

**Buku Ajar**

# **TEKNOLOGI PRODUKSI TANAMAN PANGAN**

**Andi Adriani Wahditiya, S.P., M.Si.**

**Ir. Ari Kurniawan, S.Pi., CSPP.**

**Jeanne Ivonne Nendissa, S.P., M.P.**

**Aulia Meyuliana, S.P., M.Biotek.**

**Muharama Yora, S.P., M.Si.**

**Dr. Ir. Jamilah, M.P.**

**Dewi Jayagma Ilham, S.P., M.P.**

**Iid Mufaidah, S.TP., M.P.**

**Ali Zainal/Abidin Alaydrus, S.TP, M.P.**

**filya hidayati, S.Pt., M.Si.**

**Alex Copernikus Andaria, S.T., M.Pd.**



# TEKNOLOGI PRODUKSI TANAMAN PANGAN

## Penulis:

Andi Adriani Wahditiya, S.P., M.Si

Ir. Ari Kurniawan, S.Pi, CSPP

Jeanne Ivonne Nendissa, SP., MP

Aulia Meyuliana, S.P., M.Biotek

Muharama Yora, S.P., M.Si

Dr. Ir. Jamilah, M.P.

Dewi Jayagma Ilham, S.P., M.P.

Iid Mufaidah, S.TP., M.P.

Ali Zainal Abidin Alaydrus, S.TP, MP

filya hidayati, S.Pt., M.Si

Alex Copernikus Andaria, S.T., M.Pd

## Editor:

Dr. Alamsyah, S.Pt., M.P.



**YAYASAN TRI EDUKASI ILMIAH**

[edukasi.ilmiah03@gmail.com](mailto:edukasi.ilmiah03@gmail.com)

# Teknologi Produksi Tanaman Pangan

## Penulis:

Andi Adriani Wahditiya, S.P., M.Si  
Ir. Ari Kurniawan, S.Pi, CSPP  
Jeanne Ivonne Nendissa, SP., MP  
Aulia Meyuliana, S.P., M.Biotek  
Muharama Yora, S.P., M.Si  
Dr. Ir. Jamilah, MP  
Dewi Jayagma Ilham, S.P., M.P.  
Iid Mufaidah, S.TP., M.P.  
Ali Zainal Abidin Alaydrus, S.TP, MP  
filya hidayati, S.Pt., M.Si  
Alex Copernikus Andaria, S.T., M.Pd

## Editor:

Dr. Alamsyah, S.Pt., M.Pt.

ISBN: 978-623-10-2614-9

## Design Cover:

Sri Nursanti, S.Pd., M.Pd.

## Layout:

Heru Abdijaya, S.H., M.H.

All right reserved Cetakan Pertama: Agustus 2024  
Agam, Sumatera Barat

Diterbitkan oleh: **Yayasan Tri Edukasi Ilmiah**

## Redaksi:

Komplek Delta Emporio No.227, Jalan Raya Pakan Kamis, Gadut, Tilatang Kamang,  
Kab. Agam, Sumatera Barat

Anggota IKAPI No. 49/SBA/2024

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-undang. Dilarang memperbanyak karya  
tulisini dalam bentuk apapun tanpa izin penerbit.

Cetakan Pertama: Agustus 2024

## KATA PENGANTAR

Selamat datang di buku ajar *“Teknologi Produksi Tanaman Pangan”*, sebuah panduan komprehensif yang dirancang untuk mendalami teknik dan praktik terbaik dalam produksi tanaman pangan. Buku ini ditujukan untuk mahasiswa, praktisi pertanian, dan semua pihak yang tertarik dalam memahami teknologi terbaru yang dapat meningkatkan hasil dan keberlanjutan produksi pangan. Dalam era yang semakin menghadapi tantangan perubahan iklim dan kebutuhan pangan global yang terus meningkat, pemahaman mendalam tentang teknologi produksi tanaman pangan menjadi lebih penting dari sebelumnya.

Teknologi produksi tanaman pangan mencakup berbagai aspek mulai dari pengelolaan tanah, teknik irigasi, pemilihan varietas tanaman, hingga teknologi pasca-panen. Buku ini menyajikan informasi yang terstruktur dengan baik tentang berbagai teknologi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dan hasil produksi. Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip sains pertanian dan praktik lapangan yang terbukti efektif, buku ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang praktis dan aplikatif.

Sebagai tambahan, buku ini juga menekankan pentingnya penerapan praktik berkelanjutan dalam produksi pangan. Seperti yang diungkapkan oleh Norman Borlaug, *“Kita tidak bisa mengharapkan hasil yang sama dari metode lama jika dunia terus berubah”* (Borlaug, 2000). Kutipan ini menekankan kebutuhan untuk beradaptasi dengan teknologi dan pendekatan baru agar dapat memenuhi kebutuhan pangan global dengan cara yang ramah lingkungan dan efisien.

Kami berharap buku ini tidak hanya menjadi sumber pengetahuan yang berguna tetapi juga mendorong pembaca untuk terus mengeksplorasi dan menerapkan inovasi dalam teknologi produksi tanaman pangan. Terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini, dan semoga buku ini

dapat memberikan manfaat dan inspirasi dalam upaya meningkatkan ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian global.

1 Agustus 2024  
Tim Penulis



## SINOPSIS

Buku ajar Teknologi Produksi Tanaman Pangan merupakan sumber komprehensif yang dirancang untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai teknik dan inovasi terbaru dalam produksi tanaman pangan. Buku ini menguraikan berbagai aspek penting, mulai dari pengelolaan tanah yang berkelanjutan, sistem irigasi efisien, hingga teknologi pasca-panen. Pembaca akan diperkenalkan pada praktik terbaik dalam pengelolaan tanah, rotasi tanaman, dan polikultur, serta mempelajari bagaimana teknologi informasi dan bioteknologi dapat meningkatkan hasil dan ketahanan tanaman. Dengan pendekatan yang sistematis dan berbasis pada penelitian terbaru, buku ini bertujuan untuk melengkapi pembaca dengan pengetahuan praktis yang diperlukan untuk menghadapi tantangan pertanian modern.

Dalam buku ini, setiap bab disusun untuk memberikan penjelasan yang jelas dan aplikatif, dilengkapi dengan studi kasus dan contoh nyata dari praktik lapangan. Fokus pada keberlanjutan dan efisiensi produksi memberikan pembaca wawasan yang relevan dalam mengimplementasikan teknologi yang ramah lingkungan dan mendukung ketahanan pangan global. Diharapkan, buku ini tidak hanya menjadi referensi penting bagi mahasiswa dan praktisi pertanian, tetapi juga memotivasi inovasi dan perbaikan berkelanjutan dalam sektor pertanian.

# DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN .....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
SINOPSIS.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
<b>PENGANTAR TEKNOLOGI PRODUKSI TANAMAN PANGAN .....</b>	<b>1</b>
Capaian pembelajaran.....	1
1.1. Definisi dan Pentingnya Produksi Tanaman Pangan.....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Teknologi Produksi Tanaman Pangan di Indonesia.....	5
1.3. Aspek Agronomi dan Produksi Tanaman Pangan .....	9
1.4. Penggunaan Teknologi dalam Produksi Tanaman Pangan .....	10
Rangkuman .....	13
Latihan .....	15
Referensi .....	16
<b>TEKNOLOGI INFORMASI DALAM AGRIBISNIS .....</b>	<b>17</b>
Capaian pembelajaran.....	17
2.1 Pentingnya Integrasi Teknologi dan Sistem Informasi dalam Pengembangan Agribisnis .....	18
2.2 Penerapan Spesifik Teknologi Informasi dalam Agribisnis .....	20
2.3 Tantangan dan Peluang Penerapan Teknologi Informasi Agribisnis di Indonesia.....	23
Rangkuman .....	26
Latihan .....	27

Referensi .....	28
<b>PENGLOLAAN TANAMAN PANGAN .....</b>	<b>29</b>
3.1 Perencanaan dan Persiapan Lahan.....	29
3.2 Pembibitan dan Penanaman .....	32
3.3 Pemeliharaan dan Pemupukan .....	34
3.4 Pemanenan dan Pasca Panen.....	36
Rangkuman .....	39
Latihan .....	41
Referensi .....	41
<b>TEKNOLOGI PERTANIAN MODERN .....</b>	<b>42</b>
Capaian pembelajaran.....	42
4.1 Pengertian Teknologi Pertanian Modern .....	42
4.2 Penggolongan Teknologi Pertanian Modern .....	43
Latihan .....	50
Referensi .....	50
<b>PRAKTIK TERBAIK DALAM PRODUKSI TANAMAN PANGAN .....</b>	<b>52</b>
Capaian Pembelajaran.....	52
5.1. Praktik Pengelolaan Tanah Berkelanjutan.....	52
5.2. Teknik Pertanian yang Berkelanjutan.....	54
5.3. Manajemen Rantai Pasokan dan Pasca-Panen.....	56
Rangkuman .....	58
Latihan .....	59
Referensi .....	59
<b>SISTEM PERTANIAN BERKELANJUTAN .....</b>	<b>61</b>
Capaian pembelajaran.....	61
6.1 Pendahuluan .....	61

