi berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Z., Amir Zia, M., Ali, S., Abbas, Z., Waheed, A., Bahadur, A., Hameed, T., Iqbal, A., Muhammad, I., Roomi, S., Ahmad, M. Z., & Sultan, T. (2013). Integrated Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Phosphate Solubilizing Bacteria and Chemical Fertilizers on Growth of Maize. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 06(13), 913–921. www.ijagcs.com
- Anjum, N. A., Masood, A., Umar, S., & Khan, N. A. (2024). *Phosphorus in Soils and Plants*. IntechOpen.
- 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*, 871(October), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Bobrovsky, A. V., Lipshin, A. G., Kozulina, N. S., Vasilenko, A. V., Kryuchkov, A. A., Snytkova, T. A., Lubochnikov, M. G., & Mikhailets, M. A. (2023). The study of the dynamics of the content of nutrients in the soil when growing crops. *BIO Web of Conferences*, 71. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237101107>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2010). *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops* (Third Edition). CRC Press-Taylor & Francis Group.
- Granse, A., Führs, H. (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant Soil* 368, 5–21. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1567-y>
- Haran, M. S., & Thaher, A. T. (2019). *Efficiency of Phosphate solubilizing bacteria isolated from different regions in dissolving of the insoluble phosphate and the activity of phosphatase enzyme. cm*, 122–127.
- Ilango, R. V. J., Kumar, P. M., Parthibaraj, R., Kumar, B. S., Govindaraj, R., Mareeswaran, J., & Chaudhuri, T. C. (2012). A special schedule of foliar application of nutrients for the tea

- fields under extensive mechanized harvesting. *Journal of Plantation Crops*, 40(2), 118–124.
- Jones, F. J. B. (2012). *Plant Nutrition Principles and Soil Fertility Manual Second Edition* (Second Edition). CRC Press Taylor & Francis Group.
- Kusumawati A. (2021). *Buku Ajar Kesuburan Tanah & Pemupukan* (Ubaidallah R, Ed.; Edisi 1). Poltek LPP Press.
- Li, Y., Zhang, J., Zhang, J., Xu, W., & Mou, Z. (2019). Characteristics of inorganic phosphate-solubilizing bacteria from the sediments of a eutrophic lake. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph16122141>
- Luo, Y., Wu, X., Xiao, H., Toan, N-S., Liao, B., Wu, X., and Hu, R. (2023). Leaching is the main pathway of nitrogen loss from a citrus orchard in Central China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 356, 15 October 2023, 108559. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108559>
- Lizcano-Toledo, R., Reyes-Martín, M. P., Celi, L., & Fernández-Ondoño, E. (2021). Phosphorus dynamics in the soil–plant–environment relationship in cropping systems: A review. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 23). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app112311133>
- Massah, J., & Azadegan, B. (2016). Effect of chemical fertilizers on soil compaction and degradation. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 47(1), 44–50.
- Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. C. (2021). Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 49–68. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7>
- Shaikh, S. S. (2018). Impact of Interactions between Rhizosphere and Rhizobacteria: A Review Plant Microbes interaction View project Soil Bioremediation: An approach towards sustainable cleaner

- technology View project. *J Bacteriol Mycol. J Bacteriol Mycol*, 5(5), 1058–1. www.austinpublishinggroup.com
- Stevens G, Montavalli PP, Scharf PC, Nathan M, & Dunn DD. (2002). *Crop Nutrient Deficiencies and Toxicities*. Outreach & Extension University of Missouri-Columbia. <http://muextension.missouri.edu/xplor/agguides/>
- Yoneyama, T., Terakado-Tonooka, J., & Minamisawa, K. (2017). Exploration of bacterial N₂-fixation systems in association with soil-grown sugarcane, sweet potato, and paddy rice: a review and synthesis. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63(6), 578–590. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1407625>
- Zhang, W., Wang, C., Dong, M., Jin, S., & Li, H. (2018). Dynamics of soil fertility and maize growth with lower environment impacts depending on a combination of organic and mineral fertilizer. In *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* (Vol. 18, Issue 2). <https://cabidigitallibrary.org>
- Zilio, M., Pigoli, A., Rizzi, B., Goglio, A., Tambone, F., Giordano, A., Maretto, L., Squartini, A., Stevanato, P., Meers, E., Schoumans, O., & Adani, F. (2023). Nitrogen dynamics in soils fertilized with digestate and mineral fertilizers: A full field approach. *Science of the Total Environment*, 868. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161500>

PROFIL PENULIS



La Mudi, S.P., M.P., lahir pada tahun 1989 di Kecamatan Mawasangka, Kabupaten Buton Provinsi Sulawesi Tenggara. Penulis masuk perguruan tinggi Strata-1 (S-1) tahun 2008 dan lulus tahun 2013 di Prodi/Jurusan Agroteknologi Faperta UHO. Selama menempuh Pendidikan S1, penulis aktif dalam kegiatan organisasi khususnya HMJ Agroteknologi. Penulis pernah menjadi asisten pada berbagai mata kuliah antara lain Botani, Teknologi Produksi Benih, Fisiologi Tanaman, Perancangan Percobaan, Dasar-Dasar Agronomi, Dasar-Dasar Ilmu Tanah, dan Teknologi Produksi Tanaman. Penulis melanjutkan studi Stara-2 (S-2) pada tahun 2013 dan selesai pada tahun 2015 di Program Studi Agronomi PPs UHO. Pengalaman kerja penulis dimulai pada tahun 2013 sebagai Teknisi Laboratorium Agronomi Faperta UHO hingga tahun 2015 dan pada tahun 2015 menjadi dosen Tetap Non PNS hingga tahun 2019 Faperta UHO. Pada tahun 2020, penulis diterima sebagai Dosen di Politeknik Pertanian Negeri Samarinda pada Program Studi Budidaya Tanaman Perkebunan dan pada tahun 2023 penulis di tempatkan di Program Studi Teknologi Produksi Tanaman Pangan. Pada bidang pengajaran, penulis mengampu berbagai mata kuliah antara lain: Matematika, Statistika, Dasar-Dasar Ilmu tanah, Fisiologi Tumbuhan, Survey dan Evaluasi Lahan, Budidaya Tanaman Karet, Agroklimatologi, dan Metode Penulisan Ilmiah. Pada bidang penelitian, penulis telah melakukan kajian penelitian terkait pemanfaatan agens hayati baik untuk perbaikan lahan suboptimal, biodekomposer, peningkatan pertumbuhan dan hasil tanaman serta pengendalian penyakit tanaman. Penulis aktif dalam berbagai penelitian baik Penelitian Dosen Pemula (BIMA dan Internal Politani) dan Penelitian Terapan tahun 2022, Penelitian Dosen Pemula (Internal Politani dan Program Matching Fund tahun 2023, Penelitian Dosen Pemula, Program Macthing Fund dan Penelitian Terapan tahun 2024. Penulis juga aktif membimbing

mahasiswa dalam Program Kreativitas Mahasiswa tahun 2022 dan 2024 dan Program P2MD tahun 2023. Penulis juga telah menghasilkan paten bersama tim sebanyak 5 buah paten (3 buah granted dan 2 buah terdaftar), 3 buah buku, dan telah menghasilkan sebanyak 65 artikel pada google scholar baik jurnal nasional maupun jurnal internasional (terindeks, terakreditasi maupun bereputasi). Penulis juga aktif dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dibiayai oleh internal Politani Samarinda.



REAKSI PUPUK DALAM TANAH

Alfan Setya Winurdana
Universitas Islam Balitar

7.1 Reaksi Pupuk dalam Tanah

Reaksi pupuk dalam tanah mengacu pada serangkaian interaksi kimia, fisik, dan biologis yang terjadi setelah pupuk diterapkan ke tanah. Reaksi ini penting karena menentukan seberapa efektif nutrisi dalam pupuk tersedia untuk tanaman dan seberapa besar dampaknya terhadap lingkungan. Setelah diaplikasikan, pupuk mengalami berbagai transformasi yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kelembapan tanah, suhu, tekstur tanah, pH, serta aktivitas biologis dalam tanah. Reaksi pupuk dalam tanah dapat berupa perubahan kelarutan pupuk, pelepasan nutrisi secara bertahap, serta interaksi dengan komponen lain dalam tanah, seperti mineral, partikel tanah, dan organisme hidup. Efektivitas pupuk ditentukan oleh bagaimana pupuk tersebut berinteraksi dengan lingkungan tanah, yang meliputi proses fisik, kimia, dan biologis yang kompleks.

7.1.1 Peran Tanah sebagai Media Penyangga Nutrien

Tanah memiliki peran krusial sebagai media penyangga nutrien bagi tanaman. Secara umum, tanah berfungsi sebagai reservoir alami yang menyimpan air dan nutrien, serta sebagai media tempat akar tanaman tumbuh dan menyerap nutrien yang diperlukan. Ketersediaan nutrien di dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk tekstur tanah, kapasitas tukar kation (KTK), pH tanah, dan kandungan bahan organik. Tanah yang kaya bahan organik cenderung memiliki KTK yang tinggi, yang berarti mampu menyimpan dan melepaskan lebih banyak kation (seperti kalium, magnesium, dan kalsium) untuk digunakan oleh tanaman. Selain itu, tanah juga berfungsi sebagai buffer yang membantu menstabilkan perubahan konsentrasi nutrien akibat penambahan pupuk. Sebagai contoh, tanah dengan pH netral atau sedikit asam biasanya lebih optimal untuk melepaskan nutrien seperti fosfor dan nitrogen dalam bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Namun, jika pH terlalu rendah (terlalu asam) atau terlalu tinggi (terlalu basa), banyak nutrien penting yang terikat secara kimiawi dalam bentuk yang tidak dapat digunakan oleh tanaman, seperti fosfor yang mengikat dengan besi atau aluminium dalam tanah asam. Oleh karena itu, peran tanah sebagai media penyangga sangat berpengaruh terhadap efektivitas aplikasi pupuk.

Pada konteks pertanian modern, penggunaan pupuk secara efisien dan tepat sangat ditekankan karena dua alasan utama: pertama, kebutuhan untuk meningkatkan produktivitas tanaman demi memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dunia; kedua, menjaga kelestarian lingkungan di tengah ancaman degradasi tanah dan pencemaran akibat pemupukan berlebihan. Oleh karena itu, inovasi dalam teknologi pupuk, termasuk pupuk slow-release, pupuk organik, dan teknologi presisi dalam pemupukan, menjadi penting untuk mengatasi tantangan ini. Dalam hubungannya dengan pertumbuhan tanaman, keberhasilan pemupukan sangat bergantung pada pemahaman mendalam tentang reaksi pupuk dalam tanah, mulai dari interaksi

kimia, biologis, hingga fisik. Misalnya, pupuk nitrogen harus melalui proses transformasi kimia tertentu seperti amonifikasi dan nitrifikasi sebelum dapat diserap oleh akar tanaman dalam bentuk nitrat atau amonium. Begitu pula dengan fosfor yang harus berada dalam bentuk tertentu agar dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Interaksi yang kompleks ini harus dipahami untuk dapat mengoptimalkan penggunaan pupuk demi mendapatkan hasil yang maksimal dari segi pertumbuhan tanaman maupun keberlanjutan lingkungan. Dalam kesimpulan, pemahaman tentang reaksi pupuk dalam tanah bukan hanya penting untuk pertumbuhan optimal tanaman, tetapi juga untuk mengelola dampak lingkungan dari aplikasi pupuk yang seringkali tidak terhindarkan. Dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi pupuk, petani dan praktisi pertanian dapat merencanakan strategi pemupukan yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

7.2 Reaksi Kimia

Pupuk, ketika diaplikasikan ke tanah, mengalami berbagai reaksi kimia yang menentukan kelarutan dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Reaksi ini melibatkan interaksi antara pupuk dengan air, partikel tanah, dan komponen kimia lain dalam tanah. Tergantung pada jenis pupuk dan sifat kimia tanah, reaksi ini bisa berupa pelarutan, pengendapan, adsorpsi, dan perubahan bentuk kimia pupuk itu sendiri. Memahami reaksi kimia yang terjadi antara pupuk dan tanah sangat penting untuk menentukan seberapa efektif pupuk tersebut dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman, serta bagaimana mengelola potensi pencemaran akibat penggunaan pupuk yang berlebihan.

7.2.1 Pelarutan Pupuk dalam Tanah

Proses pertama yang dialami pupuk ketika diaplikasikan ke tanah adalah pelarutan. Sebagian besar pupuk komersial berupa zat padat yang harus larut dalam air tanah agar unsur hara yang dikandungnya dapat tersedia bagi tanaman. Pupuk seperti amonium

nitrat (NH_4NO_3), urea [$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$], dan superfosfat ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) akan larut dalam air dan melepaskan ion-ion yang dapat langsung diserap oleh akar tanaman. Reaksi pelarutan ini bergantung pada sifat kelarutan masing-masing pupuk serta ketersediaan air di dalam tanah. Misalnya, pupuk nitrogen seperti ammonium nitrat akan larut dalam air dan melepaskan ion ammonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-). Ammonium biasanya akan berikatan dengan partikel tanah, terutama di tanah yang kaya akan lempung, karena ammonium bermuatan positif dan tanah lempung memiliki kapasitas tukar kation yang tinggi. Sebaliknya, nitrat, yang bermuatan negatif, lebih cenderung tercuci melalui tanah berpasir yang memiliki daya retensi yang rendah. Reaksi pelarutan ini tidak hanya mempengaruhi seberapa cepat pupuk dapat digunakan oleh tanaman, tetapi juga mempengaruhi risiko pencucian ke dalam air tanah yang dapat menyebabkan pencemaran (Havlin et al., 2013). Reaksi pelarutan juga dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban tanah. Pada kondisi tanah kering, proses pelarutan akan tertunda karena kurangnya air untuk melarutkan pupuk. Di tanah yang terlalu basah atau tergenang, pelarutan pupuk dapat terjadi dengan cepat, namun akan meningkatkan risiko pencucian dan hilangnya nutrisi sebelum dapat diserap oleh tanaman.

7.2.2 Reaksi Asam-Basa yang Dihasilkan oleh Pupuk

Reaksi asam-basa yang terjadi ketika pupuk diaplikasikan ke tanah adalah salah satu aspek paling penting dari interaksi kimia antara pupuk dan tanah. Pupuk dapat mempengaruhi pH tanah, baik dengan meningkatkan keasaman (menurunkan pH) atau meningkatkan alkalinitas (menaikkan pH), tergantung pada komposisi kimianya. Pupuk yang mengandung Nitrogen, seperti urea, ammonium nitrat, dan ammonium sulfat, seringkali menghasilkan reaksi asam dalam tanah. Sebagai contoh, ketika urea diurai oleh enzim urease menjadi ammonium dan karbon dioksida, ammonium kemudian melalui proses nitrifikasi yang menghasilkan ion hidrogen (H^+), yang berkontribusi terhadap penurunan pH tanah (Brady & Weil, 2016).

Pada jangka panjang, penggunaan pupuk nitrogen yang berlebihan dapat menyebabkan pengasaman tanah, yang dapat mengurangi ketersediaan unsur hara tertentu seperti fosfor dan menghambat pertumbuhan tanaman. Pupuk Fosfat seperti superfosfat atau diamonium fosfat (DAP), dapat menghasilkan reaksi yang berbeda tergantung pada komposisi dan pH tanah. Fosfat memiliki kelarutan yang rendah di tanah dengan pH ekstrem, baik di pH rendah maupun tinggi, dan akan bereaksi dengan kation seperti aluminium, besi, dan kalsium untuk membentuk senyawa fosfat yang tidak larut (Syers et al., 2008). Oleh karena itu, pupuk fosfat sering kali lebih efektif di tanah dengan pH netral hingga sedikit asam.

Pupuk kalium, seperti kalium klorida (KCl) dan kalium sulfat (K_2SO_4), umumnya tidak mempengaruhi pH tanah secara signifikan karena kalium merupakan ion netral. Namun, interaksi antara kalium dan ion lain dalam tanah, seperti natrium dan magnesium, dapat mempengaruhi keseimbangan nutrisi dalam tanah. Reaksi asam-basa ini penting karena pH tanah mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Tanah dengan pH terlalu rendah (terlalu asam) atau terlalu tinggi (terlalu basa) dapat menghambat penyerapan nutrisi penting seperti fosfor, besi, mangan, dan seng. Oleh karena itu, pengelolaan pH tanah sering kali melibatkan aplikasi kapur ($CaCO_3$) untuk meningkatkan pH atau sulfur untuk menurunkannya, yang keduanya melibatkan reaksi kimia dengan pupuk yang ada di tanah.

7.2.3 Pengendapan dan Kelarutan Nutrien

Salah satu reaksi kimia utama yang terjadi dalam tanah ketika pupuk diaplikasikan adalah pengendapan, yaitu proses di mana nutrisi pupuk berubah menjadi bentuk yang tidak larut atau tidak tersedia bagi tanaman. Ini sering terjadi pada unsur hara seperti fosfor dan beberapa unsur mikro seperti besi, seng, dan mangan, yang cenderung bereaksi dengan ion lain di dalam tanah untuk membentuk senyawa yang tidak larut. Fosfor adalah salah satu nutrisi yang paling

rentan terhadap pengendapan dalam tanah. Di tanah dengan pH rendah (asam), fosfor akan bereaksi dengan aluminium (Al^{3+}) dan besi (Fe^{3+}) untuk membentuk senyawa fosfat yang tidak larut seperti aluminium fosfat (AlPO_4) dan besi fosfat (FePO_4). Di tanah yang basa, fosfor akan bereaksi dengan kalsium (Ca^{2+}) untuk membentuk kalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), yang juga tidak larut dan tidak tersedia bagi tanaman (Syers et al., 2008). Pengendapan ini mengurangi efektivitas pupuk fosfor dan sering kali menyebabkan kekurangan fosfor di tanah, meskipun kandungan fosfor total dalam tanah mungkin tinggi. Unsur mikro seperti besi (Fe), seng (Zn), mangan (Mn), dan tembaga (Cu) juga rentan terhadap pengendapan dalam tanah. Di tanah basa, unsur-unsur ini cenderung mengendap sebagai hidroksida atau oksida, yang sangat sulit larut dan oleh karena itu tidak tersedia bagi tanaman. Di tanah asam, beberapa unsur mikro seperti aluminium dan mangan bisa menjadi terlalu larut dan mencapai konsentrasi toksik bagi tanaman. Untuk mengatasi masalah pengendapan, berbagai strategi telah dikembangkan, termasuk penggunaan pupuk dalam bentuk chelated (dalam ikatan dengan senyawa organik), yang mencegah pengendapan dan menjaga unsur mikro tetap tersedia bagi tanaman. Pupuk chelated umumnya digunakan untuk besi dan seng, terutama di tanah yang basa, di mana ketersediaan unsur-unsur ini sangat terbatas.

7.2.4 Adsorpsi dan Desorpsi Pupuk di Tanah

Adsorpsi adalah proses di mana ion-ion pupuk, seperti ion ammonium, fosfat, dan kalium, menempel pada permukaan partikel tanah, terutama partikel liat dan bahan organik. Adsorpsi ini membantu menjaga ion-ion tersebut tetap berada di dalam tanah dan mencegah pencucian ke lapisan tanah yang lebih dalam atau badan air. Namun, adsorpsi juga dapat mengurangi ketersediaan nutrisi bagi tanaman, karena nutrisi yang teradsorpsi tidak dapat diserap langsung oleh akar. Ammonium (NH_4^+) adalah ion bermuatan positif yang sangat mudah diadsorpsi oleh partikel tanah yang bermuatan negatif,

terutama lempung dan bahan organik. Adsorpsi ammonium membantu mencegah pencucian nitrogen ke dalam air tanah, tetapi ammonium yang terlalu teradsorpsi juga bisa menjadi tidak tersedia bagi tanaman dalam jangka pendek (Chien et al., 2009). Fosfat (PO_4^{3-}) memiliki afinitas yang sangat tinggi terhadap partikel tanah dan bahan organik, terutama di tanah yang mengandung aluminium, besi, atau kalsium. Adsorpsi fosfat sering kali sangat kuat sehingga menyebabkan "fixation" atau pengikatan yang tidak dapat diurai, yang mengakibatkan fosfat menjadi tidak tersedia bagi tanaman (Havlin et al., 2013). Proses adsorpsi dan desorpsi nutrisi tergantung pada banyak faktor, termasuk pH tanah, jenis tanah, dan konsentrasi ion di dalam larutan tanah. Tanah dengan kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, seperti tanah liat, cenderung lebih banyak mengadsorpsi nutrisi, sedangkan tanah berpasir, yang memiliki KTK yang rendah, cenderung kehilangan nutrisi melalui pencucian. Di sisi lain, proses desorpsi, yaitu pelepasan ion yang sebelumnya diadsorpsi oleh partikel tanah, memungkinkan nutrisi kembali ke larutan tanah dan tersedia bagi tanaman. Desorpsi nutrisi ini dipengaruhi oleh keseimbangan kimia dalam tanah, terutama oleh interaksi antara ion-ion di dalam tanah. Sebagai contoh, di tanah dengan kandungan kalium (K^+) yang tinggi, ion kalium dapat menggantikan ion ammonium yang teradsorpsi di permukaan partikel tanah, sehingga menyebabkan desorpsi ammonium ke dalam larutan tanah. Fenomena ini dikenal sebagai "kompetisi ion," di mana ion-ion dalam larutan tanah bersaing untuk diadsorpsi oleh partikel tanah. Kondisi tanah dan konsentrasi ion-ion dalam larutan tanah memainkan peran penting dalam menentukan tingkat adsorpsi dan desorpsi pupuk.

7.2.5 Transformasi Nitrogen dalam Tanah

Nitrogen adalah salah satu unsur hara yang paling dinamis dan mengalami transformasi kimia yang kompleks di dalam tanah. Reaksi kimia nitrogen dalam tanah melibatkan berbagai proses mikrobiologis dan kimia yang mengubah nitrogen dari satu bentuk ke bentuk lain.

Transformasi ini penting karena menentukan ketersediaan nitrogen bagi tanaman dan juga berkontribusi pada potensi pencemaran lingkungan, terutama dalam bentuk gas rumah kaca dan pencemaran air tanah. Ammonifikasi: Ammonifikasi adalah proses di mana nitrogen organik dari bahan organik atau pupuk organik diurai oleh mikroorganisme tanah menjadi ammonium (NH_4^+). Ammonium yang dihasilkan kemudian dapat diserap langsung oleh tanaman atau diubah lebih lanjut melalui proses nitrifikasi. Nitrifikasi adalah proses oksidasi biologis di mana ammonium (NH_4^+) diubah menjadi nitrit (NO_2^-) oleh bakteri nitrifikasi seperti *Nitrosomonas*, dan kemudian nitrit diubah menjadi nitrat (NO_3^-) oleh bakteri *Nitrobacter*. Nitrat adalah bentuk nitrogen yang lebih mudah bergerak di dalam tanah karena bermuatan negatif dan tidak diadsorpsi oleh partikel tanah. Oleh karena itu, nitrat cenderung tercuci dengan mudah ke dalam air tanah, terutama di tanah berpasir atau tanah yang mengalami irigasi berlebihan (Brady & Weil, 2016).

Denitrifikasi adalah proses di mana nitrat (NO_3^-) diubah kembali menjadi gas nitrogen (N_2) atau dinitrogen oksida (N_2O) melalui aktivitas mikroorganisme anaerobik di kondisi tanah yang jenuh air atau memiliki kandungan oksigen rendah. Gas dinitrogen (N_2) tidak berbahaya karena merupakan komponen utama dari atmosfer, namun dinitrogen oksida (N_2O) adalah gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Proses denitrifikasi ini mengurangi efisiensi pupuk nitrogen karena nitrogen yang hilang sebagai gas tidak dapat lagi dimanfaatkan oleh tanaman. Volatilisasi Amonia adalah proses di mana ammonium (NH_4^+) yang ada di permukaan tanah atau di larutan tanah berubah menjadi gas amonia (NH_3) dan hilang ke atmosfer. Proses ini sering terjadi ketika pupuk nitrogen seperti urea diaplikasikan ke tanah yang basah dan tidak segera dicampur ke dalam tanah. Volatilisasi amonia merupakan salah satu sumber hilangnya nitrogen yang signifikan, terutama di iklim yang hangat dan kering (Havlin et al., 2013). Setiap tahap transformasi nitrogen dalam tanah melibatkan interaksi antara pupuk,

mikroorganisme tanah, dan kondisi lingkungan seperti kelembaban, suhu, dan ketersediaan oksigen. Oleh karena itu, pengelolaan pupuk nitrogen harus mempertimbangkan faktor-faktor ini untuk meminimalkan hilangnya nitrogen dan memaksimalkan ketersediaannya bagi tanaman.

7.2.6 Interaksi Fosfor dengan Tanah

Fosfor adalah unsur hara makro yang sering kali menjadi faktor pembatas dalam pertumbuhan tanaman karena sifatnya yang cepat mengendap dan tidak larut di tanah. Di sebagian besar tanah, fosfor dalam bentuk ion ortofosfat (H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-}) akan bereaksi dengan kation seperti kalsium, besi, dan aluminium, membentuk senyawa fosfat yang sangat tidak larut, sehingga sulit diambil oleh tanaman. Reaksi Fosfor di Tanah Asam ($\text{pH} < 6$), fosfor cenderung bereaksi dengan aluminium (Al^{3+}) dan besi (Fe^{3+}), membentuk aluminium fosfat (AlPO_4) dan besi fosfat (FePO_4) yang tidak larut. Pengendapan ini membuat fosfor tidak tersedia bagi tanaman, meskipun tanah mungkin mengandung banyak fosfor total. Oleh karena itu, pupuk fosfor sering kali kurang efektif di tanah yang sangat asam kecuali jika dilakukan pengapuran untuk menaikkan pH tanah (Syers et al., 2008). Reaksi Fosfor di Tanah Basa dengan pH tinggi (basa), fosfor bereaksi dengan kalsium (Ca^{2+}) membentuk kalsium fosfat yang juga sangat tidak larut, seperti hidroksiapatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$). Di tanah basa, penggunaan pupuk fosfor menjadi kurang efisien karena sebagian besar fosfor akan terikat dalam bentuk yang tidak larut. Pengelolaan fosfor dalam tanah melibatkan pengaturan pH tanah dan pemilihan bentuk pupuk fosfor yang sesuai. Selain itu, penambahan bahan organik atau pupuk organik dapat membantu meningkatkan ketersediaan fosfor dengan membentuk senyawa organik-fosfor yang lebih mudah diserap oleh tanaman. Penggunaan pupuk fosfor dengan pelepasan lambat (slow-release) atau bentuk cair juga dapat membantu mengurangi pengendapan dan meningkatkan efisiensi penggunaan fosfor di tanah.

7.2.7 Peran Sifat Kimia Tanah dalam Reaksi Pupuk

Sifat kimia tanah, terutama pH, kapasitas tukar kation (KTK), dan kandungan bahan organik, memainkan peran penting dalam menentukan bagaimana pupuk bereaksi di dalam tanah. pH Tanah: pH tanah mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, unsur hara seperti fosfor, besi, dan mangan sangat dipengaruhi oleh pH. Pengelolaan pH tanah melalui aplikasi kapur (untuk tanah asam) atau sulfur (untuk tanah basa) sering kali diperlukan untuk memastikan ketersediaan nutrisi yang optimal. Kapasitas Tukar Kation (KTK) adalah ukuran kemampuan tanah untuk menahan dan menukar ion kation seperti ammonium, kalium, kalsium, dan magnesium. Tanah dengan KTK tinggi, seperti tanah lempung dan tanah yang kaya bahan organik, cenderung lebih mampu menahan nutrisi dan melepaskannya secara perlahan, sementara tanah berpasir dengan KTK rendah cenderung kehilangan nutrisi melalui pencucian (Brady & Weil, 2016). Kandungan bahan organik dalam tanah membantu meningkatkan KTK dan menyediakan nutrisi melalui proses dekomposisi. Bahan organik juga mempengaruhi struktur tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi pergerakan air dan distribusi pupuk di dalam tanah. Dengan memahami sifat kimia tanah, petani dan ahli agronomi dapat merancang strategi pemupukan yang lebih efisien dan ramah lingkungan, mengurangi pemborosan nutrisi, dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

7.3 Reaksi Fisik

Selain reaksi kimia, pupuk juga mengalami berbagai reaksi fisik ketika diaplikasikan ke tanah. Reaksi fisik ini mencakup proses-proses fisik yang mempengaruhi distribusi, pelarutan, dan pergerakan pupuk di dalam tanah. Faktor-faktor seperti ukuran partikel, porositas tanah, kelembaban, dan suhu lingkungan dapat mempengaruhi bagaimana pupuk berinteraksi dengan tanah secara fisik. Pemahaman mengenai reaksi fisik ini penting untuk menentukan seberapa efektif pupuk tersebut dalam memberikan nutrisi yang diperlukan tanaman dan seberapa lama pupuk itu bertahan di zona perakaran.

7.3.1 Dispersi dan Distribusi Pupuk di Tanah

Ketika pupuk diaplikasikan, langkah pertama yang terjadi adalah distribusi fisik pupuk di permukaan atau di dalam tanah. Bentuk aplikasi pupuk baik dalam bentuk granular, cair, maupun bubuk mempengaruhi bagaimana pupuk tersebar di lahan. Dispersi pupuk mengacu pada penyebaran partikel pupuk di dalam tanah atau di permukaan tanah. Partikel pupuk yang besar cenderung tersebar lebih lambat dan terkonsentrasi pada area aplikasi, sementara pupuk cair atau partikel halus dapat tersebar lebih cepat dan lebih merata di seluruh tanah. Perubahan pupuk pada tanah berdasarkan sifatnya (Granular dan Cair) Pupuk dalam bentuk granular umumnya lebih lambat terdistribusi karena ukurannya lebih besar dan lebih padat. Butiran pupuk granular akan tetap berada di permukaan tanah atau dalam lapisan tanah tertentu hingga larut oleh air atau terdekomposisi oleh aktivitas biologis. Di sisi lain, pupuk cair dapat lebih cepat meresap ke dalam tanah dan lebih mudah menyebar ke zona akar, tergantung pada tekstur tanah dan kadar air tanah. Tanah berpasir, misalnya, memungkinkan pupuk cair meresap lebih cepat daripada tanah liat yang lebih padat (Havlin et al., 2013). Pupuk Pelepasan Lambat (Slow-release) memiliki desain fisik untuk mengendalikan laju pelepasan nutrisi ke dalam tanah. Pupuk ini dilapisi dengan bahan polimer atau sulfur yang memperlambat pelarutan pupuk dan memperpanjang ketersediaan nutrisi bagi tanaman (Shaviv, 2001). Ketebalan dan jenis lapisan memengaruhi laju difusi nutrisi dari butiran pupuk ke tanah, memberikan kontrol lebih baik terhadap ketersediaan hara selama musim tanam. Distribusi pupuk yang merata sangat penting untuk memastikan semua tanaman mendapatkan akses yang cukup terhadap nutrisi. Penyebaran pupuk yang tidak merata dapat menyebabkan beberapa area lahan mendapatkan terlalu banyak pupuk, sementara area lain kekurangan nutrisi. Hal ini tidak hanya mempengaruhi pertumbuhan tanaman tetapi juga dapat meningkatkan risiko pencemaran lingkungan di daerah yang mendapatkan kelebihan pupuk.

7.3.2 Pelarutan Pupuk dalam Air Tanah

Pelarutan pupuk adalah proses fisik utama yang mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Pupuk harus larut dalam air tanah agar nutrisi yang terkandung di dalamnya dapat diserap oleh akar tanaman. Faktor-faktor yang mempengaruhi pelarutan pupuk termasuk sifat kimia pupuk, ukuran partikel, jumlah air yang tersedia di tanah, serta suhu lingkungan. Ukuran partikel yang semakin kecil pada pupuk, semakin cepat proses pelarutan terjadi. Partikel yang lebih kecil memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan massanya, yang meningkatkan kontak dengan air tanah dan mempercepat laju pelarutan. Sebaliknya, butiran pupuk yang lebih besar cenderung larut lebih lambat, yang dapat memperlambat pelepasan nutrisi ke dalam tanah (Prasad & Power, 1997). Jumlah Air Pelarutan pupuk sangat bergantung pada ketersediaan air di tanah. Di tanah yang kering, pelarutan pupuk akan sangat terbatas karena kurangnya air untuk melarutkan partikel pupuk. Sebaliknya, di tanah yang jenuh air, pupuk dapat larut dengan cepat, tetapi ini juga dapat meningkatkan risiko pencucian nutrisi sebelum tanaman dapat menyerapnya. Pupuk cair biasanya lebih cepat tersedia karena sudah dalam bentuk terlarut dan hanya membutuhkan distribusi lebih lanjut dalam tanah melalui infiltrasi (Tisdale et al., 1985). Suhu tanah juga mempengaruhi laju pelarutan pupuk. Pada suhu yang lebih tinggi, pelarutan biasanya lebih cepat karena viskositas air menurun, sehingga pupuk lebih mudah larut. Sebaliknya, pada suhu rendah, laju pelarutan pupuk melambat, yang dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman pada awal musim tanam, terutama di daerah dengan iklim dingin.

7.3.3 Pergerakan Pupuk di Dalam Profil Tanah

Setelah pupuk larut dalam air tanah, nutrisi tersebut bergerak di dalam profil tanah melalui proses perkolasi, difusi, dan aliran massa (mass flow). Pergerakan ini dipengaruhi oleh tekstur tanah, kelembaban tanah, dan jenis nutrisi yang terkandung dalam pupuk.

Perkolasi adalah proses di mana air yang mengandung pupuk bergerak ke bawah melalui profil tanah akibat gravitasi. Pergerakan perkolasi ini lebih cepat di tanah berpasir yang memiliki pori-pori besar dibandingkan dengan tanah liat yang lebih padat. Perkolasi dapat menyebabkan pencucian nutrisi, terutama nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3^-), yang sangat dinamis dan tidak diadsorpsi oleh partikel tanah. Di tanah dengan tingkat perkolasi yang tinggi, pupuk harus diaplikasikan secara lebih sering atau dalam bentuk pelepasan lambat untuk menghindari kehilangan nutrisi melalui pencucian (Havlin et al., 2013).

Difusi adalah pergerakan ion pupuk dari area dengan konsentrasi tinggi ke area dengan konsentrasi rendah di dalam tanah. Difusi nutrisi sangat penting untuk unsur-unsur yang tidak mudah bergerak seperti fosfor (P) dan kalium (K), yang pergerakannya terbatas pada zona perakaran. Nutrien ini biasanya bergerak hanya beberapa milimeter dari tempat aplikasinya sebelum diserap oleh akar tanaman. Oleh karena itu, distribusi pupuk yang merata sangat penting untuk memastikan bahwa akar tanaman dapat mencapai nutrisi tersebut (Barber, 1995).

Aliran massa (Mass Flow) adalah pergerakan nutrisi yang terbawa oleh aliran air tanah ke arah akar tanaman. Nutrien yang sangat larut seperti nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3^-) bergerak bersama dengan aliran air tanah ketika tanaman menyerap air. Aliran massa ini merupakan mekanisme utama untuk penyerapan nutrisi yang sangat dinamis seperti nitrogen, kalsium, dan magnesium. Namun, nutrisi yang kurang dinamis, seperti fosfor, lebih banyak bergerak melalui difusi daripada aliran massa (Tisdale et al., 1985). Pergerakan pupuk di dalam tanah juga dipengaruhi oleh kelembaban tanah. Di tanah yang kering, pergerakan difusi dan aliran massa nutrisi akan sangat terbatas, yang dapat menghambat ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Sebaliknya, di tanah yang terlalu jenuh air, pergerakan nutrisi dapat terlalu cepat, menyebabkan pencucian nutrisi sebelum tanaman sempat menyerapnya.

7.3.4 Pencucian Nutrien (Leaching)

Salah satu risiko utama yang terkait dengan penggunaan pupuk adalah pencucian nutrien, terutama di tanah yang berpasir atau di daerah dengan curah hujan tinggi atau irigasi berlebihan. Pencucian adalah proses di mana nutrien yang terlarut dalam air tanah bergerak ke bawah melalui profil tanah dan keluar dari zona perakaran tanaman, sehingga tidak lagi tersedia bagi tanaman. Nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3^-) adalah salah satu nutrien yang paling rentan terhadap pencucian karena sifatnya yang sangat dinamis dan tidak diadsorpsi oleh partikel tanah. Pupuk Nitrogen Nitrat (NO_3^-) yang dihasilkan dari proses nitrifikasi sangat mudah tercuci di tanah yang berpasir atau di lahan yang sering diairi. Pencucian nitrat tidak hanya menyebabkan efisiensi penggunaan pupuk menurun, tetapi juga dapat mencemari air tanah dan air permukaan, yang dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti eutrofikasi dan keracunan air bagi manusia dan hewan (Cameron et al., 2013). Meskipun pupuk fosfor cenderung kurang dinamis dibandingkan nitrat, ia masih dapat tercuci dalam bentuk terlarut atau sebagai partikel kecil yang terikat pada sedimen tanah. Pencucian fosfor biasanya terjadi di tanah yang sangat jenuh fosfor, terutama di lahan yang mengalami erosi tanah atau di lahan basah yang mengalami banjir (Sharpley et al., 1994). Fosfor yang tercuci ke badan air dapat menyebabkan eutrofikasi, yang memicu pertumbuhan alga berlebih dan penurunan kualitas air.

Pengelolaan pencucian nutrien memerlukan strategi yang efektif seperti aplikasi pupuk secara bertahap, penggunaan pupuk pelepasan lambat, dan menjaga tingkat kelembaban tanah yang optimal. Di lahan berpasir atau daerah dengan curah hujan tinggi, penggunaan pupuk pelepasan lambat atau metode aplikasi bertahap dapat membantu mengurangi risiko pencucian. Selain itu, pencucian nutrien juga dapat diminimalkan dengan meningkatkan kapasitas retensi air dan nutrien tanah melalui penambahan bahan organik seperti pupuk kandang atau kompos. Bahan organik membantu meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah dan menahan air lebih lama, sehingga mengurangi kecepatan perkolasi air dan pencucian nutrien.

7.3.5 Penguapan (Volatilisasi)

Volatilisasi adalah proses di mana pupuk nitrogen, terutama dalam bentuk amonia (NH_3), menguap ke atmosfer sebelum dapat diserap oleh tanaman. Proses ini terutama terjadi pada pupuk nitrogen yang diaplikasikan ke tanah yang basah dan memiliki pH tinggi, atau jika pupuk diaplikasikan secara dangkal dan tidak segera dicampur ke dalam tanah. Volatilisasi merupakan salah satu faktor yang signifikan dalam hilangnya nitrogen, terutama ketika menggunakan pupuk urea, yang sering kali menjadi sumber utama nitrogen di banyak sistem pertanian (Sommer et al., 2004).