6.2	Definisi Sistem Pertanian Berkelanjutan .....	62
6.3	Konsep Dasar Dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan .....	63
6.4	Prinsip Pertanian Berkelanjutan .....	66
6.5	Hubungan Pertanian Berkelanjutan dengan Pertanian Organik	69
	Latihan .....	70
	Referensi .....	70
	<b>PENGELOLAAN NUTRISI TANAMAN .....</b>	<b>72</b>
	Capaian Pembelajaran.....	72
7.1	Pengelolaan Nutrisi Tanaman.....	72
7.2	Kompos.....	112
	Latihan .....	115
	Referensi .....	116
	<b>PERUBAHAN IKLIM DAN DAMPAKNYA TERHADAP PRODUKSI</b>	
	<b>PANGAN .....</b>	<b>124</b>
	Capaian Pembelajaran.....	124
8.1	Definisi dan Konsep Dasar Perubahan Iklim .....	124
8.2	Dampak Perubahan Iklim terhadap Produksi Pangan.....	126
8.3	Dampak Terhadap Tanaman dan Hewan Ternak.....	128
8.4	Strategi Adaptasi dan Mitigasi dalam Pertanian.....	130
8.5	Peran Masyarakat dan Sektor Swasta.....	132
	Rangkuman .....	133
	Latihan .....	135
	Referensi .....	135
	<b>PENANGANAN HASIL PERTANIAN .....</b>	<b>139</b>
	Capaian pembelajaran.....	139
9.1	Definisi Penanganan Hasil Pertanian.....	139

9.2 Tujuan Penanganan Hasil Pertanian.....	140
9.3 Keuntungan Penanganan Hasil Pertanian .....	142
9.4 Penanganan Segera Setelah Panen .....	143
9.5 Penanganan Pasca panen.....	146
Rangkuman .....	150
Latihan .....	151
Referensi .....	151
<b>IMPLEMENTASI TEKNOLOGI PRODUKSI TANAMAN PANGAN .....</b>	
10.1 Pendahuluan .....	153
10.2 Implementasi Teknologi dalam Produksi Tanaman Pangan ....	154
<b>ANALISA PASAR DAN PERMINTAAN KONSUMEN .....</b>	
Capaian Pembelajaran.....	168
11.1 Analisa Pasar .....	168
11.2 Permintaan Konsumen.....	175
Daftar Pustaka.....	176
<b>PENGGUNAAN SENSOR DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (GIS) .....</b>	
Capaian Pembelajaran.....	178
12.1 Pendahuluan .....	178
12.2 Jenis-Jenis Sensor Dalam Produksi Tanaman Pangan.....	180
12.3 Penggunaan Gis Dalam Produksi Tanaman Pangan.....	189
12.4 Integrasi Teknologi Sensor Dan Gis .....	192
12.5 Aplikasi Praktis Penggunaan Sensor Dan Gis.....	196
Rangkuman .....	197
Latihan .....	198

Referensi .....	198
PROFIL PENULIS.....	200



# **PENGELOLAAN NUTRISI TANAMAN**

*Oleh Dr. Ir. Jamilah, M.P.*

## **Capaian Pembelajaran**

Diharapkan para mahasiswa dapat mengelola nutrisi tanaman secara efektif dan efisien, mendukung pertumbuhan optimal tanaman, serta mempertimbangkan dampak lingkungan dan keberlanjutan dalam praktik pertanian.

### **7.1 Pengelolaan Nutrisi Tanaman**

Pengelolaan nutrisi tanaman adalah strategi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi oleh tanaman, mengurangi kerugian nutrisi ke lingkungan, dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Dalam pengelolaan nutrisi tanaman, beberapa strategi yang diterapkan antara lain menggunakan pupuk mikroba yang mengandung mikroorganisme yang menguntungkan, seperti bakteri dan jamur, untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres lingkungan. Selain itu, penggunaan pupuk organik dan hayati juga dapat meningkatkan efisiensi nutrisi yang tersedia dalam tanah. Rotasi

tanaman dan teknik konservasi tanah seperti penutupan tanah dengan mulsa organik atau tanaman penutup juga dapat membantu dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman serta meningkatkan kesuburan tanah. Dengan demikian, pengelolaan nutrisi tanaman sangat penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan menjaga keberlanjutan lingkungan.

Revolusi hijau yang khususnya merupakan interaksi antara varietas unggul, fasilitas irigasi, masukan pupuk, energi, dan lain-lain yang tinggi, terutama pada tanaman pangan telah menyebabkan peningkatan dramatis dalam produksi biji-bijian pangan. Intensifikasi pertanian selama bertahun-tahun menambah degradasi ekosistem menjadi rapuh. Hilangnya kesuburan tanah, alkalinitas tanah, keasaman, salinisasi, genangan air, erosi, polusi air, polusi udara, pemuatan logam berat di lahan pertanian, penurunan permukaan air, defisiensi mikronutrien, timbulnya penyakit, perubahan iklim, dll. Hal ini menjadi beberapa tantangan yang dihadapi pertanian pasca revolusi hijau. Penggunaan pupuk dan pestisida secara sembarangan menyebabkan pencemaran tanah, udara dan air. Bahkan kultivar asli perlahan-lahan hilang seiring dengan sistem tanam tunggal. Beberapa alat konservasi sumber daya dan strategi pengelolaan konservasi sumber daya inovatif telah dikembangkan yang mungkin sangat bermanfaat dalam meningkatkan kesuburan tanah, produksi biji-bijian, dan juga mengatasi masalah lingkungan (Purakayastha et al., 2023).

Pengelolaan nutrisi tanaman yang baik membutuhkan pemahaman mendalam tentang kebutuhan tanaman, kondisi tanah, dan praktik pertanian yang tepat. Dengan pendekatan yang holistik dan berkelanjutan, pengelolaan nutrisi tanaman dapat membantu petani meningkatkan hasil panen dan meminimalkan dampak lingkungan. Pada pengelolaan nutrisi tanaman penting memperhatikan beberap hal antara lain;

## **A. Faktor-Faktor Penyedia Nutrisi**

Nutrisi tanaman diperoleh dari berbagai sumber dalam lingkungan. Berikut adalah faktor-faktor utama yang berperan sebagai penyedia nutrisi bagi tanaman:

**A.1 Faktor Lingkungan**, beberapa factor lingkungan yang menjadi penentu dalam mengelola nutrisi tanaman yaitu;

### **A.1.1 Tanah:**

Tanah adalah sumber utama nutrisi bagi tanaman. Nutrisi utama yang diperoleh dari tanah meliputi; nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), serta mineral-mineral lain seperti kalsium, magnesium, sulfur, dan mikronutrien seperti besi, mangan, seng, tembaga, boron, molibdenum, dan klorin. Tanah yang subur dengan kandungan organik yang tinggi cenderung memiliki lebih banyak nutrisi untuk tanaman. Tanaman memerlukan 17 unsur untuk menyelesaikan siklus hidupnya, dan empat unsur tambahan telah diidentifikasi sebagai unsur penting bagi beberapa tanaman (Havlin et al. 2005). Kecuali C, H, dan O, yang diperoleh tanaman dari udara dan air, tanaman memperoleh 14 unsur sisanya dari tanah atau melalui pupuk, pupuk kandang, dan bahan tambahan lainnya (Parikh & James 2012). Sebagian besar fraksi padat tanah dibentuk oleh mineral tanah, yang memberikan pengaruh langsung dan tidak langsung yang signifikan terhadap pasokan dan ketersediaan sebagian besar unsur hara. Proses utama yang terlibat dalam pelepasan dan fiksasi unsur hara dalam tanah meliputi pelarutan-presipitasi dan adsorpsi-desorpsi. Kita akan membahas proses-proses ini dan bagaimana dampaknya terhadap makronutrien dan mikronutrien.

#### **a. Mineral Primer dan Kesuburan Tanah**

Batuan sedimen menutupi 75-80% kerak bumi, dan membentuk bahan induk bagi sebagian besar tanah. Bahan induk tanah

mempunyai pengaruh langsung yang besar terhadap kandungan unsur hara tanah; pengaruh ini lebih nyata pada tanah muda dan sedikit berkurang seiring bertambahnya umur tanah dan pelapukan tanah. Untuk lebih memahami pengaruh bahan induk tanah terhadap komposisi unsur tanah, ada gunanya meninjau komposisi mineralogi batuan umum yang menyusun bahan induk tanah. Mineral primer terbentuk pada suhu tinggi dari pendinginan magma selama pemadatan asli batuan atau selama metamorfisme, dan biasanya berasal dari batuan beku dan batuan metamorf di dalam tanah (Lapidus 1987). Di sebagian besar tanah, feldspar, mika, dan kuarsa merupakan unsur utama mineral utama, sedangkan piroksen dan hornblenda terdapat dalam jumlah yang lebih kecil.