Pupuk Urea ketika diaplikasikan ke permukaan tanah, ia akan terurai menjadi amonium karbonat melalui proses hidrolisis, yang menghasilkan amonia (NH_3) yang dapat menguap ke atmosfer. Volatilisasi amonia ini dipercepat oleh suhu yang tinggi, kelembaban tinggi, dan kondisi tanah basa. Oleh karena itu, pengelolaan pupuk urea melibatkan praktik-praktik seperti pengaplikasian pupuk pada kedalaman tertentu di tanah atau menggabungkan urea dengan inhibitor urease untuk memperlambat proses hidrolisis urea dan mengurangi kehilangan nitrogen melalui volatilisasi (Cameron et al., 2013). Faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban tanah sangat mempengaruhi tingkat volatilisasi. Suhu yang tinggi mempercepat penguapan amonia, sementara kelembaban tanah yang tinggi mendorong dekomposisi urea menjadi amonia gas. Di tanah yang sangat basa ($\text{pH} > 7$), volatilitas amonia meningkat karena lebih banyak ion amonium yang berubah menjadi gas amonia. Sebaliknya, di tanah dengan pH rendah, risiko volatilisasi lebih rendah karena amonium lebih stabil dan tidak mudah menguap (Havlin et al., 2013). Untuk mengurangi volatilitas amonia, petani dapat mencampur pupuk urea dengan tanah segera setelah aplikasi atau menggunakan bentuk pupuk nitrogen lain yang lebih stabil di lingkungan tertentu. Penggunaan bahan penutup tanah (mulsa) juga dapat membantu mengurangi volatilitas dengan menjaga kelembaban tanah dan melindungi pupuk dari paparan langsung terhadap angin dan sinar matahari.

7.3.6 Pembentukan Lapisan Pupuk di Permukaan Tanah

Pada aplikasi pupuk granular atau padat di permukaan tanah, sering kali terbentuk lapisan pupuk yang tertinggal di permukaan tanah. Lapisan ini dapat menghambat penyerapan nutrisi ke dalam tanah, terutama jika hujan atau irigasi tidak cukup untuk melarutkan pupuk ke dalam profil tanah. Dalam kondisi seperti ini, pupuk dapat tetap berada di permukaan tanah untuk waktu yang lama, rentan terhadap volatilisasi atau pencucian ketika terjadi hujan lebat mendadak. Pengaruh Kelembaban Tanah memberikan dampak yang berbeda, dalam kondisi tanah yang kering, pelarutan pupuk dari permukaan tanah akan sangat terbatas, dan nutrisi tidak akan tersedia bagi tanaman. Sebaliknya, jika ada irigasi atau hujan yang cukup, pupuk dapat larut dan masuk ke dalam zona perakaran. Oleh karena itu, penting untuk mencocokkan aplikasi pupuk dengan pola irigasi atau hujan untuk memastikan bahwa pupuk tidak hanya terkumpul di permukaan tanah, tetapi juga terserap ke dalam tanah dan tersedia bagi tanaman.

Pupuk Cair dengan Pupuk Granular memiliki keunggulan masing-masing. Pupuk cair memiliki keunggulan karena langsung terserap ke dalam tanah dan tidak meninggalkan residu di permukaan. Pupuk cair lebih mudah diaplikasikan pada lahan irigasi atau melalui sistem fertirigasi, yang memungkinkan nutrisi diaplikasikan bersama dengan air irigasi. Sebaliknya, pupuk granular membutuhkan waktu lebih lama untuk larut dan terserap ke dalam tanah, tergantung pada kelembaban dan intensitas irigasi atau curah hujan yang diterima tanah (Tisdale et al., 1985). Pengelolaan aplikasi pupuk permukaan melibatkan pemantauan kelembaban tanah dan mengatur waktu aplikasi untuk menghindari kondisi di mana pupuk tidak dapat larut dan terserap dengan baik. Petani juga dapat mempertimbangkan penggunaan alat aplikasi khusus yang memastikan pupuk diaplikasikan langsung ke dalam tanah, bukan hanya di permukaan.

7.3.7 Erosi Tanah dan Pergerakan Pupuk

Erosi tanah adalah salah satu masalah fisik yang dapat menyebabkan hilangnya pupuk dari lahan pertanian. Ketika tanah tererosi, terutama selama hujan lebat atau angin kencang, partikel tanah yang mengandung pupuk dapat terbawa ke luar lahan pertanian, mengurangi efektivitas pemupukan dan berpotensi mencemari badan air. Nutrien seperti fosfor, yang sering terikat pada partikel tanah, sangat rentan terhadap hilangnya melalui erosi tanah. Erosi Air, Di lahan dengan lereng curam atau tanah yang tidak ditutupi tanaman, hujan lebat dapat mengikis lapisan atas tanah, membawa pupuk yang terlarut atau partikel pupuk yang belum larut ke badan air terdekat. Erosi air ini meningkatkan risiko pencemaran nutrien di sungai, danau, dan waduk, yang pada akhirnya dapat menyebabkan eutrofikasi (Sharpley et al., 1994). Erosi Angin di daerah yang kering atau berangin, erosi angin dapat mengangkut partikel pupuk yang belum larut dari permukaan tanah. Tanah yang gundul atau tidak dilindungi oleh tanaman penutup lebih rentan terhadap erosi angin, terutama di musim kemarau. Pengelolaan erosi angin melibatkan penggunaan penutup tanah seperti mulsa atau menanam tanaman penutup (cover crops) untuk melindungi tanah dan mencegah hilangnya pupuk dari permukaan tanah. Pengelolaan erosi tanah yang baik sangat penting untuk menjaga pupuk tetap berada di lahan pertanian dan mencegah hilangnya nutrien melalui aliran permukaan atau angin. Penggunaan teknik konservasi tanah seperti terasering, buffer strip, dan penanaman tanaman penutup dapat mengurangi risiko erosi dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk.

7.4 Reaksi Biologis Pupuk dalam Tanah

Reaksi biologis pupuk dalam tanah merupakan proses penting yang melibatkan interaksi antara mikroorganisme tanah dan nutrien dari pupuk. Mikroorganisme tanah, seperti bakteri, fungi, dan aktinomisetes, memainkan peran krusial dalam siklus nutrien dengan memfasilitasi transformasi bentuk kimia nutrien dalam tanah,

sehingga dapat diserap oleh tanaman. Reaksi biologis ini mempengaruhi ketersediaan dan efisiensi penggunaan pupuk, terutama pada unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan sulfur yang melalui transformasi biologis sebelum dapat diserap oleh tanaman.

7.4.1 Peran Mikroorganismen dalam Transformasi Nitrogen

Nitrogen adalah salah satu unsur hara makro yang paling penting bagi tanaman, namun tidak semua bentuk nitrogen dapat diserap langsung oleh tanaman. Sebagian besar nitrogen tersedia di tanah dalam bentuk gas nitrogen (N_2) atau senyawa organik, yang harus diubah menjadi bentuk yang tersedia untuk tanaman melalui proses nitrifikasi, denitrifikasi, dan fiksasi nitrogen yang melibatkan mikroorganismen tanah.

a. Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen adalah proses biologis di mana nitrogen atmosferik (N_2) diubah menjadi amonia (NH_3) oleh mikroorganismen, terutama bakteri yang bersimbiosis dengan tanaman leguminosa (kacang-kacangan) atau bakteri bebas seperti *Azotobacter* dan *Clostridium*. Proses ini sangat penting bagi tanah yang miskin nitrogen dan di mana pupuk nitrogen sintetis mungkin tidak mencukupi. *Rhizobium* dan Leguminosa merupakan salah satu contoh simbiosis yang terkenal adalah antara bakteri *Rhizobium* dan akar tanaman leguminosa. *Rhizobium* hidup di bintil akar leguminosa dan mengikat nitrogen atmosfer menjadi amonia, yang kemudian digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhan. Sebagai imbalan, tanaman menyediakan karbohidrat dan lingkungan yang ideal bagi bakteri tersebut. Dengan adanya bakteri fiksasi nitrogen ini, kebutuhan akan pupuk nitrogen di tanah yang ditanami leguminosa dapat dikurangi, karena nitrogen dari atmosfer sudah tersedia untuk tanaman (Vessey, 2003).

Bakteri Fiksasi Nitrogen Bebas selain bakteri simbiotik, ada juga bakteri bebas seperti *Azotobacter* yang mampu melakukan fiksasi nitrogen secara independen di tanah. Bakteri ini umumnya terdapat di tanah yang kaya bahan organik, di mana mereka dapat menyediakan nitrogen untuk tanah tanpa perlu berasosiasi dengan tanaman

tertentu. Meskipun kontribusi bakteri bebas terhadap total nitrogen yang tersedia di tanah lebih kecil dibandingkan dengan bakteri simbiotik, mereka tetap berperan penting, terutama di ekosistem alami (Döbereiner, 1997).

b. Nitrifikasi

Nitrifikasi adalah proses biologis di mana amonia (NH_3) diubah menjadi nitrat (NO_3^-) melalui dua tahap, yaitu oksidasi amonia menjadi nitrit (NO_2^-) oleh bakteri *Nitrosomonas*, dan oksidasi nitrit menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter*. Nitrat adalah bentuk nitrogen yang paling mudah diserap oleh tanaman. Proses nitrifikasi terutama didorong oleh dua jenis bakteri, yaitu *Nitrosomonas* yang mengubah amonia menjadi nitrit, dan *Nitrobacter* yang mengubah nitrit menjadi nitrat. Kedua proses ini sangat penting dalam menyediakan bentuk nitrogen yang dapat digunakan oleh tanaman. Nitrat yang terbentuk dari proses nitrifikasi ini sangat dinamis di dalam tanah, sehingga dapat dengan mudah tercuci jika tidak segera diserap oleh tanaman (Paul & Clark, 1996). Kondisi Optimal proses nitrifikasi berlangsung lebih cepat pada tanah yang memiliki pH netral hingga basa, aerasi yang baik, dan kelembaban yang cukup. Pada tanah yang terlalu asam atau terlalu kering, aktivitas bakteri nitrifikasi akan berkurang, sehingga proses konversi nitrogen akan terhambat. Oleh karena itu, penting untuk mengelola kondisi tanah agar sesuai dengan kebutuhan mikroorganisme yang terlibat dalam nitrifikasi (Sylvia, et al, 1999).

c. Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses di mana nitrat (NO_3^-) diubah kembali menjadi nitrogen gas (N_2) oleh bakteri anaerob dalam kondisi tanah yang jenuh air atau kekurangan oksigen. Proses ini menyebabkan kehilangan nitrogen dari tanah, yang mengurangi efisiensi penggunaan pupuk nitrogen. Bakteri seperti *Pseudomonas*, *Bacillus*, dan *Paracoccus* memainkan peran penting dalam proses denitrifikasi. Dalam kondisi anaerobik, bakteri ini menggunakan nitrat

sebagai penerima elektron akhir dalam respirasi anaerobik mereka, mengubahnya menjadi nitrogen gas yang hilang ke atmosfer. Proses ini sering terjadi di tanah yang tergenang air atau di tanah yang terlalu padat sehingga tidak ada cukup oksigen untuk respirasi aerobik (Firestone, 1982). Denitrifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kadar air tanah, ketersediaan bahan organik, dan suhu. Pada tanah yang terlalu jenuh air atau di bawah lapisan tanah yang padat, oksigen menjadi terbatas, menciptakan kondisi yang ideal bagi bakteri denitrifikasi untuk berkembang. Kehilangan nitrogen melalui denitrifikasi sering kali terjadi di lahan basah atau di tanah irigasi yang overwatered, yang dapat mengurangi efisiensi pupuk nitrogen dan meningkatkan biaya produksi (Sylvia, et al., 1999).

7.4.2 Transformasi Fosfor oleh Mikroorganismes

Fosfor adalah unsur hara penting yang sering kali terikat erat dalam bentuk senyawa tidak larut di dalam tanah, terutama di tanah yang bersifat basa atau asam. Mikroorganismes tanah berperan dalam medinamisisasi fosfor yang tidak tersedia bagi tanaman melalui proses pelarutan fosfat dan mineralisasi senyawa organik yang mengandung fosfor.

a. Pelarutan Fosfat

Bakteri pelarut fosfat, seperti *Pseudomonas*, *Bacillus*, dan *Aspergillus*, memainkan peran penting dalam medinamisisasi fosfor yang terikat dalam bentuk fosfat tidak larut. Mereka menghasilkan asam organik yang dapat melarutkan senyawa fosfat yang terikat pada partikel tanah, membuat fosfor tersedia bagi tanaman. Mekanisme Pelarutan Fosfat oleh bakteri pelarut fosfat menghasilkan berbagai asam organik, seperti asam sitrat, asam malat, dan asam oksalat, yang menurunkan pH lokal di sekitar partikel fosfat, sehingga memfasilitasi pelepasan ion fosfat yang terikat pada mineral tanah. Fosfat yang telah larut kemudian dapat diserap oleh akar tanaman (Rodríguez & Fraga, 1999). Pengelolaan Tanah untuk Pelarutan Fosfat menjadi tanah yang baik, seperti penambahan bahan organik, dapat meningkatkan

populasi mikroorganisme pelarut fosfat. Penambahan kompos atau pupuk kandang tidak hanya menyediakan nutrisi tambahan, tetapi juga mendukung pertumbuhan mikroba yang berperan dalam proses pelarutan fosfat (Vassilev, 2006).

b. Mineralisasi Fosfor Organik

Fosfor yang terdapat dalam bahan organik tanah harus melalui proses mineralisasi agar dapat digunakan oleh tanaman. Proses ini melibatkan mikroorganisme tanah yang menguraikan senyawa organik yang mengandung fosfor menjadi bentuk anorganik yang dapat diserap oleh tanaman, seperti ortofosfat (H_2PO_4^- atau HPO_4^{2-}). Peran Mikroorganisme dalam mineralisasi dilakukan oleh mikroorganisme seperti bakteri dan fungi saprofit berperan penting dalam mineralisasi fosfor organik. Ketika bahan organik seperti sisa-sisa tanaman atau pupuk kandang terdekomposisi, mikroorganisme ini melepaskan fosfor yang terikat dalam bentuk organik dan mengubahnya menjadi fosfor anorganik yang tersedia bagi tanaman (Sylvia, et al., 1999). Pengaruh Kondisi Lingkungan dalam proses mineralisasi fosfor organik dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk suhu, kelembaban, dan ketersediaan bahan organik. Tanah yang memiliki tingkat kelembaban yang cukup dan suhu optimal akan meningkatkan aktivitas mikroba, sehingga mempercepat proses mineralisasi (Rodríguez & Fraga, 1999).

7.4.3 Transformasi Sulfur oleh Mikroorganisme

Sulfur, seperti fosfor, juga mengalami transformasi biologis di dalam tanah melalui proses oksidasi dan reduksi. Sulfur tersedia di tanah dalam bentuk organik dan anorganik, dan mikroorganisme berperan penting dalam mengubah sulfur organik menjadi bentuk sulfat (SO_4^{2-}) yang dapat diserap oleh tanaman.

a. Oksidasi Sulfur

Oksidasi sulfur adalah proses di mana sulfur dioksidasi menjadi sulfat oleh bakteri autotrofik seperti *Thiobacillus* dan *Beggiatoa*.

a. Oksidasi Sulfur

Oksidasi sulfur adalah proses di mana sulfur diubah menjadi bentuk sulfat (SO_4^{2-}) oleh mikroorganisme autotrofik, terutama oleh bakteri *Thiobacillus*, *Acidithiobacillus*, dan *Beggiatoa*. Bentuk sulfat ini adalah bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman. Proses ini biasanya terjadi pada tanah yang mengandung sulfur anorganik atau sulfur organik yang perlu dioksidasi agar tersedia untuk tanaman. Mikroorganisme autotrofik yang terlibat dalam oksidasi sulfur memperoleh energi dengan mengoksidasi sulfur elementer (S) atau senyawa sulfur lain, seperti sulfida (S^{2-}), menjadi sulfat (SO_4^{2-}). *Thiobacillus thiooxidans* dan *Thiobacillus ferrooxidans* adalah contoh bakteri yang banyak ditemukan pada tanah asam yang kaya sulfur. Mereka mampu mengoksidasi sulfur dan mengubahnya menjadi sulfat, yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman (Kapoor et al., 2016). Pengaruh Lingkungan terhadap Oksidasi Sulfur lebih cepat terjadi di tanah yang aerasi dan kelembaban yang baik. Kondisi pH tanah yang rendah (asam) juga meningkatkan aktivitas mikroorganisme oksidator sulfur. Namun, pada tanah yang terlalu kering atau tergenang air, aktivitas bakteri sulfur akan menurun, yang mengakibatkan pengurangan ketersediaan sulfur bagi tanaman (Stevenson & Cole, 1999).

b. Mineralisasi Sulfur Organik

Sebagian besar sulfur di tanah terkandung dalam bentuk organik, dan perlu dimineralisasi menjadi bentuk anorganik (sulfat) agar dapat diserap oleh tanaman. Proses ini dilakukan oleh mikroorganisme heterotrofik, yang memecah senyawa organik yang mengandung sulfur menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman. Peran mikroorganisme saprofit dalam Mineralisasi Sulfur seperti bakteri dan fungi terlibat dalam proses dekomposisi bahan organik yang mengandung sulfur. Selama proses dekomposisi, sulfur organik dilepaskan dalam bentuk sulfat melalui aksi mikroorganisme tanah. Proses ini penting dalam tanah-tanah yang kaya bahan organik, seperti tanah gambut atau tanah yang telah menerima aplikasi pupuk

kandang (Eriksen, 2009). Kondisi yang Mempengaruhi Mineralisasi Sulfur: yaitu kelembaban, suhu, dan ketersediaan bahan organik. Tanah yang terlalu kering atau terlalu dingin akan memperlambat aktivitas mikroorganisme, sehingga proses mineralisasi sulfur akan terganggu. Sebaliknya, kondisi kelembaban tanah yang optimal dan ketersediaan bahan organik yang melimpah akan mempercepat proses mineralisasi (Sylvia, et al., 1999).

7.4.4 Transformasi Mikrobiologis Unsur Mikro

Selain unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan sulfur, mikroorganisme tanah juga memainkan peran dalam transformasi unsur mikro, seperti besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), dan tembaga (Cu). Mikroorganisme berperan dalam siklus biogeokimia unsur-unsur ini, membuatnya tersedia atau mengendapkannya tergantung pada kondisi tanah dan jenis mikroba yang terlibat.

a. Transformasi Besi (Fe)

Besi dalam tanah umumnya ditemukan dalam dua bentuk, yaitu feri (Fe^{3+}) yang tidak larut dan tidak dapat digunakan oleh tanaman, serta fero (Fe^{2+}) yang larut dan tersedia bagi tanaman. Mikroorganisme tanah, seperti bakteri pengoksidasi besi dan bakteri pereduksi besi, berperan penting dalam siklus besi. Bakteri Pengoksidasi Besi seperti *Gallionella* dan *Leptothrix* mengoksidasi besi dari bentuk fero (Fe^{2+}) menjadi bentuk feri (Fe^{3+}). Oksidasi ini biasanya terjadi di lingkungan yang aerobik. Meskipun besi feri tidak tersedia bagi tanaman, keberadaan mikroorganisme pengoksidasi besi menunjukkan pentingnya siklus besi dalam tanah (Lovley, 1997). Bakteri Pereduksi Besi dalam kondisi anaerobik, seperti pada tanah yang tergenang air, bakteri pereduksi besi seperti *Geobacter* dan *Shewanella* mengubah besi dari bentuk feri (Fe^{3+}) yang tidak tersedia menjadi bentuk fero (Fe^{2+}) yang larut dan dapat diserap oleh tanaman. Proses ini meningkatkan ketersediaan besi pada kondisi yang sangat terbatas oksigen (Weber, 2006).

b. Transformasi Seng (Zn), Mangan (Mn), dan Tembaga (Cu)

Unsur mikro seperti seng, mangan, dan tembaga sangat penting bagi pertumbuhan tanaman, tetapi ketersediaannya di tanah sering kali terbatas oleh proses geokimia. Mikroorganisme tanah mempengaruhi ketersediaan unsur mikro ini melalui berbagai mekanisme, termasuk pelarutan mineral dan transformasi redoks. Pelarutan Mineral oleh Mikroorganisme, seperti bakteri pelarut fosfat dan fungi mikoriza arbuskular, mampu melarutkan mineral tanah yang mengandung unsur mikro dengan menghasilkan asam organik. Misalnya, asam organik yang dihasilkan oleh bakteri *Pseudomonas* dan fungi *Glomus* dapat medinamisisasi unsur mikro seperti seng dan mangan dari mineral yang tidak larut (Whiting et al., 2021). Transformasi Redoks oleh mikroorganisme juga mempengaruhi ketersediaan unsur mikro di tanah. Misalnya, bakteri pengoksidasi mangan mengubah mangan dari bentuk yang larut (Mn^{2+}) menjadi bentuk yang tidak larut (Mn^{4+}), sementara bakteri pereduksi mangan dapat melakukan kebalikannya. Proses ini bergantung pada kondisi oksigen di tanah (Tebo et al., 2004).

7.4.5 Interaksi Mikroorganisme dan Pupuk Organik

Pupuk organik, seperti kompos dan pupuk kandang, tidak hanya menyediakan nutrisi bagi tanaman, tetapi juga mendukung populasi mikroorganisme tanah yang terlibat dalam transformasi nutrisi. Penambahan bahan organik ke dalam tanah meningkatkan aktivitas mikroba, yang pada gilirannya mempercepat proses dekomposisi dan mineralisasi nutrisi.

a. Pupuk Kandang dan Kompos

Pupuk kandang dan kompos adalah sumber utama bahan organik yang digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah. Selain menyediakan nutrisi makro dan mikro, bahan organik ini juga memperbaiki sifat fisik tanah, seperti struktur dan aerasi tanah, yang mendukung aktivitas mikroorganisme. Aktivasi Populasi Mikroba pada pembuatan pupuk kandang atau kompos akan meningkatkan

populasi mikroorganisme yang terlibat dalam dekomposisi bahan organik, seperti bakteri saprofit dan fungi dekomposer. Mikroorganisme ini memainkan peran penting dalam menguraikan senyawa organik kompleks menjadi bentuk nutrisi yang dapat digunakan oleh tanaman, seperti nitrogen, fosfor, dan sulfur (Sylvia, et al., 1999). Mikroba Penambat Nitrogen di Pupuk Organik pada Pupuk kandang dan kompos juga sering kali mengandung mikroorganisme penambat nitrogen yang dapat meningkatkan kandungan nitrogen di tanah. Misalnya, bakteri *Azotobacter* yang sering ditemukan di kompos, mampu mengikat nitrogen dari atmosfer dan menyediakannya bagi tanaman (Chen, 2021)

b. Mikoriza dan Aplikasi Pupuk Organik

Fungi mikoriza, khususnya mikoriza arbuskular, bersimbiosis dengan akar tanaman dan membantu penyerapan nutrisi, terutama fosfor, yang bersifat kurang dinamis di dalam tanah. Aplikasi pupuk organik meningkatkan interaksi antara tanaman dan fungi mikoriza karena menyediakan bahan organik yang mendukung pertumbuhan fungi tersebut. Peran Mikoriza dalam Penyerapan Fosfor yaitu *Mikoriza arbuskular* meningkatkan luas area penyerapan akar dengan menembus lapisan tanah yang tidak terjangkau oleh akar tanaman. Dalam simbiosis ini, fungi mikoriza membantu tanaman menyerap fosfor dan nutrisi mikro, seperti seng dan tembaga, sementara tanaman menyediakan karbohidrat yang diperlukan untuk pertumbuhan fungi (Smith & Read, 2008).

DAFTAR PUSTAKA

- Barber, S. A. (1995). *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. John Wiley & Sons.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The Nature and Properties of Soils*. Pearson Education.
- Cameron, K. C., Di, H. J., & Moir, J. L. (2013). Nitrogen losses from the soil/plant system. *A Review. Annals of Applied Biology*, 162(2), 145–173.
- Chen, X. (2021). The role of organic amendments in improving soil fertility and crop yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(1), 1–17.
- Chien, S. H., Prochnow, L. I., & Cantarella, H. (2009). *Agronomic Effectiveness of Phosphate Fertilizers*. Soil Science and Plant Nutrition.
- Döbereiner, J. (1997). The role of biological nitrogen fixation in sustainable agriculture. *Fertilizer Research*, 38(2), 163–173.
- Eriksen, J. (2009). Microbial sulfur transformations in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(8), 1596–1602.
- Firestone, M. K. (1982). The role of microorganisms in denitrification. *Soil Science Society of America Journal*, 46(4), 728–773.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2013). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Pearson Education.
- Kapoor, R., James, J., & Gupta. (2016). Microbial transformations of sulfur in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 99, 12–24.
- Lovley, D. R. (1997). Microbial reduction of iron and the cycling of iron in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 61(4), 1158–1165.
- Paul, E. A., & Clark, F. E. (1996). *Soil Microbiology and Biochemistry*. 2nd ed. CRC Press.
- Prasad, R., & Power, J. F. (1997). *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture*. CRC Press.

- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4), 319–339.
- Sharpley, A. N., Smith, S. J., & Bain, W. R. (1994). Nitrogen and phosphorus fate from long-term poultry litter applications to Oklahoma soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(2), 278–283.
- Shaviv, A. (2001). Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*, 71, 1–49.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd ed. Academic Press.
- Sommer, S. G., Olesen, J. E., & Christensen, B. T. (2004). Effects of temperature, wind speed and air humidity on ammonia volatilization from surface applied cattle slurry. *The Journal of Agricultural Science*, 143(5), 345–353.
- Stevenson, F. J., & Cole, M. A. (1999). *Cycles of Soils: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. John Wiley & Sons.
- Syers, J. K., Johnston, A. E., & Curtin, D. (2008). *Efficiency of Soil and Fertilizer Phosphorus Use*. FAO.
- Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., & Zuberer, D. (1999). *Principles and Applications of Soil Microbiology*. 2nd ed. Prentice Hall.
- Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Zuberer, D., & Hartel, P. G. (1999). *Soil Microbiology and Biochemistry*. CRC Press.
- Tebo, B. M., Johnson, H. A., McCarthy, J. K., & Templeton, A. S. (2004). Biological manganese oxidation. *Geobiology*, 2(2), 185–197.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D., & Havlin, J. L. (1985). *Soil Fertility and Fertilizers*. Pearson Education.
- Vassilev, N. (2006). Biological dinamisation of phosphorus in soils. *Plant and Soil*, 286(2), 173–184.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586.

- Weber, K. A. (2006). Geobacter and Shewanella: Two model organisms for bioenergy and bioremediation. *Current Opinion in Microbiology*, 9(3), 256–261.
- Whiting, R. C., Wahab, A., & Muhammad, M. (2021). The role of fungi in the solubilization of zinc from soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(8), 1145–1150.

PROFIL PENULIS



Alfan setya winurdana adalah Dosen tetap Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Islam Balitar. Menyelesaikan Pendidikan Sarjana Peternakan (S.Pt) di Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya tahun 2016 dan Pendidikan Magister Peternakan di Fakultas Peternakan Universitas Islam Malang (M.Pt) tahun 2020. Bekerja sebagai dosen Fakultas Pertanian dan Peternakan program studi Ilmu Ternak (Strata S-1) mengampu mata kuliah Dasar Nutrisi dan Bahan Pakan Ternak, Ilmu Produksi Ternak Ruminansia, Ilmu Produksi Ternak Non Ruminansia, Penyusunan Pakan Unggas Berbasis Bahan Lokal. Penelitian dan pengabdian dilakukan banyak di bidang nutrisi dan pakan ternak diantaranya Penggunaan crude palm oil (cpo) berbagai level pada pakan terhadap performa bebek peking. Perbedaan penggunaan bioslurry dan pupuk komersial pada tanaman pakan rumput pakchong. Implementasi digital marketing booster fermentasi mandiri dalam peningkatan pendapatan kelompok tani lestari II. Pengabdian kelompok ternak sapi melalui formulasi pakan di gapoktan rukun tani desa sutojayan kabupaten Blitar. Penulis memiliki beberapa Hak Kekayaan Intelektual (HKI) diantaranya Formulasi Pakan Ruminansia Berbasis By Product Industry dan Booster Fermentasi Pengawet Pakan Hijauan

Email : alfanyadana@gmail.com

HP : 083848544048



REKOMENDASI PEMUPUKAN

Palupi Puspitorini
Universitas Islam Balitar

I. Pendahuluan

Tanah merupakan media tumbuh utama bagi tanaman karena menyediakan unsur hara yang diperlukan untuk mendukung proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Namun, ketersediaan unsur hara di dalam tanah sering kali tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan tanaman secara optimal. Oleh karena itu, pemupukan menjadi langkah penting untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara. Pertumbuhan tanaman akan optimal jika semua faktor pendukung, seperti unsur hara, air, cahaya, dan suhu, tersedia dalam jumlah yang cukup dan seimbang (Sufardi, 2020). Dalam praktik pertanian, pemeliharaan tanaman yang baik tidak dapat dipisahkan dari pemberian pupuk. Pupuk memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung produktivitas pertanian, baik dari segi kuantitas maupun kualitas hasil panen. Oleh karena itu, pemupukan yang tepat menjadi salah satu kunci keberhasilan dalam pembudidayaan tanaman. Agar tanaman jagung tumbuh dengan

optimal, maka metode aplikasi pupuk yang tepat dan benar sangat diperlukan. Metode Pemupukan adalah salah satu paket teknologi yang mampu menaikkan produksi tanaman dan mempunyai peranan penting dalam peningkatan produksi tanaman (Makmur & Zainuddin, 2020)

II. Ketersediaan hara dalam tanah

Keberadaan unsur hara di tanah merupakan salah satu faktor kunci dalam mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Unsur hara ini, baik yang berupa makronutrien (seperti nitrogen, fosfor, dan kalium) maupun mikronutrien (seperti besi, mangan, dan seng), memiliki peran masing-masing dalam berbagai proses fisiologis tanaman. Tanah yang kaya akan unsur hara mampu memberikan pasokan nutrisi yang cukup bagi tanaman untuk menjalankan proses fotosintesis, pembentukan jaringan, dan metabolisme (Nuriyah, 2020). Namun, ketersediaan unsur hara ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tekstur tanah, pH, kandungan bahan organik, dan aktivitas mikroorganisme. Oleh karena itu, pengelolaan tanah yang baik, seperti melalui pemupukan dan pengaplikasian bahan organik, sangat penting untuk memastikan kecukupan unsur hara bagi tanaman. Dengan kecukupan hara yang memadai, tanaman dapat tumbuh dengan optimal, menghasilkan biomassa yang lebih banyak, dan meningkatkan produktivitas hasil pertanian (Riyani & Purnamawati, 2019). Faktor-faktor tersebut adalah,

2.1. Tekstur tanah

Tekstur tanah adalah sifat fisik tanah yang menggambarkan perbandingan relatif antara partikel tanah berupa pasir, debu, dan lempung (Puspitorini Palupi, 2024). Tekstur ini sangat berpengaruh pada kemampuan tanah dalam menyimpan dan menyediakan unsur hara bagi tanaman.

1. Tanah bertekstur kasar (berpasir)

Tanah berpasir memiliki partikel yang besar, sehingga pori-porinya lebih besar. Ini menyebabkan air dan unsur hara mudah

tercuci karena infiltrasi yang cepat. Akibatnya, tanah berpasir cenderung miskin unsur hara, meskipun memiliki drainase yang baik.

2. Tanah bertekstur halus (lempung atau liat)

Tanah liat memiliki partikel kecil dengan pori-pori yang sangat halus. Partikel kecil ini memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, sehingga mampu menyerap dan menyimpan unsur hara dengan baik. Namun, tanah liat sering kali memiliki drainase yang buruk, yang bisa menyebabkan tergenangnya air dan kekurangan oksigen bagi akar.

3. Tanah lempung:

Tekstur tanah ini dianggap ideal karena memiliki perbandingan pasir, debu, dan liat yang seimbang. Tanah lempung mampu menahan air dan unsur hara dengan baik sambil tetap memiliki drainase dan aerasi yang cukup.

Pengaruh tekstur tanah pada Ketersediaan Unsur Hara adalah dalam hal 1). **Penyerapan Unsur Hara:** Tanah dengan tekstur halus cenderung lebih baik dalam menyerap dan menyimpan unsur hara karena luas permukaan partikelnya lebih besar. 2). **Drainase dan Aerasi:** Tekstur kasar memungkinkan drainase cepat, tetapi ini bisa menyebabkan kehilangan unsur hara melalui pencucian (leaching). Sebaliknya, tekstur terlalu halus bisa mengurangi ketersediaan oksigen, yang penting untuk aktivitas akar dan mikroba tanah. 3). **Pupuk dan Pengelolaan:** Pada tanah berpasir, pemupukan perlu dilakukan lebih sering tetapi dalam jumlah kecil, karena unsur hara cepat tercuci. Pada tanah liat, pupuk lebih lama tersimpan, tetapi distribusinya di dalam tanah mungkin kurang merata.

2.2. pH Tanah

pH tanah adalah faktor penting yang mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Tingkat keasaman atau kebasaan tanah, yang diukur melalui pH, dapat mempengaruhi bagaimana unsur hara terlarut dalam larutan tanah dan dapat diserap oleh tanaman. Ketersediaan fosfor di dalam tanah dipengaruhi oleh

banyak faktor, akan tetapi yang paling penting ialah pH tanah. Fosfor akan bereaksi dengan ion besi dan aluminium dan membentuk besi fosfat dan aluminium fosfat yang sukar larut dalam air sehingga tidak dapat digunakan oleh tanaman pada tanah yang memiliki pH rendah atau masam. Fosfor akan bereaksi dengan ion kalsium dan membentuk kalsium fosfat yang sukar larut sehingga tidak dapat digunakan oleh tanaman pada tanah yang memiliki pH tinggi atau alkalis (Siswanto, 2019). Berikut adalah bagaimana pH tanah mempengaruhi ketersediaan unsur hara:

1. Unsur Hara Makro

- Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K): Pada pH netral hingga sedikit asam (6–7), unsur-unsur ini tersedia secara optimal. Di tanah yang terlalu asam atau terlalu basa, terutama pada pH di bawah 5 atau di atas 8, fosfor menjadi kurang larut, sehingga sulit diserap oleh tanaman.
- Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg): Lebih tersedia di pH netral hingga sedikit basa (pH 6–8). Pada pH rendah, unsur ini berkurang karena tanah cenderung mengikat kation lainnya, seperti hidrogen dan aluminium, yang membuat kalsium dan magnesium kurang tersedia.

2. Unsur Hara Mikro

- Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zn), Tembaga (Cu): Umumnya lebih tersedia pada pH tanah yang lebih rendah (5–6). Pada pH yang lebih tinggi, unsur mikro ini dapat membentuk senyawa yang tidak larut, sehingga ketersediaannya menurun, yang sering terjadi pada tanah alkalin.
- Molibdenum (Mo): Menjadi lebih tersedia pada pH yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada pH rendah, molibdenum lebih sedikit tersedia, yang bisa menyebabkan defisiensi pada tanaman tertentu.

Pengaruh pH Ekstrem dimana pada tanah dengan pH sangat asam (di bawah 5), ion aluminium (Al^{3+}) menjadi lebih tersedia dan dapat menjadi racun bagi tanaman, yang dapat menghambat

penyerapan unsur hara lainnya. Pada pH yang sangat basa (di atas 8), karbonat dan bikarbonat bisa terbentuk, yang juga mengikat unsur hara penting sehingga tidak bisa diserap oleh tanaman (Rukmana et al., 2019). Pada tanah masam, pengapuran dengan kapur pertanian (kalsium karbonat atau dolomit) dapat membantu menaikkan pH, sehingga unsur hara akan lebih tersedia.

Aplikasi bahan organik dimana kita melakukan penambahan bahan organik atau pupuk organik ke dalam tanah akan membantu dalam menstabilkan pH tanah. Aplikasi sulfur atau pupuk asam pada tanah yang sangat basa, penambahan sulfur atau pupuk yang bersifat asam dapat menurunkan pH. pH tanah merupakan faktor kimia penting yang sangat memengaruhi ketersediaan unsur hara di tanah (Gambar 1). Pengaruh pH Tanah terhadap Ketersediaan Unsur Hara sebagai berikut,

1. pH Asam ($\text{pH} < 6$):

Makronutrien: Unsur-unsur seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) menjadi kurang tersedia karena pelarutannya menurun dalam kondisi asam. Fosfor, misalnya, terikat oleh besi dan aluminium, sehingga tidak dapat diakses oleh tanaman. Mikronutrien: Besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), dan boron (B) lebih tersedia dalam pH rendah, tetapi jika terlalu asam, beberapa di antaranya dapat menjadi racun bagi tanaman.

2. pH Netral hingga Sedikit Basa ($\text{pH} 6\text{--}7,5$):

Pada rentang ini, sebagian besar unsur hara, baik makronutrien maupun mikronutrien, berada dalam kondisi yang paling tersedia untuk diserap oleh tanaman. Inilah pH yang ideal untuk sebagian besar tanaman.

3. pH Basa ($\text{pH} > 7,5$):

Makronutrien: Fosfor kembali menjadi kurang tersedia karena berikatan dengan kalsium (Ca), membentuk senyawa yang sulit larut. Mikronutrien: Unsur seperti besi, mangan, seng, dan tembaga menjadi kurang tersedia, karena terperangkap dalam bentuk senyawa yang tidak larut.

Dampak pada Mikroorganisme Tanah:

Mikroba pengurai: Mikroorganisme yang berperan dalam proses dekomposisi dan pelepasan hara organik cenderung aktif dalam rentang pH 6–7. Bakteri pengikat nitrogen: Aktivitasnya menurun pada pH yang terlalu asam atau basa.

Strategi Pengelolaan pH asam yaitu dengan melakukan pengapuran menggunakan bahan seperti dolomit atau kapur pertanian untuk menaikkan pH tanah, menggunakan pupuk yang tidak menambah keasaman tanah, seperti urea dibandingkan amonium sulfat. Pada pH Basa dilakukan pengelolaan dengan menambahkan bahan organik seperti kompos untuk meningkatkan ketersediaan mikronutrien, menggunakan sulfur atau gypsum untuk membantu menurunkan pH tanah secara perlahan.

2.3. Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah memiliki peran penting dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara, salah satunya melalui hubungannya dengan kapasitas tukar kation (KTK). KTK adalah kemampuan tanah untuk menahan dan menukar kation (ion bermuatan positif) yang penting bagi tanaman (Sahfitra, 2023), seperti kalium (K^+), kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan amonium (NH_4^+). Pengaruh Bahan Organik pada KTK adalah meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KTK). Dengan sifat bahan organik, seperti humus, memiliki muatan negatif yang tinggi mampu menarik dan menahan kation di sekitar permukaannya, sehingga meningkatkan KTK tanah. Tanah dengan KTK tinggi lebih mampu menyimpan kation esensial, sehingga mencegah kehilangan unsur hara akibat pencucian (leaching). Bahan Organik dapat pula menyediakan unsur hara secara langsung dengan mekanisme proses dekomposisi oleh mikroorganisme tanah, ia melepaskan unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan sulfur (S) dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman. Sifatnya dalam memperbaiki struktur tanah maka bahan organik membantu membentuk agregat tanah, meningkatkan aerasi, dan kemampuan tanah untuk menahan air. Kondisi ini mendukung

aktivitas mikroba tanah yang berperan dalam siklus hara. Bahan organik mampu menstabilkan pH tanah (*buffering ph*), sehingga unsur hara lebih tersedia dalam rentang pH yang optimal.