Mineral primer — termasuk K-feldspars (orthoclase, sanidine, dan microcline), micas (muscovite, biotite, dan phlogopite), dan micas seukuran tanah liat (illite) — tersebar luas di sebagian besar jenis tanah, kecuali di tanah yang sangat lapuk dan berpasir. . Mineral-mineral primer ini bertindak sebagai reservoir penting bagi K, dengan lebih dari 90% K di dalam tanah terdapat dalam struktur mineral-mineral ini. Sejumlah besar Ca, Na, dan Si serta sejumlah kecil Cu dan Mn juga terdapat dalam feldspar. Mika dan illit merupakan sumber K terpenting di banyak tanah, dan juga mengandung Mg, Fe, Ca, Na, Si, dan sejumlah unsur hara mikro. Amfibol dan piroksen merupakan reservoir penting Mg, Fe, Ca, Si, dan sebagian besar unsur hara mikro. Mineral karbonat, termasuk yang berasal dari bahan induk tanah dan yang terbentuk di dalam tanah melalui proses pedogenik, berfungsi sebagai sumber sekaligus penyerap Ca dan Mg di dalam tanah.

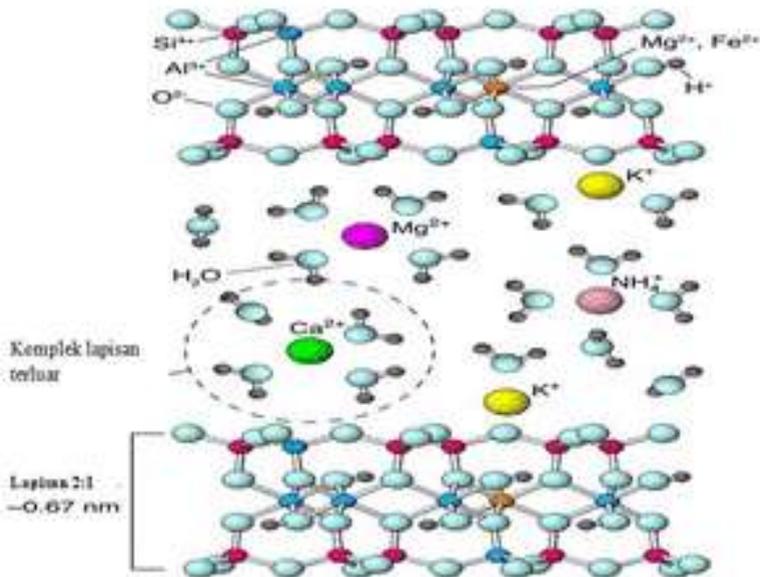
Pelapukan fisik, kimia, dan biologis mineral primer melepaskan sejumlah unsur hara ke dalam larutan tanah. Laju pelapukan dan jalur mineral primer sangat bervariasi dan bergantung pada beberapa faktor, termasuk sifat mineral dan kondisi iklim. Meskipun laju pelapukan mineral primer untuk unsur-unsur tertentu mungkin tidak

cukup cepat untuk memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman dalam jangka pendek, khususnya dalam sistem tanam yang dikelola, pelapukan mineral merupakan sumber penting dan jangka panjang dari beberapa unsur hara yang diturunkan secara geokimia. Kapasitas pasokan unsur hara suatu tanah melalui pelapukan mineral primer berkurang seiring dengan meningkatnya tingkat pelapukan tanah.

#### **b. Mineral Sekunder dan Kesuburan Tanah**

Berbeda dengan mineral primer, mineral sekunder dalam tanah biasanya terbentuk melalui reaksi suhu rendah selama pelapukan mineral primer dalam lingkungan berair di permukaan bumi. Mineral sekunder terutama mengontrol nutrisi melalui reaksi adsorpsi-desorpsi, pelarutan-presipitasi, dan reaksi oksidasi-reduksi.

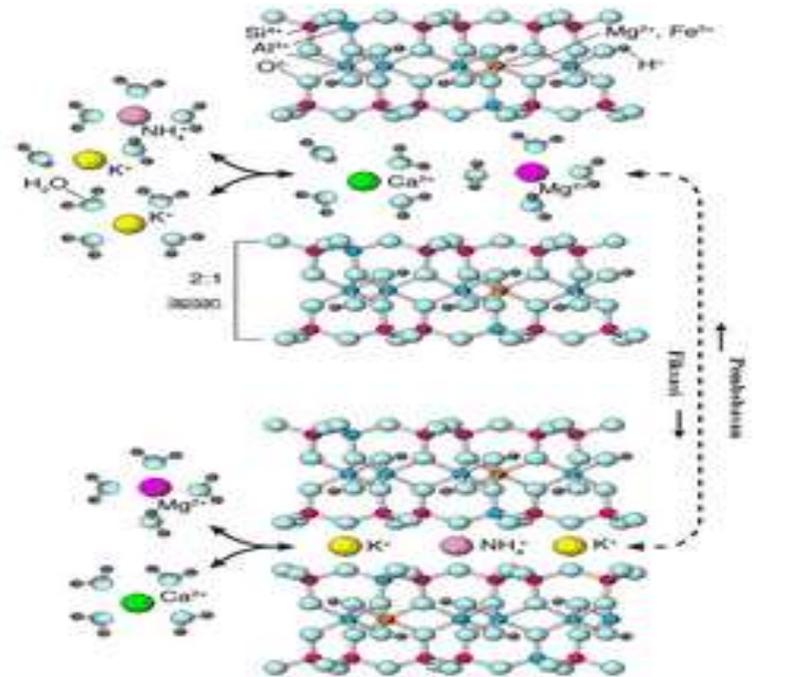
Reaksi adsorpsi yang melibatkan mineral seringkali lebih penting dalam mengendalikan ketersediaan unsur hara tanaman dibandingkan pelepasan unsur hara melalui pelapukan mineral. Filosilikat dengan muatan permanen (misalnya vermikulit dan smektit) menawarkan tempat pertukaran yang menyimpan sejumlah nutrisi penting dalam bentuk kationiknya (kapasitas pertukaran kation), seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , dan  $\text{Na}^+$ ; unsur hara ditahan oleh pembentukan kompleks bola luar dan dapat dengan mudah diserap oleh akar tanaman. Di sisi lain, mineral bermuatan variabel (misalnya oksida Fe) mempertahankan beberapa unsur hara (P, Zn) dengan membentuk kompleks bola dalam (Gambar 7.1), dan unsur hara tersebut tidak tersedia bagi tanaman. Reaksi penting yang relevan dengan unsur nutrisi tertentu dibahas di bawah.



Gambar 7.1: Kation terhidrasi yang dapat ditukar dalam wilayah antar lapisan smektit mineral lempung ( Singh et al., 2015).

Berbeda dengan Oxisol dan Ultisol yang sangat lapuk dengan mineral bermuatan bervariasi, tanah di daerah beriklim sedang umumnya memiliki mineral bermuatan permanen (misalnya smektit dan vermikulit) dengan kapasitas tukar kation yang tinggi dan kemampuan menahan ion amonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Memang benar, sebagian besar N-NH<sub>4</sub> tertahan dalam lapisan phyllosilicates 2:1 dan tidak mudah ditukar, menyebabkannya disebut sebagai NH<sub>4</sub> tetap. Proses fiksasi NH<sub>4</sub> mirip dengan fiksasi K, yang ditunjukkan pada Gambar 7.2. Vermikulit, illit, dan mineral interstratifikasi dengan lapisan 2:1 terlibat dalam fiksasi ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dalam tanah. Kecuali pada tanah berpasir, jumlah NH<sub>4</sub><sup>+</sup> yang terfiksasi dalam tanah berkisar antara 350-3.800 kg N-NH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> pada 30 cm bagian atas tanah; vermikulit dan illit yang lapuk sebagian umumnya memiliki kapasitas lebih besar untuk

memfiksasi  $\text{NH}_4^+$  dalam tanah dibandingkan kelompok mineral smektit (Nieder et al., 2011). Perbedaan perilaku dan kapasitas filosilikat 2:1 dalam memfiksasi ion  $\text{NH}_4^+$  berkaitan dengan besaran dan asal mula muatan negatif pada mineral tersebut. Fiksasi  $\text{NH}_4$  umumnya meningkat dengan meningkatnya jumlah muatan lapisan pada filosilikat 2:1, dan fiksasi lebih besar pada mineral dengan muatan yang berasal dari lembaran tetrahedral dibandingkan pada mineral dengan muatan yang berasal dari lembaran oktahedral.



**Gambar 7.2.** Fiksasi  $\text{K}^+$  dan  $\text{NH}_4^+$  terjadi ketika kation monvalen dari larutan tanah (kiri atas) menggantikan kation terhidrasi (ditunjukkan sebagai  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ ) dari lapisan vermikulit (kanan atas). Kation  $\text{K}^+$  dan/atau  $\text{NH}_4^+$  mengalami dehidrasi dan tertahan erat di dalam rongga lapisan 2:1 yang berlawanan untuk membentuk struktur analog dengan mika (kanan bawah), sedangkan kation yang dipindahkan berpindah ke larutan tanah (kiri bawah). Reaksi sebaliknya menghasilkan pembebasan kation tetap (Singh et al., 2015).

### **A.1.2. Pupuk:**

Pupuk merupakan sumber tambahan nutrisi bagi tanaman. Pupuk dapat berupa pupuk kimia yang tersedia dalam bentuk anorganik, seperti urea, superfosfat, atau kalium sulfat, maupun pupuk organik seperti kompos, pupuk kandang, dan pupuk hijau. Pemilihan pupuk yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman dan kondisi tanah dapat membantu meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman.

### **A.1.3. Ketersediaan Air**

Air adalah media transportasi bagi nutrisi dalam tanah. Nutrisi yang larut dalam air dapat diserap oleh akar tanaman dan diangkut ke seluruh bagian tanaman. Selain itu, air juga merupakan komponen utama dalam proses fotosintesis dan metabolisme tanaman.

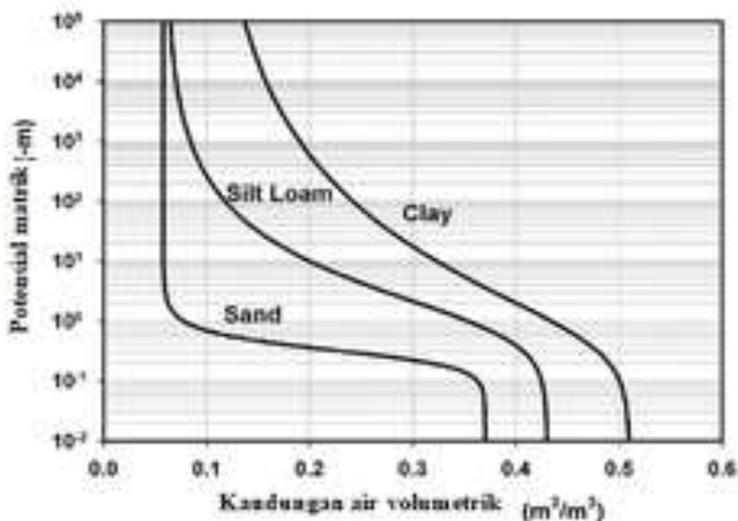
Di tahun-tahun mendatang, para petani akan menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan pangan masyarakat yang jumlahnya semakin meningkat. Mereka perlu memastikan ketahanan pangan dan mengurangi ketergantungan pada impor. Penggunaan teknologi baru secara efektif untuk meningkatkan efisiensi pertanian akan membantu petani memenuhi kebutuhan populasi yang meningkat. Otomatisasi terkait AI dan IoT akan dirancang untuk meningkatkan cara petani beroperasi dalam berbagai tugas. Kerangka kerja untuk deteksi Nutrisi Tanah dan Penyakit Tanaman berbasis IoT yang menggunakan berbagai sensor untuk mengumpulkan data terkait tanaman dalam bentuk gambar pada interval waktu yang berbeda menggunakan sensor pintar dan sensor Tanah seperti sensor tanah proksimal (PSS) untuk mengujinya.

Air dan pertanian pada dasarnya saling terkait, dimana air merupakan salah satu penentu utama dalam produksi tanaman, proses pertanian mempengaruhi siklus hidrologi dalam hal evapotranspirasi, pengisian ulang air tanah dan limpasan. Lebih dari

70% sumber daya air tawar global digunakan oleh pertanian dan pada saat yang sama sekitar 4 miliar orang di seluruh dunia hidup dengan kekurangan air. Ketersediaan kelembaban yang optimal dalam tanah sangat penting untuk berbagai proses biofisik seperti perkecambahan benih, pertumbuhan tanaman, siklus unsur hara serta mempertahankan keanekaragaman hayati alami di dalam tanah. Pentingnya kelembaban tanah juga menjadikannya variabel kunci dalam perangkat lunak pemantauan dan prediksi pertanian seperti Model Kualitas Air Zona Akar (RZWQM) USDA. Pemantauan kelembaban tanah memberikan wawasan penting tidak hanya mengenai ketersediaan air untuk tanaman, namun juga kesehatan tanah dan retensi kelembaban yang merupakan indikator penting dari agroekosistem berkelanjutan.

Air dalam tanah terdapat dalam dua bentuk utama: (i) terikat, teradsorpsi pada partikel mineral tanah dan tidak tersedia bagi tanaman. (ii) molekul air bebas yang tidak terikat dan tersedia untuk diserap oleh akar, diukur dalam bentuk tegangan air tanah/potensial air. Tergantung pada jenis tanahnya, rasio air yang ada dalam bentuk terikat dan tidak terikat bervariasi, misalnya, tanah liat mempunyai afinitas yang sangat tinggi terhadap molekul air, oleh karena itu tanah dengan proporsi tanah liat yang lebih besar mempunyai ketegangan air yang lebih tinggi (air yang lebih terikat). Sensor kelembaban tanah dapat mendeteksi kadar air tanah total (SMC) atau tegangan/potensi air tanah (SWP).

Hubungan antara SMC dan SWP dijelaskan oleh (Kashyap & Kumar, 2021) melalui kurva karakteristik air tanah yang menunjukkan jumlah air yang tertahan dalam tanah (SMC) dalam keadaan setimbang pada potensial matrik tertentu. Ini sangat nonlinier dan sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tekstur tanah, struktur dan bahan organik. Kurva karakteristik air tanah yang khas untuk tiga tekstur tanah yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 7.3.



**Gambar 7.3.** Kurva karakteristik air tanah yang khas untuk tekstur tanah yang berbeda, (Sumber: Kashyap & Kumar, 2021)

## A.2. Atmosfer dan suhu

### A.2.1. Atmosfer:

Atmosfer menyediakan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang diperlukan dalam proses fotosintesis. Tanaman menggunakan  $\text{CO}_2$  dari udara untuk menghasilkan karbohidrat dan oksigen melalui proses fotosintesis.

Faktor pendorong perubahan global, termasuk peningkatan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer, pengendapan N dan S, serta perubahan iklim, kemungkinan besar akan mempengaruhi status nutrisi tanaman. Peningkatan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer berkorelasi baik dengan penurunan konsentrasi N, P, K, Mg, S dan peningkatan rasio N:P. Analisis regional menunjukkan bahwa peningkatan beberapa konsentrasi nutrisi daun seperti N, S dan Ca terjadi terkait dengan semakin menguntungkannya kondisi rata-rata curah hujan dan suhu tahunan.

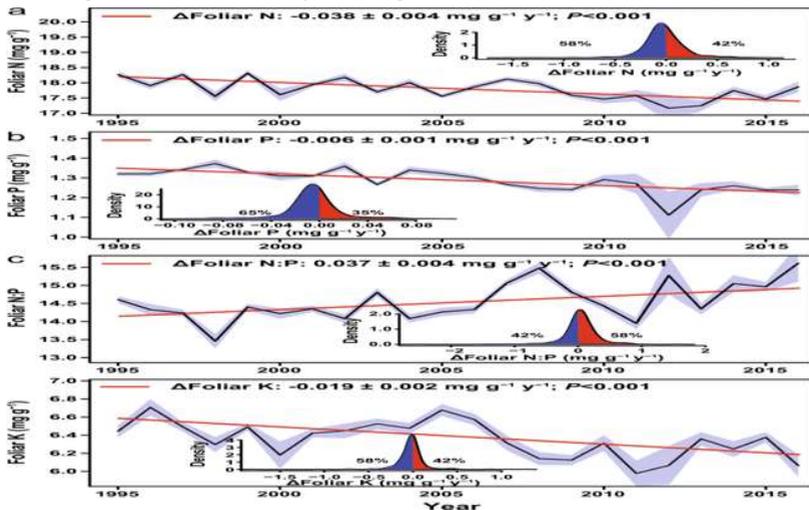
Konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer dan pengendapan nitrogen (N) dan sulfur (S), serta pemanasan dan kekeringan, kemungkinan besar akan mempengaruhi status nutrisi tanaman dan juga fungsi, struktur, dan jasa ekosistemnya. Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer, biasanya diuji pada 500–700 ppm, menurunkan konsentrasi N dan P tanaman. Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer sering kali berkorelasi dengan pertumbuhan yang lebih tinggi dan fotosintesis yang lebih efisien, sehingga kemungkinan besar akan melemahkan konsentrasi nutrisi pada tingkat daun. Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer juga mengurangi transpirasi dan konduktansi stomata, sehingga juga menghambat penyerapan nutrisi yang bahkan pada akhirnya dapat membatasi peningkatan awal produksi tanaman di bawah kenaikan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer.