2.4. Mikroorganisme tanah

Aktivitas mikroorganisme tanah memainkan peran penting dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman. Mikroorganisme ini, termasuk bakteri, jamur, aktinomisetes, dan alga, terlibat dalam proses dekomposisi bahan organik, mineralisasi, fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan siklus hara lainnya. Pengaruh aktivitas mikroorganisme terhadap ketersediaan unsur hara adalah menguraikan bahan organik menjadi bentuk yang lebih sederhana, seperti senyawa nitrogen (amonia dan nitrat), fosfor (fosfat), dan sulfur (sulfat), yang dapat diserap oleh tanaman (Wibowo et al., 2012). Proses ini sangat penting untuk melepaskan hara dari bahan organik seperti kompos dan sisa-sisa tanaman. **Fiksasi Nitrogen:** Bakteri pengikat nitrogen, seperti *Rhizobium* (bersimbiosis dengan tanaman legum) dan *Azotobacter* (hidup bebas), mengubah nitrogen bebas di udara menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman, yaitu amonium (NH_4^+). Proses ini penting untuk meningkatkan kandungan nitrogen di tanah, terutama pada tanah dengan kandungan nitrogen rendah. **Pelarutan Fosfat:** Mikroorganisme seperti *Pseudomonas* dan *Bacillus* membantu melarutkan fosfat dari senyawa yang tidak larut di tanah, sehingga dapat diserap oleh akar tanaman. Ini meningkatkan ketersediaan fosfor, yang penting untuk pertumbuhan akar dan pembentukan energi (ATP). **Produksi Hormon dan Enzim:** Mikroorganisme menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin dan sitokinin, yang mendukung pertumbuhan akar dan penyerapan hara. Enzim seperti fosfatase dan dehidrogenase membantu mempercepat proses kimia dalam tanah yang meningkatkan ketersediaan hara. **Penguraian Senyawa Beracun:** Mikroorganisme dapat menguraikan senyawa beracun di tanah, seperti pestisida, yang dapat menghambat penyerapan unsur hara oleh tanaman. **Siklus Hara:** Mikroorganisme

berperan dalam siklus biogeokimia, seperti siklus karbon, nitrogen, fosfor, dan sulfur, yang menjaga keseimbangan unsur hara di tanah.

Faktor yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme adalah pH tanah dimana mikroorganisme bekerja optimal pada pH tanah 6–7. Kondisi terlalu asam atau basa dapat menghambat aktivitas mereka. Tanah dengan kelembaban yang baik mendukung aktivitas mikroba. Tanah terlalu kering atau terlalu basah mengurangi populasi mikroba. Ketersediaan bahan organik sebagai sumber makanan utama mikroorganisme sangat penting untuk mendukung aktivitas mereka. Mikroorganisme aerob membutuhkan oksigen untuk bekerja secara efisien. Tanah yang terlalu padat mengurangi aerasi dan aktivitas mikroba. Strategi untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme adalah dengan penambahan bahan organik misalnya dengan aplikasi kompos, pupuk kandang, atau sisa tanaman dapat meningkatkan populasi mikroorganisme.

III. Pemupukan berimbang untuk hasil tanaman

Pemupukan berimbang adalah pemberian pupuk yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman, ketersediaan hara di tanah, dan kondisi lingkungan, sehingga tanaman mendapatkan semua unsur hara dalam jumlah yang cukup dan seimbang (Jamilah et al., 2018). Pendekatan ini penting untuk mencapai hasil tanaman yang optimal, efisiensi pemupukan, serta menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang. Prinsip pemupukan berimbang adalah pemenuhan Makronutrien yang merupakan unsur hara utama yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar: Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dimana Nitrogen (N): Mendukung pertumbuhan vegetatif (daun dan batang). Fosfor (P): Penting untuk pembentukan akar, bunga, dan buah. Kalium (K): Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman dan kualitas hasil panen. Kemudian juga pemenuhan Mikronutrien: Unsur seperti Besi (Fe), Seng (Zn), Boron (B), dan Mangan (Mn) diperlukan dalam jumlah kecil tetapi esensial untuk proses fisiologis tanaman. Misalnya, Boron penting untuk pembentukan bunga dan buah, sementara Seng mendukung sintesis hormon pertumbuhan.

Hal yang harus diperhatikan dalam upaya pemupukan berimbang adalah upaya menyesuaikan dengan ketersediaan unsur hara di tanah maka dilakukan analisis tanah untuk mengetahui kandungan hara awal. Jika suatu unsur sudah cukup, pemberian pupuk tambahan untuk unsur tersebut dapat dihindari. Proporsi pupuk juga harus tepat sesuai tahap pertumbuhan tanaman. Dimana pada awal pertumbuhan pupuk kaya nitrogen (misalnya, urea) berfungsi untuk mendukung perkembangan daun dan batang. Pada fase berbunga dan berbuah diberikan pupuk dengan kandungan fosfor dan kalium lebih tinggi. Pemupukan harus dilakukan dalam dosis yang tepat dan dibagi dalam beberapa kali aplikasi untuk menghindari kehilangan unsur hara melalui pencucian atau penguapan. Manfaat pemupukan berimbang adalah akan mendapatkan hasil tanaman yang optimal.

Tanaman mendapatkan nutrisi sesuai kebutuhan, menghasilkan panen yang lebih baik dari segi kuantitas dan kualitas. Selain itu bahwa kita akan memperoleh nilai efisiensi penggunaan pupuk yang sesuai dengan kebutuhan dan dapat menghindarkan pemborosan biaya dan dampak negative pada lingkungan. Penggunaan pupuk berimbang mencegah kerusakan struktur tanah dan ketidakseimbangan unsur hara dalam tanah. Lingkungan menjadi lebih bersih mengurangi risiko pencemaran air tanah dan emisi gas rumah kaca.

Contoh Pemupukan Berimbang:

Padi:

- Pra tanam: Pemberian pupuk organik (kompos/pupuk kandang) untuk memperbaiki struktur tanah.
- Fase vegetatif awal (0–21 HST): Nitrogen tinggi (misalnya urea: 50 kg/ha).
- Fase primordia (28–35 HST): Kombinasi Nitrogen, Fosfor, dan Kalium (misalnya NPK: 20-20-20, 100 kg/ha).
- Fase generatif (45 HST): Fosfor dan Kalium dominan (NPK: 10-20-30, 50 kg/ha).

Hortikultura (Tomat):

- Awal tanam: Pupuk dasar dengan kandungan Fosfor tinggi (SP-36: 200 kg/ha).
- Fase pertumbuhan: Pupuk nitrogen tinggi (urea: 100 kg/ha, diberikan dalam dua kali aplikasi).
- Fase pembentukan buah: Pupuk kalium tinggi (KCl: 75 kg/ha) untuk meningkatkan kualitas buah.

IV. Serapan Hara

Serapan hara oleh tanaman, termasuk oleh daun, dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling terkait. Faktor-faktor ini dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama: faktor tanah yang berkaitan dengan ketersediaan hara, dan faktor tanaman yang menentukan kemampuan tanaman untuk menyerap unsur hara dari tanah.

1. Faktor Tanah:

Tanah yang kaya hara belum tentu menjamin serapan optimal jika tanaman tidak memiliki sistem perakaran yang baik atau terhambat oleh faktor lingkungan (Tando, 2019). Faktor ini menentukan sejauh mana unsur hara tersedia dalam bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Tingginya konsentrasi hara, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, akan meningkatkan peluang akar tanaman untuk menyerapnya. Unsur hara harus dalam bentuk yang larut dalam air atau dapat diserap, misalnya nitrat (NO_3^-) atau amonium (NH_4^+) untuk nitrogen.

pH tanah memengaruhi kelarutan unsur hara. Sebagian besar hara tersedia optimal pada pH 6–7. Jika terlalu asam atau basa, beberapa unsur seperti fosfor atau besi menjadi tidak tersedia. Tanah dengan KTK tinggi, seperti tanah yang kaya bahan organik atau liat, mampu menahan dan menyediakan lebih banyak kation esensial (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Air di tanah membantu melarutkan unsur hara dan memudahkan penyerapan oleh akar. Kekeringan dapat mengurangi serapan hara. Tanah yang terlalu padat atau tergenang air mengurangi

oksigen, yang penting bagi aktivitas akar dan mikroorganisme untuk mendukung penyerapan hara. Mikroorganisme membantu memineralisasi bahan organik dan melarutkan fosfat, sehingga meningkatkan ketersediaan unsur hara.

2. Faktor Tanaman:

Sebaliknya, tanaman dengan kemampuan serapan tinggi tetap membutuhkan tanah dengan hara yang tersedia dalam jumlah cukup (Siswanto, 2019). Faktor ini menentukan efisiensi tanaman dalam menyerap dan memanfaatkan unsur hara yang tersedia. Tanaman dengan akar yang luas dan bercabang banyak memiliki kemampuan lebih baik untuk menjangkau unsur hara di tanah. Akar rambut yang aktif berperan dalam meningkatkan kontak dengan larutan tanah. Transpirasi daun menciptakan aliran air dari tanah ke tanaman. Aliran ini membawa unsur hara terlarut menuju akar. Daun yang sehat dan aktif secara fotosintesis memerlukan lebih banyak hara untuk mendukung aktivitas metabolisme. Kekurangan hara dapat menyebabkan daun kuning atau layu. Pada fase vegetatif, tanaman lebih membutuhkan nitrogen untuk mendukung pembentukan daun dan batang. Sedangkan pada fase generatif, kebutuhan fosfor dan kalium meningkat untuk pembentukan bunga dan buah. Beberapa varietas tanaman memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyerap dan memanfaatkan hara dibandingkan varietas lain. Mikoriza, jenis jamur yang bersimbiosis dengan akar tanaman, membantu meningkatkan serapan fosfor dan elemen lain dari tanah.

V. Perhitungan pemupukan

Menghitung kebutuhan pupuk berdasarkan ketersediaan unsur hara di tanah dan kebutuhan serapan tanaman memerlukan langkah-langkah sistematis. Pendekatan ini memastikan pupuk yang diberikan sesuai dengan kekurangan hara yang perlu dipenuhi, sehingga efisien dan mendukung pertumbuhan optimal tanaman.

Langkah-Langkah Perhitungan Kebutuhan Pupuk

1. Analisis Tanah:

Dilakukan untuk mengetahui kadar hara tanah, seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta parameter seperti pH dan KTK.

Contoh hasil analisis tanah:

- Nitrogen tersedia: 0,05% (setara 50 kg N/ha)
- Fosfor tersedia: 15 ppm (setara 30 kg P₂O₅/ha)
- Kalium tersedia: 0,2 me/100 g (setara 80 kg K₂O/ha).

2. Menentukan Kebutuhan Hara Tanaman:

Berdasarkan kebutuhan tanaman untuk mencapai target hasil. Kebutuhan ini biasanya tersedia dalam literatur atau rekomendasi teknis dari institusi pertanian.

Contoh kebutuhan hara padi untuk hasil 6 ton/ha:

- Nitrogen: 120 kg N/ha
- Fosfor: 50 kg P₂O₅/ha
- Kalium: 90 kg K₂O/ha.

3. Menghitung Kekurangan Hara:

Kekurangan hara dihitung dengan mengurangi ketersediaan hara di tanah dari kebutuhan tanaman.

Rumus:

Kekurangan Hara (kg/ha) = Kebutuhan Hara Tanaman (kg/ha) - Hara Tersedia di Tanah (kg/ha)

Contoh:

- Kekurangan N: Kebutuhan tanaman = 120 kg N/ha, Ketersediaan di tanah = 50 kg N/ha maka kekurangan N = 120 - 50 = 70 kg N/ha
- Kekurangan P₂O₅: Kebutuhan tanaman = 50 kg P₂O₅/ha, ketersediaan di tanah = 30 kg P₂O₅/ha maka kekurangan P₂O₅ = 50 - 30 = 20 kg P₂O₅/ha

- Kekurangan Kalium (K_2O): Kebutuhan tanaman 90 kg K_2O /ha dimana ketersediaan di tanah 80 kg/ha maka kekurangan K_2O = $90-80 = 10$ kg K_2O /ha

4. Menentukan Jenis dan Dosis Pupuk:

Pilih pupuk berdasarkan kandungan hara utama yang dibutuhkan.

Misalnya:

- Urea: 46% N
- SP-36: 36% P_2O_5
- KCl: 60% K_2O .

Langkah-langkah menghitung:

1. Tentukan kekurangan hara (N, P_2O_5 , atau K_2O) dalam kg/ha.
2. Cari kandungan hara dalam pupuk (dalam bentuk fraksi, misalnya 46% menjadi 0,46).
3. Bagi kekurangan hara dengan kandungan hara dalam pupuk untuk mendapatkan dosis pupuk dalam kg/ha.

5. Rumus:

$$\text{Dosis Pupuk (kg/ha)} = \frac{\text{Kekurangan Hara (kg/ha)}}{\text{Kandungan Hara dalam Pupuk (fraksi)}}$$

Contoh:

- Dosis urea: Kekurangan hara N = 70 kg/ha, dimana kandungan N dalam urea 46% (0.46) maka dosis urea yang diperlukan adalah

$$\text{Dosis Urea} = 70/0.46 = 152.17 \text{ kg ura/ha}$$

- Dosis SP-36: Kekurangan hara Fosfor (P_2O_5) = 20 kg/ha P_2O_5 , dimana kandungan P_2O_5 dalam SP36 adalah 36% maka
Dosis SP 36 = $20/0.36 = 55.56$ kg/ha

- Dosis KCl: Kekurangan hara kalium (K_2O) = 10 kg/ha K_2O , dimana kandungan kalium (K_2O) dalam KCL adalah 60% (0.6) maka

$$\text{Dosis KCl} = 10/0.60 = 16.67 \text{ kg.ha}$$

6. Penyesuaian untuk Efisiensi Serapan:

Efisiensi serapan pupuk bervariasi tergantung jenis pupuk dan kondisi lingkungan:

- N: 50–60%
- P₂O₅: 20–30%
- K₂O: 50–70%.

Jika efisiensi serapan hanya 50%, tambahkan dosis pupuk untuk mencukupi kekurangan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Dosis Pupuk yang Disesuaikan (kg/ha)} = \frac{\text{Dosis Pupuk Awal (kg/ha)}}{\text{Efisiensi Serapan}}$$

Contoh perhitungan

Penyesuaian dosis urea:

- Dosis awal urea: 152,17 kg/ha
- Efisiensi serapan: 50% (0,5)

Dosis Urea Disesuaikan=152,170,5=304,34 kg/ha

Penyesuaian Dosis SP-36:

- Dosis awal SP-36: 55,56 kg/ha
- Efisiensi serapan: 50% (0,5)

Dosis SP-36 Disesuaikan=55,560,5=111,12 kg/ha

Penyesuaian Dosis KCl:

- Dosis awal KCl: 16,67 kg/ha
- Efisiensi serapan: 50% (0,5)

Dosis KCl Disesuaikan=16,670,5=33,34 kg/ha

VI. Rekomendasi Pemupukan

Rekomendasi pemupukan berdasarkan kebutuhan pupuk tanaman bertujuan untuk memenuhi kebutuhan unsur hara secara optimal sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman, kondisi tanah, dan tahap pertumbuhan tanaman. Pendekatan pemupukan yang tepat dapat meningkatkan hasil tanaman dan menjaga kesuburan tanah.

Berikut adalah langkah-langkah dalam merencanakan pemupukan yang efektif:

1. Mengetahui Kebutuhan Nutrisi Tanaman

- Kebutuhan Nitrogen (N): Tanaman membutuhkan nitrogen untuk pertumbuhan vegetatif, terutama pada pembentukan daun dan batang. Nitrogen sangat penting untuk proses fotosintesis dan sintesis protein.
- Kebutuhan Fosfor (P): Fosfor mendukung perkembangan akar yang sehat, serta pembungaan dan pembuahan pada tanaman.
- Kebutuhan Kalium (K): Kalium membantu tanaman mengatasi stres, memperkuat dinding sel, dan meningkatkan kualitas buah.
- Mikronutrien: Bahan-bahan seperti besi (Fe), boron (B), seng (Zn), dan mangan (Mn) diperlukan dalam jumlah kecil tetapi sangat penting untuk pertumbuhan tanaman yang sehat

2. Melakukan Analisis Tanah

Sebelum menentukan dosis pupuk yang tepat, lakukan analisis tanah untuk mengetahui:

- Kadar hara yang ada di tanah (misalnya N, P, K).
- pH tanah.
- KTK (Kapasitas Tukar Kation), yang menunjukkan kemampuan tanah dalam menahan dan menyediakan unsur hara.

3. Menentukan Kebutuhan Hara Tanaman

Berdasarkan kebutuhan unsur hara yang sudah diketahui, tentukan jumlah hara yang dibutuhkan oleh tanaman untuk mencapai hasil yang diinginkan. Misalnya, jika Anda menanam padi dengan target hasil 6 ton/ha, kebutuhan hara umumnya adalah:

- Nitrogen (N): 120 kg/ha.
- Fosfor (P_2O_5): 50 kg/ha.
- Kalium (K_2O): 90 kg/ha.

4. Menghitung Kekurangan Unsur Hara

Kekurangan hara dihitung dengan mengurangi kadar hara yang tersedia di tanah dari kebutuhan tanaman.

5. Menentukan Jenis dan Dosis Pupuk

Pilih jenis pupuk yang sesuai dengan kebutuhan hara tanaman.

Misalnya:

- Urea (46% N) untuk nitrogen.
- SP-36 (36% P₂O₅) untuk fosfor.
- KCl (60% K₂O) untuk kalium.

6. Menyesuaikan Pemupukan dengan Fase Pertumbuhan

Pemupukan harus disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman:

- Fase Vegetatif (Awal): Tanaman membutuhkan lebih banyak nitrogen untuk pertumbuhan daun dan batang.
 - Pupuk yang disarankan: Urea (N) dan pupuk dasar dengan kandungan fosfor (SP-36).
- Fase Pembungaan dan Pematangan: Pada fase ini, tanaman membutuhkan lebih banyak fosfor dan kalium.
 - Pupuk yang disarankan: SP-36 dan KCl (kalium).
- Pemupukan Susulan: Pupuk dapat diberikan dalam beberapa tahap selama pertumbuhan untuk mencukupi kebutuhan yang terus berubah.

7. Penyesuaian Berdasarkan Efisiensi Serapan

Efisiensi serapan pupuk berbeda tergantung pada jenis pupuk dan kondisi tanah. Misalnya, efisiensi serapan nitrogen (urea) bisa sekitar 50–60%, sedangkan fosfor lebih rendah, sekitar 20–30%. Oleh karena itu, jumlah pupuk yang diberikan bisa lebih tinggi untuk mengkompensasi kehilangan hara melalui volatilitas, pencucian, atau penggunaan yang tidak efisien oleh tanaman.

8. Pemupukan Berimbang

Pemupukan berimbang memastikan tanaman mendapatkan semua unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah yang tepat. Menggunakan pupuk tunggal atau campuran sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman, tanah, dan iklim yang ada.

Contoh Rekomendasi Pemupukan untuk Tanaman Padi (Hasil 6 Ton/Ha)

- **Analisis Tanah:**
 - Nitrogen (N) tersedia: 50 kg/ha.
 - Fosfor (P_2O_5) tersedia: 30 kg/ha.
 - Kalium (K_2O) tersedia: 80 kg/ha.

- **Kebutuhan Tanaman (Padi 6 Ton/Ha):**
 - Nitrogen: 120 kg/ha.
 - Fosfor: 50 kg/ha.
 - Kalium: 90 kg/ha.
- **Kekurangan Hara:**
 - Kekurangan N: $120 - 50 = 70$ kg N/ha
 - Kekurangan P_2O_5 : $50 - 30 = 20$ kg P_2O_5 /ha
 - Kekurangan K_2O : $90 - 80 = 10$ kg K_2O /ha

- **Dosis Pupuk:**
 - Urea (46% N): $700.46 = 152,17$ kg urea/ha
 - SP-36 (36% P_2O_5): $200.36 = 55,56$ kg SP-36/ha
 - KCl (60% K_2O): $100.60 = 16,67$ kg KCl/ha

- **Pemupukan Berimbang:**
 - Pastikan pemupukan dilakukan secara bertahap, misalnya:
 - Fase Vegetatif: 50% dari total dosis urea.
 - Fase Generatif: Tambahkan dosis SP-36 dan KCl pada fase pembungaan dan pembuahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Jamilah, Haryoko, W., Thesiwati, A. S., & Herman, W. (2018). Pemupukan Berimbang Dan Terpadu Pada Tanaman Pangan Di Kelompok Tani Karya Maju Korong Indarung nagari Aie Tajun. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Dewantara*, 1(1), 34–40.
- Makmur, M., & Zainuddin, D. U. (2020). Pengaruh Berbagai Metode Aplikasi Pupuk Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays L.*). *AGROVITAL: Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v5i1.631>
- Nuriyah, A. (2020). *Pengaruh kesuburan tanah terhadap nutrisi tanaman*. June, 1–13.
- Puspitorini Palupi, G. I. (2024). Dasar Ilmu Tanah. In Gita Agustin (Ed.), *Mitra Cendekia Media* (1st ed., Vol. 1, Issue 1). Mitra Cendekia Media. <https://doi.org/10.5897/ajar2021.15727>
- Riyani, R., & Purnamawati, H. (2019). Pengaruh Metode Pemupukan Kalium terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Padi Gogo (*Oryza sativa L.*) Varietas IPB 9G The Effect of Potassium Fertilizer methods on Growth and Production of Upland Rice (*Oryza sativa L.*) Variety IPB 9G. *Bul. Agroborti*, 7(3), 363–374.
- Rukmana, A., Susilawati, H., & Galang. (2019). Pencatatan pH Tanah Otomatis. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Teknik Elektro Telekomunikasi Indonesia*, 10(1), 25–32.
- Sahfitra, A. A. (2023). The Variation of Cation Exchange Capacity (CEC) and Base Saturation (BS) in Hemic Haplosaprists Soil Influenced by Tidal in Pelalawan Riau. *BIOFARM: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 19(1), 103–112.
- Siswanto, B. (2019). Sebaran Unsur Hara N, P, K Dan Ph Dalam Tanah. *Buana Sains*, 18(2), 109. <https://doi.org/10.33366/bs.v18i2.1184>
- Sufardi, S. (2020). Pertumbuhan tanaman. In *Researchgate* (Issue May).
- Tando, E. (2019). UPAYA EFISIENSI DAN PENINGKATAN KETERSEDIAAN NITROGEN DALAM TANAH SERTA

SERAPAN NITROGEN PADA TANAMAN PADI SAWAH (*Oryza sativa* L.). *Buana Sains*, 18(2), 171.
<https://doi.org/10.33366/bs.v18i2.1190>

Wibowo, N. A., Tjahjana, B. E., Heryana, N., & Sakiroh. (2012). Peranan mikroorganisme dalam pengelolaan hara terpadu pada perkebunan kakao. *Bunga Rampai: Inovasi Teknologi Bioindustri Kakao*, 91–98.
<http://balittri.litbang.pertanian.go.id/index.php/publikasi/category/94-bunga-rampai-bioindustri-kakao?download=344%3A09b.-peran-mikroorganisme-dalam-pengelolaan-hara-terpadu-pada-perkebunan-kakao&start=10>

PROFIL PENULIS



Ir. Palupi Puspitorini, M.P. Penulis lahir 59 tahun yang lalu dari ayah Koelaimi Soetjipto dan ibu Sarmini di sebuah kota kecil di Jawa Timur. Setelah menyelesaikan kuliah di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang di tahun 1989 meniti karir sebagai staf Riset di Perusahaan Multi Nasional PT Great Giant Pineapple Company Lampung (Great Giant Food) hingga akhir 2002. Melanjutkan studi Magister Pertanian di Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 2006 dan kembali masuk dunia Industri sebagai senior riset hingga 2010 sebelum akhirnya mengabdikan sebagai Dosen di Fakultas Pertanian Universitas Islam Balitar Blitar dan mengampu beberapa mata kuliah diantaranya matakuliah Pengantar Ilmu Pertanian, Dasar Ilmu Tanah, Analisis Pertumbuhan Tanaman, Teknologi Benih, Nutrisi Tanaman, Fisiologi Tumbuhan. Menulis 10 buku yaitu Hormon Tanaman, Pengantar Ilmu Pertanian, Konsorsium PBRM dalam Nutrient Use Efficiency pada Tanaman Jagung, Perlindungan Tanaman, Dasar Ilmu Tanah, Teknologi Produksi Tanaman Pangan dan Buah, Sistem Pertanian Terpadu, Monograf Biomatriconditioning Benih. Artikel ilmiah selama dalam karir dosen tercatat 40 artikel ilmiah dalam Google Scholar. Dalam karir sebagai peneliti pada tahun 2002 merilis varietas ubikayu unggul nasional yaitu UJ3 dan UJ5 yang saat ini digunakan oleh mayoritas kebun tapioka di Indonesia. Penulis juga aktif menjadi narasumber di Dinas Pertanian dan Pangan Kabupaten Blitar dan Dinas Pertanian, Peternakan dan Perikanan Kota Blitar dalam rangka sosialisasi Pekarangan Pangan Lestari (P2L), Toko Tani Indonesia, Budidaya Tanaman Alpukat, Pisang, Pepaya, Jambu Biji, Markisa.



PEMUPUKAN DAN PENCEMARAN LINGKUNGAN

Retno Sulistiyowati
Universitas Panca Marga

1.1 Pupuk dan Pemupukan

Pupuk adalah sumber nutrisi penting bagi tanaman, dan mereka membantu dalam memaksimalkan hasil pertanian. Terdiri dari berbagai macam unsur, pupuk paling umum mengandung nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), disebut sebagai pupuk NPK. Tanaman memerlukan unsur-unsur ini untuk pertumbuhan yang optimal. Pupuk membantu mengatasi defisiensi nutrisi dalam tanah, yang dapat menyebabkan tanaman tumbuh dengan buruk atau menghasilkan kualitas yang rendah (Kusumawati, 2021).

Pemupukan dalam arti luas merupakan pemberian bahan ke tanah dengan tujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan kesuburan tanah, sedangkan untuk pengertian khususnya bahwa pemupukan merupakan pemberian bahan untuk menambahkan unsur hara tersedia di dalam tanah. Pemupukan yang tepat dan benar dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan terjadi efisiensi pemupukan yang tinggi (Krisnawati & Adirianto, 2019).

1.2 Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan merupakan salah satu tantangan utama yang tengah dihadapi oleh seluruh masyarakat di seluruh dunia pada saat ini. Salah satu aspek pencemaran yang sering kali terlupakan adalah dampak dari penggunaan pupuk dalam praktik pertanian. Kendati pupuk memiliki peran penting dalam meningkatkan hasil pertanian dan memenuhi kebutuhan pangan global, penggunaannya yang berlebihan atau tidak sesuai dapat mengakibatkan pencemaran di berbagai elemen lingkungan, termasuk air, tanah, dan udara (Putri, 2023).

Pencemaran lingkungan berupa limbah pertanian berasal dari sisa-sisa pupuk sintetik untuk menyuburkan tanah atau tanaman, misalnya pupuk urea. Penggunaan pupuk yang terus menerus dalam pertanian akan merusak struktur tanah, yang menyebabkan kesuburan tanah berkurang dan tidak dapat ditanami jenis tanaman tertentu karena hara tanah semakin berkurang (Muadifah, 2019).

- **Pencemaran Air**

Penggunaan pupuk secara berlebihan juga berdampak pada lingkungan sekitar lahan terutama air. Hal ini bisa terjadi karena ketika hujan, sisa pupuk yang tidak terserap akar tanaman akan terbawa aliran air hujan menuju sungai atau danau terdekat, selanjutnya dimanfaatkan oleh tanaman air untuk tumbuh seperti eceng gondok tumbuh hingga menutupi permukaan sungai, tentunya bisa mengurangi kandungan oksigen di area permukaan tersebut (Purba *et al.*, 2021).

Selain itu penggunaan pupuk kimia berlebihan dapat memicu pencemaran air dan mengganggu ekosistem di dalamnya. Nutrisi masuk ke dalam air dan menyebabkan eutrofikasi (pencemaran air oleh unsur hara pupuk, seperti nitrat, fosfat, dan kalium) yang memicu algae bloom (ledakan alga). Algae bloom adalah lonjakan mikroorganisme yang akan menyebabkan penurunan kadar oksigen dan melepaskan racun dalam air. Hal tersebut dapat membuat

hewan air mati dan jika dibiarkan, seluruh perairan akan menjadi mati (Widowati *et al.*, 2022).

Ketika pupuk urea larut dalam tanah, akan diubah menjadi amonia (NH_3) dan nitrat (NO_3^-) oleh mikroorganisme tanah. Jika ada kelebihan nitrat, sebagian besar akan tercuci ke dalam air tanah atau perairan permukaan.

Nitrat yang masuk ke dalam sungai, danau, atau laut dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu pertumbuhan berlebihan ganggang dan tumbuhan air lainnya. Hal ini menyebabkan penurunan oksigen dalam air, yang berdampak buruk pada kehidupan akuatik dan menyebabkan zona mati di perairan.



Gambar 1. Pencemaran air di persawahan

- **Pencemaran Tanah**

Pencemaran tanah adalah masuknya bahan atau zat ke dalam tanah sehingga konsentrasi suatu zat atau unsur hara menjadi racun bagi tanaman dan biota tanah, dan atau keseimbangan unsur hara tanaman menjadi terganggu (Kusumawati, 2021)

Penggunaan pupuk dalam jumlah berlebihan atau dengan metode yang tidak tepat dapat menyebabkan terjadinya pencemaran tanah. Hal ini dapat merusak struktur tanah, mengganggu aktivitas mikroorganisme tanah yang esensial, dan mengakibatkan akumulasi senyawa beracun dalam tanah.

Urea merupakan salah satu jenis pupuk nitrogen buatan yang banyak digunakan di sektor pertanian. Urea mengandung nitrogen dengan kadar yang tinggi. Unsur nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan (Wahyudi, 2010). Bentuk-bentuk nitrogen di lingkungan mengalami transformasi sebagai bagian dari siklus nitrogen seperti nitrifikasi dan denitrifikasi. Penggunaan pupuk urea yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) di dalam tanah (Fan *et al.*, 2010).

Urea dibutuhkan oleh tanaman dalam bentuk amonium dan nitrat. Urea di dalam tanah akan terhidrolisis menjadi ammonium dan nitrat sehingga mudah diserap oleh tanaman. Perubahan urea menjadi bentuk nitrat tergantung pada jenis tanah di mana setiap jenis tanah memiliki jumlah bakteri tanah yang berbeda. Jumlah bakteri tanah tergantung pada sifat fisik dan kimia tanah. Bakteri nitrifikasi mampu menyusun senyawa nitrat dari senyawa amonia yang pada umumnya berlangsung secara aerob di dalam tanah (Mawaddah *et al.*, 2016).

Faktor-faktor yang mempengaruhi keseimbangan nitrit dan nitrat di dalam tanah adalah temperatur, pH, potensial redoks (pE) dan kadar oksigen terlarut (Manahan, 2005). Pupuk urea yang digunakan terus-menerus dapat menyebabkan penurunan pH tanah, menjadikannya lebih asam. Tanah yang terlalu asam dapat mengganggu keseimbangan nutrisi dalam tanah dan berdampak buruk pada pertumbuhan tanaman.

Hasil transformasi dari nitrogen dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Menurut (Wantasen *et al.*, 2012), lingkungan abiotik dapat tercemar oleh hasil transformasi dari nitrogen seperti nitrat, nitrit dan amonia. Nitrat merupakan nutrisi bagi pertumbuhan tanaman air dan algae sehingga menyebabkan pertumbuhan flora akuatik yang tidak terkontrol sedangkan nitrit dan amonia merupakan senyawa toksik yang dapat mematikan organisme air.



Gambar 2. Pencemaran tanah

- **Pencemaran Udara**

Penggunaan pupuk juga dapat memberikan dampak pencemaran udara. Pupuk dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca seperti nitrogen oksida (N_2O), yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Selain itu, partikel debu yang terbawa oleh angin dari pupuk dapat menjadi polutan udara yang mengancam kualitas udara dan kesehatan manusia.

Urea dapat melepaskan gas amonia (NH_3) ke udara melalui proses volatilisasi. Amonia yang terlepas ke atmosfer dapat menyebabkan masalah kesehatan pada manusia dan hewan serta berkontribusi terhadap pencemaran udara.

Selain itu, nitrogen dari urea dapat diubah menjadi gas dinitrogen oksida (N_2O), yang merupakan gas rumah kaca yang sangat kuat. Gas ini berkontribusi terhadap pemanasan global.



Gambar 3. Pencemaran udara

1.3 Dampak Pemupukan Berlebih Terhadap Lingkungan

Dampak penggunaan pupuk yang berlebih pada ekosistem (Khambali, 2017) yaitu :

- Perubahan kimiawai tanah yang radikal dapat timbul dari adanya bahan kimia beracun/berbahaya bahkan pada dosis yang rendah sekalipun
- Perubahan metabolisme dari mikroorganisme endemik dan antropoda yang hidup di lingkungan tanah tersebut
- Dapat memusnahkan beberapa species primer dari rantai makanan, yang dapat memberi akibat yang besar terhadap predator atau tingkatan lain dari rantai makanan tersebut
- Meningkatkan akumulasi bahan kimia pada makhluk hidup penghuni piramida atas

Pupuk urea, meskipun sangat bermanfaat sebagai sumber nitrogen untuk tanaman, dapat meracuni lingkungan jika digunakan secara berlebihan atau tidak tepat. Proses pupuk urea meracuni lingkungan terjadi melalui beberapa tahap, yang melibatkan reaksi kimia serta pengaruhnya terhadap ekosistem tanah, air, dan udara. Berikut adalah rangkaian proses tersebut:

- Aplikasi dan Penguraian Urea
Setelah diaplikasikan ke tanah, pupuk urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dihidrolisis oleh enzim urease menjadi amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2). Proses ini dikenal sebagai hidrolisis urea.
$$\text{Urea} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2$$
- Volatilisasi Amonia
Amonia (NH_3) yang dihasilkan dari hidrolisis urea sebagian dapat menguap ke udara, terutama jika urea diaplikasikan di tanah dengan pH tinggi atau tanpa cukup air untuk melarutkannya. Amonia yang menguap ini berkontribusi pada pencemaran udara dan dapat menyebabkan acid rain (hujan asam) ketika bereaksi dengan komponen atmosfer lainnya.

- **Nitrifikasi (Konversi Amonia ke Nitrat)**
Sebagian amonia yang tidak menguap kemudian diubah menjadi nitrit (NO_2^-) dan kemudian nitrat (NO_3^-) oleh bakteri nitrifikasi di tanah (seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*). Nitrat ini penting untuk tanaman, tetapi bila digunakan berlebihan atau tidak terserap sepenuhnya, akan terjadi akumulasi nitrat di tanah.
- **Pencucian Nitrat**
Nitrat (NO_3^-) sangat larut dalam air. Saat hujan atau irigasi, nitrat yang berlebih dapat tercuci dari tanah ke sumber air seperti sungai, danau, dan air tanah. Proses ini disebut leaching, dan nitrat yang terlarut dalam air dapat menyebabkan eutrofikasi, yang memicu pertumbuhan alga berlebihan, menurunkan kadar oksigen, dan merusak ekosistem air.
- **Denitrifikasi dan Emisi N_2O**
Sebagian dari nitrat di tanah bisa diubah menjadi gas nitrogen (N_2) melalui proses denitrifikasi oleh bakteri anaerob. Namun, sebagian nitrat juga dapat diubah menjadi dinitrogen oksida (N_2O), yang merupakan gas rumah kaca yang sangat kuat. Emisi N_2O ini berkontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global.
- **Kontaminasi Air Tanah**
Nitrat yang tercuci ke dalam air tanah dapat menyebabkan kontaminasi air minum. Konsumsi air dengan kadar nitrat tinggi dapat menimbulkan masalah kesehatan serius, seperti blue baby syndrome pada bayi, di mana darah tidak dapat mengangkut oksigen secara efisien.
- **Penurunan Kualitas Tanah**
Penggunaan urea yang berlebihan juga dapat menyebabkan penurunan pH tanah (tanah menjadi lebih asam) karena adanya akumulasi ion H^+ selama proses nitrifikasi. Tanah yang terlalu asam dapat mengurangi ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan mengganggu mikroorganisme tanah yang bermanfaat.

1.4 Tindakan Pengurangan Dan Pencegahan Pencemaran Lingkungan

Serangkaian tindakan yang dapat diambil untuk mengurangi efek negatif dari penggunaan pupuk (Purba et al., 2021) :

- **Pemilihan Pupuk yang Sesuai:** Langkah awal yang penting adalah memilih jenis pupuk yang sesuai dengan kebutuhan tanaman yang akan ditanam. Pupuk harus mengandung nutrisi yang diperlukan oleh tanaman tersebut, dan dosisnya harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman tersebut.
- **Manajemen Dosis yang Teliti:** Manajemen dosis pupuk dengan cermat adalah kunci untuk menghindari overfertilisasi, yang sering kali menjadi penyebab utama pencemaran. Petani perlu mengikuti rekomendasi dosis yang telah ditetapkan oleh para ahli pertanian.
- **Pemantauan Kualitas Tanah yang Rutin:** Pengujian tanah secara berkala membantu dalam mengidentifikasi defisiensi nutrisi yang mungkin ada. Ini memungkinkan petani untuk memilih pupuk yang tepat sesuai dengan kondisi tanah mereka, serta menghindari penggunaan pupuk berlebihan yang bisa merugikan lingkungan.
 - A. **Regulasi Penggunaan Pupuk:** Menerapkan kebijakan yang ketat mengenai jumlah dan jenis pupuk yang boleh digunakan, serta menerapkan sanksi bagi pelanggar.
 - B. **Monitoring Kualitas Air dan Tanah:** Melakukan pemantauan berkala terhadap kualitas air dan tanah di sekitar area pertanian untuk mendeteksi pencemaran dini.
- **Praktik Pertanian Berkelanjutan:** Mengadopsi praktik pertanian berkelanjutan, seperti rotasi tanaman, penanaman tanaman penutup, dan penggunaan kompos, dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dan meningkatkan kesuburan tanah secara alami.
 - A. **Rotasi Tanaman:** Mengganti jenis tanaman yang ditanam pada suatu lahan setiap musim dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi kebutuhan pupuk.

- B. Pertanian Organik: Menggunakan metode tanpa bahan kimia sintetis dan lebih fokus pada penggunaan bahan alami, seperti kompos dan pupuk hijau.
- **Pemanfaatan Teknologi Pertanian Terbaru:** Teknologi modern, termasuk pemantauan pertanian berbasis sensor dan sistem irigasi yang efisien, dapat membantu petani dalam mengoptimalkan penggunaan pupuk, mengurangi limbah, dan meningkatkan produktivitas.
 - A. Precision Agriculture : Menggunakan teknologi seperti drone dan sensor untuk memantau kebutuhan nutrisi tanaman secara real-time dan mengoptimalkan aplikasi pupuk.
 - B. Sistem Informasi Geografis (SIG): Menggunakan SIG untuk merencanakan penggunaan pupuk berdasarkan karakteristik tanah dan tanaman.
 - **Pengelolaan Limbah Pertanian yang Tepat:** Limbah pertanian, seperti sisa-sisa tanaman dan kotoran ternak, juga mengandung nutrisi yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Pengolahan limbah secara bijak dapat membantu mengurangi risiko pencemaran.
 1. Teknik Pengomposan: Mengolah limbah pertanian (seperti sisa tanaman) menjadi kompos untuk dikembalikan ke tanah.
 2. Energi Terbarukan: Menggunakan limbah pertanian sebagai sumber energi terbarukan, seperti biogas, yang juga mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.
 - **Pendidikan dan Pelatihan:** Pendidikan dan pelatihan mengenai praktik pertanian berkelanjutan dan penggunaan pupuk yang bijak adalah kunci. Petani perlu memiliki pemahaman yang kuat tentang bagaimana cara menjalankan pertanian yang ramah lingkungan.
 - **Pengujian Tanah**
 - A. Uji Soil Testing: Mengadakan uji tanah secara rutin untuk menentukan pH, tekstur, dan kandungan nutrisi tanah, sehingga pupuk yang digunakan lebih sesuai.