Endapan N juga meningkatkan produktivitas pohon dan konsentrasi N daun namun dapat menurunkan konsentrasi P dan Mg daun. Pemanasan cenderung meningkatkan mineralisasi, siklus dan ketersediaan unsur hara ketika air tersedia, namun peningkatan pertumbuhan mengakibatkan pengenceran unsur hara yang sering menyebabkan penurunan konsentrasi N daun dan peningkatan rasio C: nutrien. Tanaman di lokasi yang tidak dibatasi oleh air merespons dengan meningkatkan serapan unsur hara, namun jika pemanasan terus berlanjut atau bahkan meningkat dalam jangka panjang, unsur hara dapat menjadi terbatas. Namun, pemanasan di lingkungan kering dapat meningkatkan kekeringan tanah, memperburuk keterbatasan air dan nutrisi. Tanaman dalam kondisi ini merespons dengan mengaktifkan mekanisme untuk melestarikan dan mengambil air dan nutrisi namun rasio C: nutrien masih sering meningkat dalam jaringan fotosintesis.

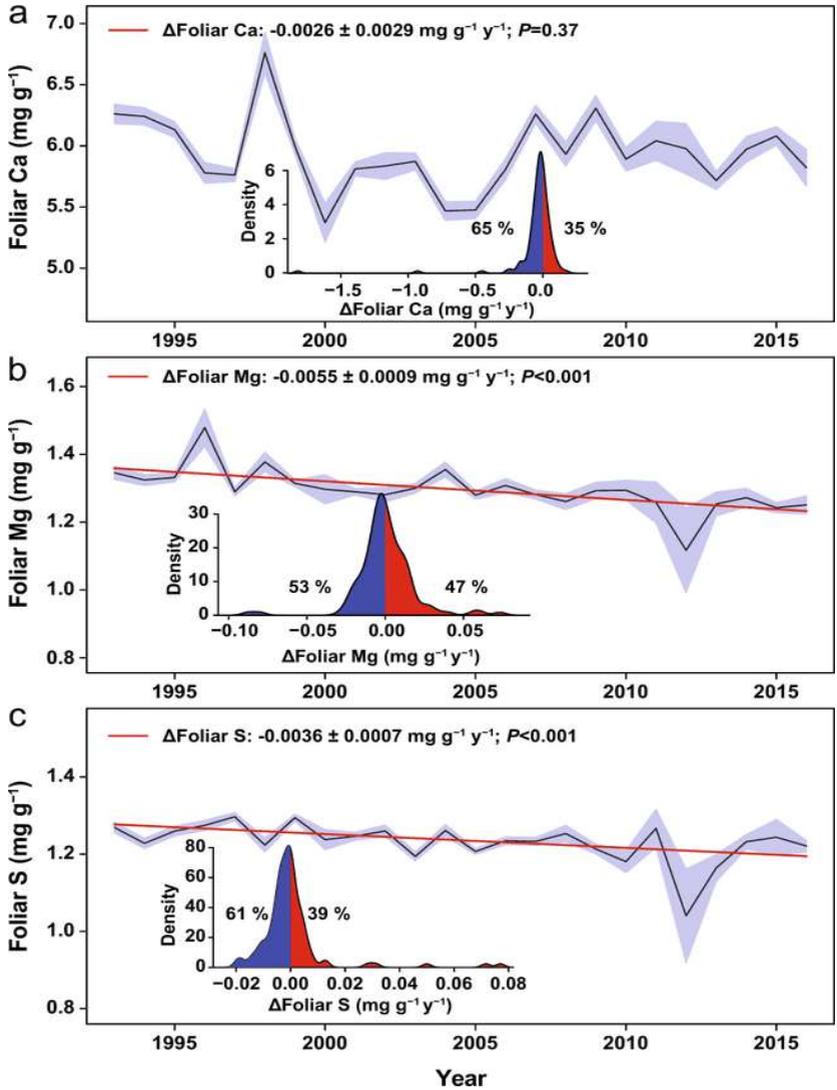
Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub>, perubahan deposisi N dan S, serta perubahan iklim disertai dengan penurunan umum konsentrasi P daun dan peningkatan rasio N:P dalam beberapa dekade terakhir di *Fagus*

*sylvatica*, *Picea abies* dan *Pinus sylvestris* dan *Quercus petraea*. Namun, pola umum yang jelas untuk konsentrasi N daun belum ditemukan, dengan penurunan, peningkatan atau tanpa perubahan, tergantung pada spesies dan kelompok daun. Kemungkinan perbedaan lokal, regional atau garis lintang belum dipertimbangkan, jadi perubahan konsentrasi unsur hara daun ini tidak secara konsisten dikaitkan dengan faktor lingkungan atau kombinasi faktor tertentu. Selain itu, sebagian besar perubahan nutrisi yang dilaporkan pada tanaman mengacu pada konsentrasi N dan P, namun nutrisi penting lainnya adalah kunci status nutrisi pohon, seperti K, S, Mg dan Ca (Penuelas et al., 2020).

Konsentrasi N, P dan K daun menurun di hutan-hutan Eropa selama tiga dekade terakhir, masing-masing sebesar 5%, 11% dan 8%, terutama di Eropa tengah dan selatan (Gambar 7.4 dan 7.5). Pengecualian terjadi di Eropa bagian utara dimana konsentrasi N daun meningkat dan konsentrasi P daun tidak berubah. Rasio N:P daun meningkat di semua tempat dengan rata-rata 7%.



**Gambar 7.4.** Penurunan konsentrasi N, P dan K pada daun pohon serta peningkatan rasio N:P (Sumber: Penuelas et al., 2020).



**Gambar 7.5.** Penurunan konsentrasi Ca, Mg dan S pada daun pohon (Sumber: Penuelas et al., 2020).

## A. 2.2 Suhu tanah

Suhu tinggi dan kekurangan air merupakan salah satu kendala utama yang mengurangi hasil panen miju-miju (*Lens culinaris* Medik.) di banyak wilayah pertumbuhan. Selain itu, meningkatnya defisit tekanan uap atmosfer (VPD) akibat pemanasan global menimbulkan tantangan berat karena mempengaruhi keseimbangan air tanaman, sehingga juga mempengaruhi pertumbuhan dan hasil. Dalam penelitian ini, kami mengevaluasi 20 genotipe miju-miju di bawah kondisi lapangan dan lingkungan terkendali dengan tujuan sebagai berikut: (i) untuk menyelidiki dampak cekaman suhu dan gabungan cekaman suhu-kekeringan terhadap sifat-sifat yang terkait dengan fenologi, hasil gabah, kualitas nutrisi, dan suhu kanopi di bawah kondisi lapangan, dan (ii) untuk menguji variabilitas genotip sifat transpirasi terbatas (TRLim) sebagai respons terhadap peningkatan VPD dalam kondisi terkendali. Hasil percobaan lapangan menunjukkan bahwa tegangan suhu tinggi mempengaruhi semua parameter secara signifikan dibandingkan kondisi normal. Kandungan protein berkisar antara 23,4 hingga 31,9%, sedangkan kisaran kandungan seng dan besi pada biji-bijian bervariasi dari 33,1 hingga 64,4 dan 62,3 hingga 99,3 mg kg<sup>-1</sup>, masing-masing, dalam kondisi normal. Kandungan protein biji-bijian, seng dan besi menurun secara signifikan masing-masing sebesar 15, 14 dan 15% pada tekanan suhu tinggi. Namun, dampaknya lebih parah pada kombinasi tekanan suhu dan kekeringan dengan penurunan kandungan protein sebesar 53%, seng sebesar 18%, dan zat besi sebesar 20%. Hasil gabah menurun secara signifikan sebesar 43% pada kondisi cekaman suhu dan sebesar 49% pada kombinasi cekaman suhu-kekeringan. Hasil dari kondisi terkontrol menunjukkan variasi TR yang luas di antara genotipe lentil yang diteliti. Sembilan genotipe menampilkan TRLim pada 2,76 hingga 3,51 kPa, dengan genotipe ILL 7833 dan ILL 7835 menunjukkan breakpoint terendah. Genotipe dengan breakpoint rendah memiliki kemampuan menghemat air

sehingga dapat digunakan pada tahap selanjutnya untuk meningkatkan hasil. Hasil kami mengidentifikasi genotipe yang menjanjikan termasuk ILL 7835, ILL 7814 dan ILL 4605 (Bakria) yang sangat menarik untuk dikawinkan agar dapat menghasilkan hasil yang tinggi, kandungan protein dan mikronutrien pada kondisi suhu tinggi dan cekaman kekeringan. Selain itu, ditemukan bahwa sifat TRlim berpotensi menyeleksi peningkatan hasil miju-miju di lingkungan yang kekurangan air (El Haddad et al., 2022).

### **A.3 pH tanah**

Nutrisi tanah sangat penting untuk pertumbuhan tanaman yang kuat. Zat nutrient makro (K, P, dan N) dibutuhkan oleh tanaman celana dalam jumlah yang lebih banyak dan dapat ditangani serta diaplikasikan dengan pemupukan sesuai kebutuhan tanaman (Rossel et al., 2011). Pupuk (organik dan anorganik) adalah sumber nutrisi yang lebih luar biasa dan bergantung pada pH (Neina, 2019). Selain itu, stabilitas pestisida juga dipengaruhi oleh pH (Schilder, 2008). pH tanah bisa mengubah jenis unsur hara yang tersedia dalam larutan tanah (Jensen dan Thomas, 2010). Mengubah pH ke yang ditunjukkan nilai ini sangat mempengaruhi nutrisi penting tanaman, dan tanaman biasanya tumbuh jauh > pH 5,5. Sebagai aturan, 6.5 adalah tingkat pH yang paling tepat untuk penyerapan nutrisi yang optimal (Cornell University, 2010). Pasokan nutrisi, kelarutan, populasi mikroba, dan berbagai proses lainnya bergantung pada pH. Misalnya, pH yang lebih tinggi nilai mempromosikan ketersediaan unsur hara mikro dibandingkan tanah netral atau basa yang mendukung pertumbuhan tanaman (Lončarić et al., 2008). Demikian pula, proses-proses kimia, biologi, fisika, dan proses-proses lain di dalam tanah saling berkaitan erat siklus biogeokimia dan dipengaruhi secara positif oleh pH tanah, yang pada akhirnya mempengaruhi pertumbuhan tanaman, hasil, dan biomassa (Neina, 2019; Minasny et al., 2016).

Kisaran pH antara 7 atau hampir 7 paling cocok untuk pertumbuhan tanaman, karena semua nutrisi tanaman tersedia dengan mudah tersedia (Hayman dan Tavares, 1985) dan pada pH 5,5 kelarutan fosfor, molibdenum, kalsium, dan magnesium sedangkan kelarutan Fe, Al, dan B tinggi. Selanjutnya kalsium dan magnesium menjadi lebih banyak melimpah pada pH 7,8 dan pH 6,6 hingga 7,3 optimal untuk aktivitas mikroba yang berkontribusi terhadap tanaman unsur hara yang tersedia (N, S, dan P) (USDA Natural Resources Conservation Service, 1998). Ketersediaan B bagi tanaman menurun seiring dengan peningkatan pH tanah (Marx et al., 1996), khususnya di atas pH 6,5. Namun, tanah yang sangat asam (pH < 5,0) sering kali tampak buruk pada tanah B yang dapat digunakan karena penyerapan boron terhadap besi dan aluminium oksida pada permukaan mineral tanah (Goldberg, 1997). Fiksasi K antar lapisan lempung cenderung demikian lebih rendah dalam kondisi asam dan diyakini disebabkan oleh adanya Al larut yang menempati situs pengikatan, sedangkan jenis S yang dapat diakses tidak berpengaruh pada pH tanah (Stanford, 1947). Kondisi pH mempunyai peranan penting berdampak pada kelarutan Fe (Lindsay dan Schwab, 1982). Pada pH 7 maka < 50% Fe tersedia bagi tanaman dan pada pH 8 akan menimbulkan pengendapan besi dalam bentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (besi hidroksida) dan tidak ada Fe yang dapat ditemukan dalam larutan tanah. Pada tanah cenderung asam (<6,5) dari 90% Fe dapat diakses tanaman (Fageria et al., 2014). Dengan masing-masing kenaikan satuan pH mengurangi kelarutan Fe sekitar 1000 kali lipat (Lindsay, 1982; Fageria et al., 2014). Aktivitas Mn, Cu, dan Zn menurun sekitar 100 kali lipat seiring dengan peningkatan setiap unit pH dalam air. kisaran 4-9 (Lindsay, 1982). Tembaga terhidrasi (Cu) menunjukkan proses hidrolisis seiring dengan meningkatnya pH tanah (pH > 6,0), yang cenderung meningkatkan adsorpsi Cu terhadap bahan organik (OM) dan mineral lempung (Fageria and Nascente, 2014).

### **A.3.1 Peran pH dalam pertumbuhan mikroba**

Di lingkungan alami, mikroba merupakan biota yang tersebar luas; dari sumber air panas hingga akuifer dalam, di alam habitat dan juga umumnya mendukung mikroba di dasar laut (Edwards et al., 2012). Mereka mengubah sejumlah siklus biogeokimia mulai dari siklus karbon global dan reaksi redoks hingga pelapukan (Maguffin et al., 2015). Berbagai macam faktor lingkungan seperti suhu, pasokan nutrisi, salinitas dan pH mengatur metabolisme mereka (Amend et al., 2013). Di antara faktor-faktor ini, pH memiliki pengaruh yang lebih besar (Chen et al., 2004). PH merupakan indikasi pengelolaan komunitas mikroba, aktivitasnya, dan komposisinya (Lauber et al., 2009). Secara maksimal, mikroba diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu alkalifil yang tumbuh paling cepat di atas pH 9, asidofil tumbuh paling baik pada pH <5, neutrofil tumbuh optimal pada pH antara 5 hingga 7 (Baker-Austin dan Dopson, 2007). Satu unit peningkatan atau penurunan pH mengurangi pertumbuhan mikroba 50% (O'Flaherty et al., 1998; Kotsyurbenko et al., 2004).

### **A.3.2 Pengelolaan pH tanah**

Berbagai pendekatan, metode, dan strategi digunakan untuk memitigasi masalah pH tanah. Umumnya untuk pengelolaan tanah masam, digunakan batu kapur kalsit untuk menjaga pH menuju netral dan lebih efektif dibandingkan batu kapur dolomit (Pennisi dan Thomas, 2015) dan untuk unsur sulfur dengan pH tinggi direkomendasikan dalam kasus tertentu. Gypsum lebih efektif meningkatkan daya hantar listrik (EC) tanah dibandingkan S namun S efektif untuk menurunkan pH tanah dibandingkan dengan gipsum (Turan et al., 2013). Oleh karena itu, pengelolaan pH tanah perlu dilakukan mencapai keberhasilan produksi tanaman hortikultura dan agronomi (Shober et al., 2019). Mikroba pendekatan pemuliaan bisa menjadi alternatif yang cocok.

#### **A.4. Faktor Biologis**

Symbiosis dengan Mikroorganisme: Beberapa jenis mikroorganisme tanah, seperti bakteri *Rhizobium* yang hidup dalam akar tanaman legum, mampu berkolaborasi dengan tanaman untuk memperbaiki ketersediaan nitrogen dalam tanah melalui proses fiksasi nitrogen. Dekomposisi bahan Organik: Proses dekomposisi bahan organik di dalam tanah oleh mikroorganisme membebaskan nutrisi yang terikat dalam materi organik. Nutrisi yang dilepaskan kemudian dapat diserap oleh akar tanaman.

Sumber Alamiah: Tanaman juga dapat memperoleh nutrisi dari sumber alamiah seperti debu atmosfer, hujan asam, dan proses-proses geologis yang memperkaya tanah dengan mineral-mineral tertentu.

#### **A. 4.1 Mekanisme pendekatan mikroba inovatif**

Fluktuasi pH di rizosfer dapat menjadi fenomena yang dapat meningkatkan atau menurunkan pH sebesar beberapa lipatan di rizosfer. Pendekatan mikroba dapat bermanfaat jika dikelola dengan baik. Dalam teknik ini, mikroba yang dikumpulkan (yang melepaskan asam organik atau senyawa esensial) dapat diperbanyak melalui genom ditransfer sampai karakteristiknya menjadi terlalu asam atau basa di rizosfer untuk membantu mengubah pH tanah unsur hara tersedia bagi tanaman. Komunitas mikroba yang dikumpulkan dari berbagai lokasi bersifat basa dan media asam dapat membantu untuk tujuan ini karena setiap bakteri memiliki karakteristik tersendiri yang dikumpulkan dari berbagai lokasi. Gambar 7.6 menjelaskan mekanisme inovatif. Selain itu, dalam beberapa tahun terakhir, pandangan ini telah membantu untuk mulai menjawab beberapa kekhawatiran evolusi yang umum mengenai bagaimana bakteri dengan spesies inangnya, telah berevolusi dari nenek moyang awalnya. Selain itu, ini sangat penting untuk pertimbangkan

bagaimana toleransi tanaman dipengaruhi oleh pertemuan mereka dengan mikroba, meskipun masih banyak yang tersisa tidak jelas.