B. Sistem Pemantauan Berkelanjutan: Membuat sistem pemantauan untuk mengevaluasi perubahan kesuburan tanah dari waktu ke waktu

- **Penggunaan Pupuk Organik**

- Pupuk Kompos: Memanfaatkan limbah organik untuk membuat pupuk kompos yang dapat meningkatkan struktur tanah dan mikroorganisme.
- Pupuk Hijau: Menanam tanaman penutup (*cover crops*) yang dapat dipanen dan dijadikan pupuk untuk meningkatkan kesuburan tanah.

Menurut Muadifah (2019) pencemaran tanah dapat ditangani dengan 2 cara yaitu :

1. Remediasi

Remediasi adalah kegiatan untuk membersihkan permukaan tanah yang tercemar. Ada dua jenis remediasi tanah, yaitu :

- in-situ (atau on-site) adalah pembersihan di lokasi. Pembersihan ini lebih murah dan lebih mudah, terdiri dari pembersihan, venting (injeksi), dan bioremediasi.
- Pembersihan off-site meliputi penggalian tanah yang tercemar dan kemudian dibawa ke daerah yang aman. Setelah itu di daerah aman, tanah tersebut dibersihkan dari zat pencemar. Caranya dengan menyimpan tanah di bak/tanki yang kedap, kemudian zat pembersih dipompakan ke bak/tangki tersebut. Selanjutnya zat pencemar dipompakan keluar dari bak yang kemudian diolah dengan instalasi pengolah air limbah. Pembersihan off-site ini jauh lebih mahal dan rumit.

Pelaksanaan remediasi (membersihkan permukaan tanah) menurut Tosepu (2021) memperhatikan beberapa hal, yaitu : 1) jenis pencemar (organik atau anorganik) terdegradasi dan

berbahaya atau tidak, 2) jenis tanah, 3) macam zat pencemar, 4) perbandingan karbon (C), Nitrogen (N) dan fosfat (P), 5) kondisi tanah (basah atau kering), 6) lama zat pencemar mengendap pada lokasi dan kondisi pencemaran (segera dibersihkan atau bisa ditunda).

2. Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses pembersihan pencemaran tanah dengan menggunakan mikroorganisme (jamur, bakteri). Bioremediasi bertujuan untuk memecah atau mendegradasi zat pencemar menjadi bahan yang kurang beracun atau tidak beracun (karbon dioksida dan air).

Keunggulan dari penggunaan bioremediasi adalah lebih ramah lingkungan, sering kali lebih murah dibandingkan dengan metode fisik atau kimia, dan dapat digunakan untuk berbagai jenis kontaminan. Sedangkan kelemahannya adalah waktu yang dibutuhkan bisa lebih lama, efektivitas tergantung pada kondisi lingkungan, dan tidak semua kontaminan dapat diuraikan oleh mikroorganisme.

Menuru Rachmawati (2022) konsep yang dapat dilakukan pada bioremediasi antara lain:

- Biodegradasi, yaitu transformasi/detoksifikasi kontaminan oleh organisme
- Biodegradasi Anaerobik: Proses degradasi senyawa organik tanpa oksigen, sering terjadi di lingkungan yang kekurangan oksigen, seperti tanah basah atau sedimen.
- Biodegradasi Aerobik: Proses degradasi dengan kehadiran oksigen, biasanya lebih cepat dan efektif untuk senyawa organik sederhana.

Mikroorganisme yang dapat digunakan dalam proses bioremediasi sebagai berikut:

1. Bakteri: Beberapa bakteri dapat menguraikan senyawa berbahaya, seperti hidrokarbon, pestisida, dan logam berat. Contoh: *Pseudomonas* dan *Bacillus*.

2. Jamur: Fungi juga berperan dalam mendegradasi bahan organik dan senyawa toksik. Misalnya, *Trametes versicolor* dapat menguraikan lignin dan senyawa kompleks lainnya.
3. Alga: Alga dapat digunakan untuk mengabsorpsi logam berat dan bahan pencemar dari air.
 - Mineralisasi, yaitu konversi lengkap suatu kontaminan organik menjadi penyusun anorganiknya oleh proses mikroorganisme Tunggal atau kelompok
 - Konetabolisme, yaitu transformasi suatu kontaminan tanpa penyedia karbon atau energi untuk mikrobial degradasi
 - Fitoremediasi, yaitu menggunakan tanaman untuk menyerap, mengakumulasi, atau mendetoksifikasi kontaminan dari tanah dan air. Tanaman seperti jagung, bunga matahari, dan rami dapat digunakan untuk membersihkan logam berat dan bahan organik.
 - Bioaugmentation, yaitu menambahkan mikroorganisme tertentu ke dalam lingkungan terkontaminasi untuk meningkatkan laju degradasi kontaminan. Ini bisa termasuk strain yang lebih efisien atau genetik yang dimodifikasi.
 - Biostimulasi, menerapkan nutrisi atau bahan lain untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme alami di lokasi pencemaran. Misalnya, penambahan nitrogen atau fosfor untuk mendukung pertumbuhan mikroba.

DAFTAR PUSTAKA

- Fan, J., Hao, M., & Malhi. (2010). Accumulation of Nitrate-N in The Soil Profile and Its Implications for The Environment Under Dryland Agriculture in Northern China. *Can. J. Soil Sci.*, 90(3), 429–440.
- Khambali, I. (2017). *Manajemen Penanggulangan Bencana*. CV. Andi Offset.
- Krisnawati, E., & Adirianto, B. (2019). *TEKNOLOGI PEMUPUKAN RAMAH LINGKUNGAN*. Pusat Pendidikan Pertanian, Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pertanian.
- Kusumawati, A. (2021). *BUKU AJAR KESUBURAN TANAH DAN PEMUPUKAN* (1st ed.). Poltek LPP Press.
- Manahan, S. E. (2005). *Environmental Chemistry* (8th ed.). CRC Press LLC.
- Mawaddah, A., dan Adhitasari Suratman Departemen Kimia, R., Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., Gadjah Mada, U., & Utara, S. (2016). *PENGARUH PENAMBAHAN UREA TERHADAP PENINGKATAN PENCEMARAN NITRIT DAN NITRAT DALAM TANAH* (Influence of Addition of Urea to Increased Pollution of Nitrite and Nitrate in The Soil) (Vol. 23, Issue 3).
- Muadifah, A. (2019). *Pengendalian Pencemaran Lingkungan* (Vol. 1). Media Nusa Creative.
- Purba, T., Situmeang, R., Rohman, H. F., Mahyati, Arsi, Firgiyanto, R., Junaedi, A. S., Saadah, T. T., Junairiah, Herawati, J., & Suhastyo, A. A. (2021). *Pupuk dan Teknologi Pemupukan* (1st ed.). Yayasan Kita Menulis.
- Putri, N. C. (2023, September 11). Mengatasi Masalah Pencemaran Akibat Pupuk: Langkah Menuju Pertanian Ramah Lingkungan. <https://www.mertani.co.id/post/mengatasi-masalah-pencemaran-akibat-pupuk-langkah-menuju-pertanian-ramah-lingkungan>.

- Rachmawati, A. (2022). Buku Ajar Pencemaran Lingkungan. Deepublish.
- Tosepu, R. (2021). Pencemaran Lingkungan. Cv. Eureka Media Aksara.
- Wahyudi. (2010). Petunjuk Praktis Bertanam Sayuran. Agromedia Pustaka.
- Wantasen, S., Sugiharto, E., Suprayogi, S., Pertanian Univ Sam Ratulangi, F., Geografi Univ Gadjah Mada, F., & MiPA Univ Gadjah Mada, F. (2012). The Impact of Nitrogen Transformation on The Biotic Environment in The Lake Tondano North Sulawesi. *J. Manusia Dan Lingkungan*, 19(2), 143–149.
- Widowati, L. R., Hartatik, W., Setyorini, D., & Trisnawati, Y. (2022). Pupuk Organik : Dibuatnya Mudah, Hasil Tanam Melimpah. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

PROFIL PENULIS



Retno Sulistiyowati adalah dosen tetap Fakultas Pertanian Universitas Panca Marga mulai tahun 2002 hingga sekarang. Menyelesaikan Pendidikan Sarjana dari Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur (1993–1998) dan Magister Pertanian dari Universitas Jember (2002–2005).

Bekerja sebagai dosen tetap program studi Agroteknologi (Strata-1) mengampu beberapa mata kuliah seperti Hortikultura, Dasar Ilmu Tanah, Konservasi Tanah & Air, Kesuburan & Kesehatan Tanah, Biopestisida dan Pengelolaan Perubahan Iklim. Penulis lahir di Kota Kediri tahun 1975.

Penelitian dan pengabdian yang dilakukan bidang kajian banyak dilakukan dibidang kajian Agroteknologi terkait dengan pemupukan, kesuburan dan Kesehatan tanaman, diantaranya penelitian berjudul Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman *Kale nerolacinato* terhadap Komposisi Media Tanam dan Dosis POC Keong Mas, Percepatan Pertumbuhan Bibit Mahoni dengan Pemberian Dosis Azzola dan Skarifikasi Biji. Dan pernah melakukan pengabdian sebagai narasumber pada kegiatan seminar regional BINDESWIL wilayah IV Jawa Timur dengan judul Upaya Pengembalian Kesuburan dan Kesehatan Tanah melalui Konservasi dan sebagai narasumber dengan tema Optimalisasi Pemanfaatan Mikroorganisme Lokal Nasi Basi sebagai Pupuk Organik Ramah Lingkungan untuk Masyarakat Desa Tegalrejo Kecamatan Dringu, Kab. Probolinggo.

Email: retnosulistiyowati2675@gmail.com

HP: 085335491370



TANTANGAN PEMUPUKAN MASA DEPAN

Tri Endrawati
Universitas Islam Balitar

PENDAHULUAN

Pemupukan dalam system pertanian modern merupakan salah satu kunci penting untuk meningkatkan produktifitas hasil pertanian. Jenis pupuk terdiri dari pupuk organik dan pupuk anorganik, kedua jenis pupuk ini menyediakan unsur hara penting yang diperlukan oleh tanaman. Akibat adanya urbanisasi dan degradasi lingkungan, pemupukan yang efisien semakin penting untuk menjamin produksi pertanian yang cukup untuk memenuhi kebutuhan pangan dunia yang terus bertambah. Dampak dari pemupukan tidak hanya terbatas pada peningkatan produksi tanaman saja melainkan juga berpengaruh pada ketahanan pangan global.

Tantangan terutama dibidang pemupukan terus berkembang sejalan dengan adanya perubahan iklim, degradasi dan ketergantungan pada pupuk anorganik. Penggunaan pupuk dengan dosis yang tidak tepat juga mengakibatkan adanya masalah lingkungan seperti polusi

air maupun tanah, hilangnya biodiversitas mikroba, dan akumulasi zat kimia berbahaya dalam ekosistem. Oleh karena itu, menghadapi tantangan pemupukan di masa depan sangat mendesak untuk memastikan keberlanjutan produksi pangan global. Sistem pemupukan masa depan harus mengintegrasikan aspek ekologi, dinamika sosial-ekonomi, dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Selain hal tersebut tantangan pemupukan juga mencakup keterbatasan produksi pupuk anorganik yang mampu disediakan sehingga perlu alternatif penggunaan pupuk organik sebagai solusi pemecahan masalahnya.

Penggunaan pupuk organik menjadi semakin relevan di tengah meningkatnya kesadaran akan dampak negatif dari pupuk kimia, seperti penurunan kesuburan tanah dan pencemaran lingkungan. Pupuk organik tidak hanya membantu menjaga kesehatan tanah, tetapi juga mendukung keseimbangan ekosistem dengan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia yang memiliki dampak ekologis tinggi. Dalam jangka panjang, pupuk organik juga dapat meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air dan nutrisi, yang pada gilirannya membuat tanaman lebih tahan terhadap kondisi iklim yang tidak menentu, seperti kekeringan atau hujan berlebih. Penerapan pupuk organik dalam skala besar masih menghadapi sejumlah tantangan, terutama dalam hal efisiensi dan konsistensi penyediaan nutrisi.

Bab ini akan membahas tantangan-tantangan utama dalam pemupukan masa depan, termasuk masalah ekologis terkait dampak negatif pupuk kimia, kesenjangan sosial dan ekonomi dalam akses petani terhadap teknologi pemupukan, dampak perubahan iklim yang memengaruhi kebutuhan nutrisi tanaman, keterbatasan ketersediaan pupuk organik dan penggunaan pupuk organik sebagai alternatif.

1. Tantangan Ekologis dalam Pemupukan

Tantangan ekologis dalam pemupukan menjadi semakin nyata seiring dengan peningkatan intensitas penggunaan pupuk kimia dalam sistem pertanian modern. Meskipun pupuk sintetis

telah berperan penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian, penggunaannya yang tidak terkendali telah menimbulkan dampak ekologis yang kompleks dan merusak keseimbangan alam. Tantangan ini mencakup polusi tanah dan air, penurunan kualitas tanah, hilangnya keanekaragaman hayati, serta ketergantungan yang semakin besar pada input kimia. Dampak ini tidak hanya dirasakan pada skala lokal, tetapi juga menyebar ke ekosistem yang lebih luas, menciptakan risiko lingkungan yang signifikan bagi keberlanjutan pertanian dan ekosistem alam.

Polusi tanah dan air akibat residu pupuk anorganik menjadi salah satu tantangan ekologis utama. Nutrisi seperti nitrogen dan fosfor dari pupuk sintetis sering tidak terserap sepenuhnya oleh tanaman, sehingga terlarut ke dalam air melalui aliran permukaan atau infiltrasi ke lapisan tanah lebih dalam. Akumulasi ini menyebabkan eutrofikasi, di mana peningkatan nutrisi berlebih memicu ledakan alga yang menghambat cahaya dan mengurangi oksigen dalam air, sehingga merusak kehidupan organisme akuatik. Selain itu, penggunaan pupuk kimia yang berlebihan hanya menambahkan nitrogen, fosfor, dan kalium, mengabaikan unsur mikro penting lainnya yang diperlukan untuk menjaga kualitas tanah. Ketergantungan jangka panjang pada pupuk kimia menurunkan kesuburan dan menyebabkan kerusakan struktural tanah, memperburuk erosi, dan mengurangi keanekaragaman hayati mikroorganisme tanah. Polusi dari nitrogen oksida (N_2O), gas rumah kaca yang kuat, juga meningkatkan potensi pemanasan global (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2021). Pendekatan berkelanjutan, seperti pemanfaatan pupuk organik dan teknologi pemupukan presisi, serta agen hayati seperti mikoriza, dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis dan meminimalkan dampak ekologis.

A. Dampak Negatif Pupuk Sintetis pada Lingkungan:

- **Polusi tanah dan air akibat residu pupuk anorganik.**

Penggunaan pupuk sintetis secara intensif dalam pertanian telah menyebabkan peningkatan signifikan dalam polusi tanah dan air. Ketika tanaman tidak mampu menyerap semua unsur hara yang diberikan melalui pupuk, residu kimia, terutama nitrogen dan fosfor, cenderung mengalir ke dalam tanah dan badan air. Akumulasi nitrogen di tanah dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah, mengurangi kapasitas tanah dalam menyerap air, serta merusak struktur tanah. Selain itu, unsur-unsur ini dapat tercuci ke aliran air bawah tanah, sungai, dan danau, yang berpotensi mencemari sumber air minum dan menurunkan kualitas air secara keseluruhan (PP RI No. 82 tahun 2001).

- **Dampak eutrofikasi pada perairan dan degradasi biodiversitas.**

Pencucian nutrisi pupuk ke perairan dapat mengakibatkan adanya kerusakan yang biasa disebut sebagai eutrofikasi yaitu suatu kondisi di mana tingginya kadar nutrisi seperti fosfor dan nitrogen dalam air (Ciptadi et al, 2022), memicu pertumbuhan berlebih alga dan tanaman air. Alga tumbuh secara berlebihan dimana menghalangi cahaya matahari dan mengurangi kandungan oksigen dalam air. Banyaknya alga yang mati dan terurai dan mengalami proses dekomposisi akan menghabiskan oksigen di perairan sehingga menyebabkan organisme akuatik seperti ikan, moluska, dan invertebrata lainnya mati, menyebabkan penurunan drastis dalam biodiversitas perairan. Degradasi ini tidak hanya memengaruhi ekosistem lokal, tetapi juga menimbulkan dampak ekonomi pada sektor perikanan dan rekreasi air yang bergantung pada ekosistem yang sehat. Eutrofikasi juga dapat menyebabkan terjadinya ledakan alga beracun yang membahayakan kesehatan manusia dan hewan.

B. Ketergantungan pada Pupuk Kimia:

- **Penurunan kualitas tanah akibat penggunaan pupuk yang tidak seimbang.**

Penggunaan pupuk kimia yang terus-menerus dan tidak seimbang telah menyebabkan penurunan kualitas tanah dalam jangka panjang (Parnata AS. 2010). Pupuk sintetis sering kali berfokus pada beberapa elemen makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) tanpa memperhatikan kebutuhan nutrisi mikro lainnya yang juga penting untuk menjaga kesuburan tanah. Struktur tanah yang baik menjadi rusak karena akumulasi garam dan pengurangan bahan organik, yang berdampak pada kemampuan tanah untuk menyimpan air dan mempertahankan nutrisi untuk tanaman. Keanekaragaman mikroorganisme yang berfungsi dalam siklus nutrisi, seperti bakteri dan fungi pengurai, dapat terganggu sehingga mengurangi kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara alami. Ini dapat menimbulkan ketergantungan petani terhadap penggunaan pupuk kimia dan sulitnya memutuskan siklus ketergantungan terhadap pupuk kimia.



(petaniberas.blogspot.com)

Gb1. Penurunan kualitas tanah

- **Pemupukan berlebihan dan pencemaran lingkungan.**
Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan juga telah menyebabkan berbagai bentuk pencemaran lingkungan. Banyak petani menerapkan dosis pupuk yang melebihi kebutuhan tanaman dengan harapan meningkatkan hasil panen. Namun, pemupukan berlebihan ini tidak hanya tidak efektif tetapi justru menimbulkan akibat yang merugikan. Nutrisi yang tidak digunakan tanaman akan larut dalam air tanah atau tersapu oleh aliran permukaan ke sungai dan danau, menyebabkan pencemaran air (Fikri et al., 2014). Nitrogen yang berlebihan dapat menghasilkan gas nitrogen oksida (N_2O), yang merupakan gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global yang jauh lebih tinggi daripada karbon dioksida (CO_2). Emisi gas ini memperburuk krisis perubahan iklim. Pencemaran tanah juga terjadi karena residu kimia yang terakumulasi dari penggunaan pupuk sintetik, merusak komposisi kimia tanah dan mengurangi kemampuannya untuk mempertahankan kehidupan mikroorganisme tanah.

C. Keseimbangan Nutrisi Tanaman dan Tanah:

- **Tantangan menjaga kesehatan tanah dalam sistem pertanian intensif.**
Pertanian intensif bertujuan memaksimalkan produksi dalam waktu singkat memiliki tantangan besar dalam menjaga kesehatan tanah. Sistem ini umumnya menggunakan input eksternal seperti pupuk kimia yang diharapkan efektif dalam waktu yang singkat namun dapat mengganggu keseimbangan alami tanah jika digunakan secara terus-menerus (Sianipar dan Ramijah, 2021). Penggunaan pupuk kimia mengakibatkan menurunnya kandungan bahan organik tanah akibat minimnya penambahan material alami seperti pupuk organik atau

kompos. Tanah yang kehilangan bahan organik menjadi kurang mampu mempertahankan kelembapan, mengurangi kemampuan menyimpan dan mendistribusikan nutrisi secara merata. Pengolahan tanah yang intensif, seperti pembajakan berlebihan dan penggunaan monokultur, merusak struktur tanah dan mempercepat erosi. Hal ini dapat mengakibatkan tanah menjadi lebih rentan terhadap degradasi dan penurunan kesuburan tanah.