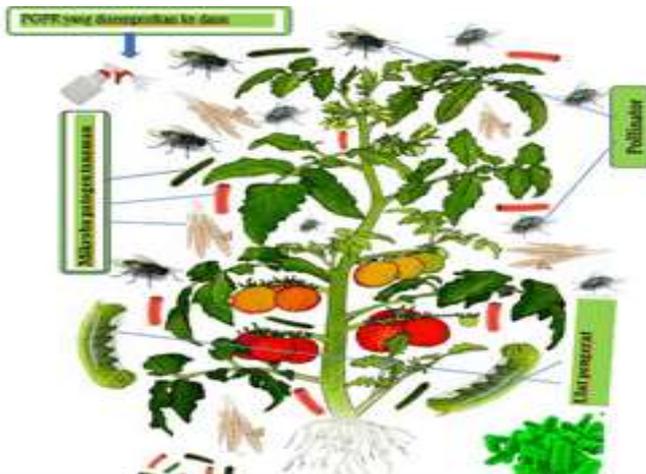


**Gambar 7.6.** Pendekatan mikroba inovatif terhadap pH tanah netral

#### A.4.2 Agen pengendali mikroba

Agen pengendali mikroba berfungsi sebagai alternatif pengganti pestisida sintetik untuk pengendalian serangga hama dan patogen tanaman. Mikroorganisme alami seperti bakteri, jamur, dan protozoa mungkin bermanfaat, bersifat patogen, atau netral bagi tanaman inang. Tinjauan ini berfokus pada peran potensial mikroorganisme yang berguna sebagai pupuk hayati atau biopestisida dalam mempertahankan dan meningkatkan produksi dan perlindungan tanaman. Keunggulan mikroorganisme bermanfaat perlu disoroti untuk mendorong petani menggunakan agen pengendali hayati dan pupuk hayati serta mengurangi penggunaan pestisida dan pupuk kimia beracun secara berlebihan (Elnahal et al., 2022). Pentingnya penggunaan mikroorganisme di sektor pertanian karena potensi perannya dalam memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman, keamanan pangan, dan produksi tanaman berkelanjutan.

Mikroorganisme dapat berinteraksi dengan tanaman untuk meningkatkan ketahanannya terhadap serangan patogen, pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Metabolitnya telah diakui berdasarkan promosi pertumbuhan tanaman yang sangat baik, kemampuan biokontrol yang efisien, produksi massal yang sukses, formulasi yang tepat dan ketersediaan untuk aplikasi komersial. Bio-kompleks, termasuk pupuk hayati dan biopestisida, mendorong pertumbuhan dan memberikan perlindungan pada tanaman terhadap berbagai tekanan biotik dan abiotik melalui produksi zat pengatur tumbuh dan siderofor, peningkatan serapan hara, peningkatan hasil, dan produksi senyawa antagonis seperti antibiotik, hidrolitik, enzim, hidrogen sianida, dan senyawa organik yang mudah menguap. Potensi penggunaan agen mikroba di bidang pertanian sebagai pupuk hayati, biopestisida, pupuk hayati nano, dan nano-biopestisida untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan pertanian berkelanjutan disajikan pada Gambar 7.7.



**Gambar 7.7.** Potensi penggunaan agen mikroba di bidang pertanian sebagai pupuk hayati, biopestisida, pupuk hayati nano, dan nano-biopestisida untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan pertanian berkelanjutan (Sumber: Elnahal et al., 2022).

## **B. Proses Penyerapan Nutrisi Oleh Tanaman**

Penyerapan nutrisi tanaman adalah proses kompleks di mana tanaman mengambil nutrisi yang diperlukan dari lingkungan sekitarnya, terutama dari tanah. Berikut adalah tahapan-tahapan utama dalam proses penyerapan nutrisi tanaman:

### **B.1. Penyerapan Melalui Akar:**

#### **1. Penetrasi Akar:**

Proses dimulai dengan akar menembus tanah. Akar tanaman memiliki struktur kecil yang disebut rambut akar, yang bertanggung jawab untuk penyerapan nutrisi. Rambut akar memiliki permukaan yang besar untuk menyerap air dan nutrisi.

#### **2. Carier:**

Carier adalah struktur di permukaan akar yang berfungsi untuk menyerap air dan nutrisi dari tanah. Permukaan karier dilapisi oleh rambut akar dan memiliki area yang luas untuk menyerap nutrisi.

#### **3. Transportasi Nutrisi:**

Transpor nutrisi melalui difusi adalah proses mendasar di mana zat terlarut berpindah dari area konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah secara alami. Di tanah, mekanisme ini memungkinkan nutrisi yang larut dalam air untuk berdifusi ke rambut akar tanaman karena gradien konsentrasi mendukung penyerapan nutrisi (Wolfgang, Wanek. (2023); (Marchevski, Radoslav., 2023). Tumbuhan telah mengembangkan mekanisme spesifik untuk penyerapan dan translokasi nutrisi, dipengaruhi oleh sifat tanah dan faktor genetik (Bindu, et al., 2021). Meningkatkan gen transporter nutrisi pada tanaman dapat meningkatkan penyerapan nutrisi, yang mengarah pada peningkatan hasil dan toleransi stress. Teknik seperti mikrodialisis memberikan wawasan tentang dinamika transpor zat terlarut dalam tanah, menyoroti faktor-faktor seperti difusivitas, gradien konsentrasi, dan panjang jalur yang mempengaruhi

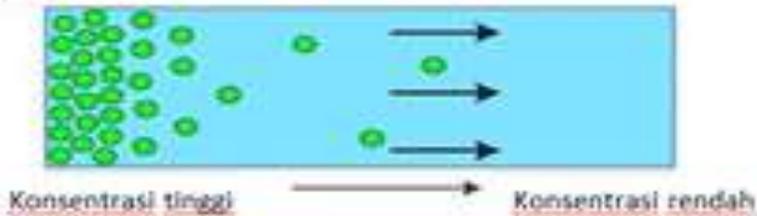
ketersediaan nutrisi untuk tanaman dan mikroba tanah. Memahami proses ini sangat penting untuk mengoptimalkan nutrisi tanaman, meningkatkan produktivitas tanaman, dan mengatasi permintaan pangan global melalui modifikasi genetik dan teknik pemuliaan lanjutan.

Difusi memainkan peran penting dalam perolehan makronutrien (N, P, K, Ca, Mg, S) dan mikronutrien (Fe, Mn, Zn, Cu) oleh tanaman, terutama dalam menanggapi ukuran agregat tanah dan variasi potensial air. Studi menunjukkan bahwa ketika nutrisi habis dalam larutan seluler, mereka bergerak melalui difusi dari interior ke permukaan agregat, dengan agregat yang lebih kecil melepaskan lebih banyak nutrisi daripada yang lebih besar (Varró et al.,1987). Selain itu, koefisien difusi efektif nutrisi dalam tanah dapat bervariasi secara signifikan, berdampak pada proses transportasi di dalam tanaman dan tanah. Memahami mekanisme difusi ini sangat penting untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi dan pertumbuhan tanaman di kondisi tanah dan lingkungan yang berbeda.

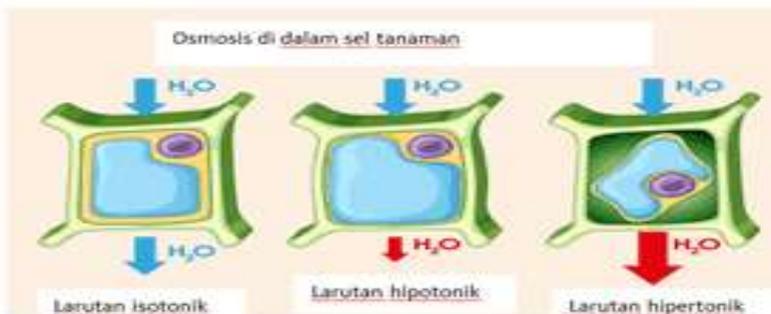
**Difusi:** Ini seperti membiarkan bahan-bahan kimia merambat dari satu area ke area lainnya secara alami. Misalnya, nutrisi larut dalam air di tanah akan berdifusi ke dalam rambut akar tanaman karena konsentrasi nutrisi di tanah lebih tinggi daripada di dalam rambut akar (Gambar 7.8).