Secara umum pada sistem pertanian intensif terjadi ketidakseimbangan nutrisi karena hanya terfokus pada tiga nutrisi makro utama yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), Nutrisi mikro seperti magnesium, seng, dan besi cenderung kurang diperhatikan. Ketidakseimbangan ini mempengaruhi kemampuan tanaman untuk tumbuh secara optimal dan menurunkan produktivitas lahan dalam jangka panjang. Kesehatan tanah dalam sistem pertanian intensif membutuhkan pendekatan lebih intensif diantaranya rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan pengelolaan tanah yang lebih berkelanjutan untuk memulihkan keseimbangan nutrisi dan memperbaiki struktur tanah.

- **Penurunan kandungan mikroorganisme tanah dan perannya dalam keseimbangan ekosistem.**

Mikroorganisme tanah, seperti bakteri, fungi, berperan penting dalam menjaga keseimbangan nutrisi dan kesehatan tanah. Peranan mikroorganisme dalam berbagai proses biologis, termasuk dekomposisi bahan organik, fiksasi nitrogen, dan siklus hara, yang memungkinkan tanaman menyerap nutrisi secara efektif. Penggunaan pupuk sintetis secara intensif dan berlebihan dapat mengganggu keberadaan mikroorganisme ini, menyebabkan penurunan aktivitas biologis tanah (Susilawati et al. 2013). Pupuk kimia cenderung memberikan nutrisi secara instan kepada

tanaman, mengurangi ketergantungan tanaman pada mikroorganisme untuk menyediakan nutrisi secara alami. Penurunan populasi mikroorganisme ini sangat berpengaruh terhadap terganggunya keseimbangan ekosistem tanah.

Penurunan jumlah mikroorganisme tanah berdampak langsung pada produktivitas tanah dan kesehatannya. Berkurangnya jumlah mikroorganisme akan memberikan dampak terhadap kemampuan tanah untuk menyediakan unsur hara tanah secara alami, sehingga siklus nutrisi terganggu dan mengakibatkan penurunan kesuburan tanah dan berakibat juga terhadap perkembangan dan hasil tanaman. Mikroorganisme tanah juga berperan dalam melawan patogen tanaman secara alami, sehingga penurunan populasinya meningkatkan risiko serangan hama dan penyakit.

2. Tantangan Sosial dan Ekonomi dalam Pemupukan

Pemupukan adalah aspek penting dalam pertanian yang tidak hanya berhubungan dengan teknologi dan ekologi, tetapi juga terpengaruh oleh berbagai tantangan sosial dan ekonomi. Tantangan-tantangan ini dapat menghambat pencapaian keberlanjutan dalam produksi pertanian, terutama bagi petani kecil. Di bawah ini adalah beberapa tantangan utama dalam konteks sosial dan ekonomi yang terkait dengan pemupukan

A. Aksesibilitas dan Ketergantungan Ekonomi pada Pupuk Sintetis:

- **Keterbatasan akses petani kecil terhadap pupuk berkualitas tinggi.**

Petani kecil sering kali menghadapi kendala dalam mendapatkan akses yang memadai terhadap pupuk berkualitas tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti lokasi geografis yang terpencil, rendahnya

daya beli, serta kurangnya infrastruktur distribusi yang efisien. Ketidakmampuan untuk mengakses pupuk yang dibutuhkan dapat menyebabkan penurunan hasil pertanian dan kualitas produk, sehingga memperburuk kondisi ekonomi mereka. Keterbatasan akses ini juga dapat memicu ketergantungan pada pupuk sintetis yang murah tetapi berkualitas rendah, yang dapat berkontribusi pada kerusakan lingkungan dan penurunan kesehatan tanah.

- **Pengaruh fluktuasi harga pupuk pada keberlanjutan ekonomi petani.**

Fluktuasi harga pupuk yang tajam dapat mengganggu perencanaan dan keberlanjutan ekonomi petani. Kenaikan harga pupuk dapat membebani biaya produksi petani dan kecenderungan menimbulkan tindakan petani untuk mengurangi penggunaan pupuk. Tindakan ini beresiko pada penurunan hasil panen yang berakibat pada penurunan pendapatan. Namun sebaliknya pada saat harga pupuk rendah dapat mendorong penggunaan pupuk berlebih akhirnya dapat merusak kesehatan tanah dan mengarah pada masalah lingkungan. Stabilitas harga pupuk sangat penting untuk mendukung perencanaan jangka panjang dan keberlanjutan ekonomi petani.

B. Kebijakan dan Subsidi Pemerintah:

- **Peran kebijakan pemerintah dalam mendorong penggunaan pupuk yang efisien dan ramah lingkungan.**

Kebijakan pemerintah memiliki dampak yang signifikan terhadap pengelolaan pemupukan di tingkat lokal dan nasional. Kebijakan yang mendukung penggunaan pupuk ramah lingkungan dan efisien, seperti insentif untuk pupuk organik atau teknologi pemupukan, dapat

membantu mendorong terciptanya pertanian yang lebih berkelanjutan. Diperlukan pendekatan yang lebih terfokus dan inklusif untuk memastikan bahwa kebijakan ini dapat diimplementasikan secara efektif.

- **Dampak subsidi pupuk terhadap praktik pertanian yang tidak berkelanjutan.**

Subsidi pupuk yang diberikan pemerintah umumnya berfokus pada peningkatan produksi jangka pendek tanpa mempertimbangkan dampak jangka panjang pada kesehatan tanah dan lingkungan. Ketergantungan pada subsidi dapat mendorong petani untuk mengandalkan pupuk sintesis dan mengabaikan praktik pemupukan yang lebih berkelanjutan. Adanya subsidi pupuk juga memberikan dampak terciptanya siklus di mana petani memiliki ketergantungan terhadap penggunaan pupuk kimia. Sehingga penting untuk merumuskan kebijakan subsidi yang tidak hanya mendorong penggunaan pupuk, tetapi juga mendorong praktik pertanian berkelanjutan.

C. Kesadaran Sosial tentang Pemupukan Berkelanjutan:

- **Kurangnya edukasi dan pengetahuan tentang pemupukan organik di kalangan petani.**

Tantangan dalam transisi pengaplikasian pemupukan berkelanjutan adalah kurangnya pengetahuan dan edukasi tentang pupuk organik. Banyak petani yang tergantung pada pupuk kimia karena informasi yang kurang terhadap penggunaan dan manfaat pupuk organik yang cenderung ramah lingkungan. Minimnya akses terhadap program pelatihan dan penyuluhan mengakibatkan petani sulit untuk mendapatkan pengetahuan yang diperlukan untuk beralih ke metode pemupukan organik yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

- **Tantangan mengubah perilaku petani dari pupuk kimia ke pupuk organik.**

Pendekatan sistematis perlu dilakukan untuk mengubah kebiasaan petani dari penggunaan pupuk kimia beralih pada pupuk organik. Masalah terbesar yang dihadapi petani untuk beralih menggunakan pupuk organik adalah adanya ketidakpastian hasil dan petani cenderung belum terbiasa mengaplikasikan pupuk organik digunakan dalam budidaya tanaman. Adanya keterbatasan informasi tentang cara aplikasi dan manfaat dari pupuk organik dapat menjadi penghalang dalam adopsi praktik yang lebih berkelanjutan. Sehingga penting untuk mengembangkan program edukasi yang mencakup demonstrasi praktis dan pemahaman manfaat jangka panjang dari pemupukan berkelanjutan.

3. Tantangan Global dan Perubahan Iklim

Perubahan iklim telah menjadi isu global yang mengancam keberlanjutan sistem pertanian di seluruh dunia, termasuk praktik pemupukan. Perubahan pola cuaca, peningkatan frekuensi cuaca ekstrem, dan dampak langsung terhadap produksi pangan menuntut adaptasi yang cepat dan efisien dalam manajemen pemupukan. Berikut adalah beberapa tantangan utama yang dihadapi dalam konteks perubahan iklim dan pemupukan.

A. Perubahan Iklim dan Pengaruhnya terhadap Kebutuhan Pemupukan

- **Adaptasi pemupukan terhadap kondisi cuaca ekstrem dan perubahan pola musim**

Perubahan iklim membawa tantangan baru dalam pemupukan, terutama terkait dengan perubahan pola cuaca yang dapat mempengaruhi kebutuhan nutrisi tanaman. Dalam kondisi cuaca ekstrem, seperti kekeringan yang berkepanjangan atau curah hujan yang tinggi,

kebutuhan tanaman akan nutrisi dapat berubah secara signifikan. Misalnya, pada saat kekeringan, tanaman mungkin membutuhkan pemupukan lebih intensif untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi, sementara pada saat banjir, pemupukan mungkin menjadi kurang efektif dan justru dapat menyebabkan pencucian nutrisi. Oleh karena itu, adaptasi strategi pemupukan yang fleksibel dan berbasis data menjadi krusial untuk memastikan bahwa tanaman dapat memenuhi kebutuhan nutrisinya meskipun menghadapi kondisi iklim yang berubah-ubah.

- **Tantangan manajemen nutrisi tanaman dalam menghadapi kekeringan atau banjir**

Kekeringan dan banjir tidak hanya mempengaruhi kebutuhan nutrisi tanaman, tetapi juga tantangan dalam manajemen pemupukan itu sendiri. Dalam kondisi kekeringan, tanah cenderung lebih padat dan kurang mampu menyerap nutrisi, sehingga memerlukan strategi pemupukan yang berbeda, seperti aplikasi pupuk foliar. Di sisi lain, banjir dapat menyebabkan pencucian nutrisi yang berlebihan dan mengurangi efektivitas pupuk yang telah diterapkan. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang interaksi antara kondisi iklim dan manajemen nutrisi tanaman sangat penting untuk mengembangkan praktik pemupukan yang adaptif dan responsif terhadap perubahan iklim.

B. Inisiatif Global dalam Menurunkan Dampak Lingkungan Pemupukan

- **Peran organisasi internasional dalam mengurangi jejak karbon pemupukan**

Di tingkat global, berbagai organisasi internasional berupaya mengurangi jejak karbon dari praktik pemupukan. Melalui kolaborasi antarnegara dan

penyediaan sumber daya, organisasi seperti FAO dan UNEP mengembangkan program yang mendorong adopsi praktik pemupukan berkelanjutan, termasuk penggunaan pupuk yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Inisiatif-inisiatif ini bertujuan untuk meningkatkan kesadaran akan dampak lingkungan dari pemupukan dan mengedukasi petani tentang praktik yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Program-program ini tidak hanya meningkatkan keberlanjutan produksi pertanian tetapi juga berkontribusi pada upaya global dalam memerangi perubahan iklim.

- **Tren global menuju pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan**

Ada tren yang semakin meningkat di seluruh dunia untuk beralih ke praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Ini mencakup adopsi teknik pemupukan yang lebih efisien, penggunaan pupuk organik, serta pengembangan sistem pertanian yang menekankan pada keberagaman tanaman dan rotasi tanaman. Dengan memprioritaskan keberlanjutan, petani dapat berkontribusi pada pengurangan dampak negatif dari pemupukan dan, pada saat yang sama, meningkatkan ketahanan pangan. Tren ini didorong oleh peningkatan kesadaran konsumen dan tekanan dari pasar untuk produk pertanian yang lebih berkelanjutan.

C. Strategi Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca dari Pemupukan

- **Pengembangan pupuk rendah nitrogen atau berbasis mikroorganisme yang lebih efisien**

Strategi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari pemupukan adalah pengembangan pupuk yang lebih efisien, seperti pupuk rendah nitrogen atau berbasis

mikroorganisme. Pupuk jenis ini tidak hanya membantu mengurangi emisi nitrous oxide, yang merupakan gas rumah kaca yang sangat kuat, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi oleh tanaman. Dengan memanfaatkan mikroorganisme, pupuk dapat lebih baik dalam mendukung kesehatan tanah dan meningkatkan ketersediaan nutrisi secara alami, sehingga mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis (Gonggo et al. 2006). Ini merupakan langkah penting menuju pertanian yang lebih berkelanjutan dan responsif terhadap tantangan perubahan iklim.

4. Solusi untuk Pemupukan Berkelanjutan

Pemupukan berkelanjutan menjadi salah satu solusi kunci dalam menghadapi tantangan lingkungan dan menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Berbagai pendekatan inovatif dalam penggunaan pupuk dapat membantu mengurangi dampak negatif pemupukan sintetis sekaligus meningkatkan efisiensi dan produktivitas tanaman. Berikut adalah beberapa solusi yang dapat diterapkan untuk mencapai pemupukan berkelanjutan.

A. Penggunaan Pupuk Organik

Penggunaan pupuk organik seperti kompos dan pupuk hijau merupakan alternatif untuk menggantikan pupuk sintetis. Kompos yang terbuat dari bahan organik, seperti sisa makanan dan limbah tanaman, dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas retensi air, dan menyediakan nutrisi yang dibutuhkan tanaman secara bertahap. Pupuk hijau yang dihasilkan dari tanaman tidak hanya berfungsi sebagai sumber nutrisi melalui proses dekomposisi tetapi juga membantu menekan pertumbuhan gulma dan memperbaiki kesehatan tanah (Djaja, 2010 ; Wardana et al., 2016). Mikroorganisme tanah seperti bakteri pengikat nitrogen dan fungi mikoriza, dapat berkontribusi pada kesuburan tanah

dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, sehingga mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.



(Dokumen pribadi)

Gb. 2 Pupuk Organik

B. Agens Hayati dan Biostimulan

Agens hayati seperti *Trichoderma* sp. dan *Mikoriza* sp., merupakan solusi efektif untuk meningkatkan efisiensi pemupukan. *Trichoderma* sp. adalah jamur yang dapat membantu mengendalikan patogen tanaman dan meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui stimulasi pertumbuhan akar. Mikoriza, di sisi lain, adalah jamur simbiotik yang meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan nutrisi, khususnya fosfor. Selain itu, penggunaan biostimulan, yaitu zat atau mikroorganisme yang merangsang pertumbuhan tanaman, dapat memperbaiki respons tanaman terhadap stres lingkungan dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk (Guntoro et al. 2006 ; berlian et al. 2013).

C. Pupuk Berbasis Limbah Pertanian

- **Potensi limbah organik dari industri pertanian sebagai sumber pupuk**

Limbah pertanian, seperti sisa tanaman, jerami, dan limbah sayuran, memiliki potensi besar sebagai sumber pupuk. Dengan pengolahan yang tepat, limbah ini dapat diubah menjadi pupuk organik yang kaya nutrisi. Pemanfaatan limbah pertanian tidak hanya membantu mengurangi pencemaran lingkungan tetapi juga menciptakan nilai tambah serta mendukung ekonomi sirkular di mana sumber daya digunakan kembali untuk meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian.

- **Inovasi pupuk dari sumber-sumber terbarukan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil**

Inovasi dalam pengembangan pupuk dari sumber terbarukan juga menjadi langkah penting menuju pemupukan berkelanjutan. Contoh pupuk yang dihasilkan dari limbah makanan, limbah rumah tangga, atau bahkan dari proses daur ulang limbah industri dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan. Dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, inovasi ini tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan tetapi juga mengurangi jejak karbon dari proses aplikasi pemupukan. Pengembangan teknologi baru dalam proses produksi pupuk berbasis limbah akan menjadi kunci untuk meningkatkan ketersediaan dan aksesibilitas pupuk organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Jamil. 2022. Inklusivitas Kebijakan Dan Peran Aktor Dalam Pengelolaan Pupuk Bersubsidi Untuk Mewujudkan Ketahanan Pangan. Analisis Kebijakan Pertanian, Vol. 20 No. 2 : 161-172
DOI: <http://dx.doi.org/10.21082/akp.v20n2.2022.161-172>
- Berlian I. Setyawan B. dan Hadi H. 2013. Mekanisme Antagonisme *Trichoderma* Spp. Terhadap Beberapa Patogen Tular Tanah. Warta Perkaretan 2013, 32(2), 74 – 82.
- Ciptadi G. Koderi. Rahmawati E. Rosa Y. Sulistiono. 2022. Filosofi lingkungan hidup modern. Media Nusa Creative ISBN 978-602-462-878-9. Malang
- Djaja, W. (2010). Langkah Jitu Membuat Kompos Dari Kotoran Ternak Dan Sampah. Jakarta, ID: Agromedia Pustaka.
- Fikri U. Marsudi. Jati DR. 2014. Pengaruh Penggunaan Pupuk terhadap Kualitas air tanah di Lahan Pertanian Kawasan Rawa Rasau Jaya III Kab Kubu Raya. Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah
- Gonggo MB. Hasanudin, Indriani Y. 2006. Peran Pupuk N dan P terhadap Serapan N, Efisiensi N dan Hasil Tanaman Jahe di Bawah Tegakan Tanaman Karet. Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia. Vol. 8. N0. 1. ; 61-68.
- Guntoro D, M.A. Chozin1. Tjahjono B. dan Mansur I. 2006. Pemanfaatan Cendawan Mikoriza Arbuskula dan Bakteri Azospirillum sp. untuk Meningkatkan Efisiensi Pemupukan pada Turfgrass. Bul. Agron. (34) (1) 62 – 70
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Pusat Perpustakaan dan Literasi. 2021. <https://pustaka.setjen.pertanian.go.id/index-berita/pemupukan-berimbang-untuk-pertanian-lebih-baik>
- Parnata AS. 2010. Meningkatkan Hasil Panen dengan Pupuk Organik. PT AgroMedika Pustaka. ISBN 979-006-298-2. Jakarta Selatan.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Nomor : 82 Tahun 2001 (PP 82/2001) Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Jakarta.

- Sianipar EM. Ramijah K. 2021. Kajian Kualitas Tanah pada Budidaya Padi Intensif dengan Pengelolaan Pengairan dan Pemupukan. *Majalah Ilmiah Methoda* Vol.11 No. 3 hal. 217-223.
- Susilawati. Mustoyo1. Eriandra Budhisurya. R.C.W. Anggono. Bistok H. Simanjuntak. 2013. Analisis Kesuburan Tanah Dengan Indikator Mikroorganisme Tanah Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan Di Plateau Dieng. *AGRIC* Vol.25, No. 1 ; 64-72.
- Wardana, A. E., Titiyanti, M. N., & Ginting, C. (2016). Pengaruh macam pupuk hijau dan komposisi media tanam terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit di pre nursery. *Jurnal Agromast*, 1(2), 1–10.

PROFIL PENULIS



Dr. Tri Endrawati, S.P., M.P. Penulis lahir 42 tahun yang lalu dari ayah Maryono dan ibu Katimah di sebuah kota kecil di Jawa Timur. Setelah menyelesaikan kuliah di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang di tahun 2004 meniti karir sebagai guru SMA Mandiri Darusalam Kademangan hingga 2007. Melanjutkan Studi Magister Pertanian di Universitas Halu Oleo Kendari Sulawesi Tenggara dan lulus tahun 2017 dan kembali masuk dunia Pendidikan sebagai Laboraturium di IAIN Kendari Sulawesi Tenggara hingga 2022, sekaligus menempuh Studi Doktorat Ilmu Pertanian di Universitas Halu Oleo Kendari Sulawesi Tenggara dan lulus tahun 2021, sebelum akhirnya mengabdikan sebagai Dosen di Fakultas Pertanian Universitas Islam Balitar, Blitar, Jawa Timur dan mengampu beberapa mata kuliah diantaranya matakuliah Dasar Budidaya Tanaman, Ekologi Pertanian, Biokimia Tanaman, Etika Profesi, Bioteknologi Pertanian, Budidaya Tanpa Tanah. Presenter with the paper entitled consistency of endophytic-rizobacteria formulations as a biological control agent on fusarium wilt disease (*Fusarium oxysporum*) in onion (*Allium ascalonicum*). As oral presenter 1th halu oleo international conference on agriculture and food security (HICAFS-2019). Sebagai pengurus dan Anggota Perhimpunan Fitopatologi Indonesia. Jurnal scopus consistency of endophytic-rizobacteria formulations as a biological control agents on fusarium wilt disease (*Fusarium oxysporum*) in onion (*Allium ascalonicum* l.).