**Osmosis:** Bayangkan semacam saringan atau membran yang memungkinkan air melewati tapi tidak semua zat. Dalam hal ini, air bergerak dari larutan yang lebih encer (misalnya, tanah yang lembap) ke larutan yang lebih kental (misalnya, sel-sel akar tanaman) melalui membran semipermeabel, membawa bersama nutrisi yang larut di dalamnya (Gambar 7.9).

## Difusi



Gambar 7.8. Gerakan difusi air masuk ke dalam rambut akar



**Gambar 7.9.** Tekanan osmosis dalam sel tanaman

**Selektivitas:** Ini mirip dengan akun bank yang hanya mengizinkan transaksi tertentu. Akar tanaman dapat memilih nutrisi yang diperlukan untuk diserap, menyesuaikan penyerapan nutrisi sesuai dengan kebutuhan tanaman. Ini memastikan bahwa hanya nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman yang diserap, mengatur metabolisme tanaman dengan efisien.

Selektivitas pada tanaman, mirip dengan rekening bank terbatas, melibatkan akar secara selektif menyerap nutrisi yang diperlukan berdasarkan kebutuhan tanaman (Francisco, and Olivas, 2016). Proses ini ditentukan secara genetik tetapi dipengaruhi oleh faktor lingkungan, memastikan regulasi metabolisme tanaman yang efisien. Penyerapan nutrisi adalah mekanisme yang tepat, dengan akar menyesuaikan penyerapan nutrisi untuk memenuhi kebutuhan

tanaman, mencegah penyerapan yang tidak perlu (Parwada., et al., 2023). Demikian pula, selektivitas herbisida memungkinkan aplikasi herbisida yang ditargetkan, beracun bagi gulma tetapi tidak merusak tanaman yang diinginkan, menunjukkan bentuk selektivitas dalam pengelolaan tanaman (Tatjana, et al., 2013). Selektivitas dalam dinamika asupan hijauan juga memainkan peran penting, di mana hewan secara selektif mengkonsumsi tanaman berdasarkan faktor intrinsik dan eksternal, membantu memenuhi kebutuhan nutrisi mereka dalam ekosistem yang beragam (Ariel, et al., 2012). Secara keseluruhan, mekanisme selektivitas pada tanaman dan herbisida memastikan penyerapan nutrisi yang optimal dan strategi pengelolaan untuk pertumbuhan tanaman dan keseimbangan ekosistem.

Dalam proses penyerapan nutrisi, akar tanaman memiliki kemampuan untuk memilih nutrisi yang diperlukan dan menghindari nutrisi yang tidak dibutuhkan. Hal ini dilakukan melalui mekanisme selektivitas yang memungkinkan akar untuk mengidentifikasi dan mengikat nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Mekanisme ini memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi dan mengurangi penggunaan nutrisi yang tidak dibutuhkan, sehingga menghemat energi dan sumber daya.

Dalam konteks lingkungan, selektivitas dalam penyerapan nutrisi oleh akar tanaman juga berarti bahwa tanaman dapat beradaptasi dengan lingkungan yang berbeda-beda. Dalam lingkungan yang kurang subur, tanaman dapat mengurangi penyerapan nutrisi untuk menghemat energi dan sumber daya. Dalam lingkungan yang lebih subur, tanaman dapat meningkatkan penyerapan nutrisi untuk meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan.

Dalam sintesis, selektivitas dalam penyerapan nutrisi oleh akar tanaman adalah proses yang memungkinkan tanaman untuk memilih nutrisi yang diperlukan dan mengoptimalkan penyerapan nutrisi, sehingga menghemat energi dan sumber daya. Mekanisme ini

memungkinkan tanaman untuk beradaptasi dengan lingkungan yang berbeda-beda dan meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan.

Berikut beberapa manfaat selektivitas dalam tanaman:

1. Efisiensi Penyerapan Nutrisi: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk memilih nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan dan menghindari nutrisi yang tidak dibutuhkan, sehingga menghemat energi dan sumber daya.
2. Meningkatkan Kualitas Tanaman: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi yang diperlukan, sehingga meningkatkan kualitas tanaman dan mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan.
3. Mengurangi Penggunaan Bahan Kimia: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi yang diperlukan, sehingga mengurangi penggunaan bahan kimia yang tidak diperlukan dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan.
4. Meningkatkan Keberlanjutan: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi yang diperlukan, sehingga meningkatkan keberlanjutan tanaman dan mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan.
5. Mengurangi Biaya Produksi: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi yang diperlukan, sehingga mengurangi biaya produksi dan meningkatkan keberlanjutan.
6. Meningkatkan Kualitas Air: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi yang diperlukan, sehingga meningkatkan kualitas air dan mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan.
7. Mengurangi Penggunaan Sumber Daya: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan

nutrisi yang diperlukan, sehingga mengurangi penggunaan sumber daya dan meningkatkan keberlanjutan.

8. Meningkatkan Kualitas Tanah: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi yang diperlukan, sehingga meningkatkan kualitas tanah dan mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan.
9. Mengurangi Penggunaan Energi: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi yang diperlukan, sehingga mengurangi penggunaan energi dan meningkatkan keberlanjutan.
10. Meningkatkan Kualitas Lingkungan: Selektivitas memungkinkan tanaman untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi yang diperlukan, sehingga meningkatkan kualitas lingkungan dan mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan.

## **B. 2. Pengaruh Perakaran Tanaman Terhadap Mekanisme Serapan Hara**

Perakaran tanaman memainkan peran kunci dalam mekanisme serapan hara. Perakaran merupakan tempat utama bagi tanaman untuk menyerap air dan nutrisi dari tanah. Berikut adalah beberapa pengaruh perakaran tanaman terhadap mekanisme serapan hara:

- a. Permukaan Penyerapan yang Luas: Perakaran tanaman memiliki rambut akar yang bertanggung jawab untuk menyerap air dan nutrisi dari tanah. Permukaan perakaran yang luas, terutama karena adanya rambut akar, memperluas area penyerapan, sehingga memungkinkan tanaman untuk mengakses lebih banyak air dan nutrisi.
- b. Permeabilitas Membran Sel: Sel-sel di permukaan rambut akar memiliki membran sel yang permeabel, yang memungkinkan air dan ion-ion mineral untuk berdifusi masuk ke dalam akar. Proses

difusi ini memungkinkan nutrisi untuk masuk ke dalam sistem tanaman.

- c. **Kerapatan dan Kedalaman Akar:** Perakaran yang padat dan tumbuh dalam tanah yang dalam dapat meningkatkan kemampuan tanaman untuk menjangkau nutrisi yang terdapat di berbagai kedalaman tanah. Tanaman dengan sistem perakaran yang dalam lebih mampu menjangkau nutrisi yang tersedia di lapisan tanah yang lebih dalam.
- d. **Interaksi dengan Mikroba Tanah:** Perakaran tanaman juga berinteraksi dengan mikroorganisme tanah, seperti bakteri dan fungi, yang dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Misalnya, mikroba tanah dapat membantu dalam mendekomposisi bahan organik dan meningkatkan ketersediaan unsur hara.
- e. **Sekresi Akar:** Akar tanaman juga dapat mengeluarkan senyawa organik kompleks, seperti asam amino dan asam organik, yang membantu dalam pelarutan mineral-mineral yang terikat dalam struktur tanah. Proses ini disebut dengan asidifikasi rhizosfer.
- f. **Pengaturan Aktivitas Transport Aktif:** Perakaran tanaman memiliki mekanisme pengaturan yang kompleks untuk mengatur serapan nutrisi sesuai dengan kebutuhan tanaman. Ini termasuk pengaturan ekspresi gen untuk transporter ion dan enzim-enzim yang terlibat dalam penyerapan nutrisi tertentu.

### **C. Transportasi dalam Tanaman:**

Setelah nutrisi diserap oleh akar, mereka diangkut ke seluruh tanaman melalui xilem dan floem. Xilem bertanggung jawab untuk mengangkut air dan mineral dari akar ke bagian atas tanaman, sementara floem mengangkut gula dan nutrisi lainnya dari daun ke bagian-bagian lainnya dari tanaman.

**Interaksi dengan Mikroba Tanah:** Beberapa tanaman juga

mengandalkan interaksi dengan mikroba tanah untuk mendapatkan nutrisi tertentu. Misalnya, bakteri *Rhizobium* membentuk simbiosis dengan akar tanaman legum untuk mengikat nitrogen dari udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman.

#### **D. Jenis Pupuk dan Dosisnya**

Jenis pupuk terdapat berbagai yang digunakan dalam pengelolaan nutrisi tanaman, baik pupuk kimia maupun organik. Di bawah ini adalah beberapa jenis pupuk yang umum digunakan beserta dosisnya dalam pengelolaan nutrisi tanaman:

##### **D.1. Nutrisi Makro Primer**

###### **a. Pupuk Nitrogen (N):**

Urea: Pupuk urea adalah salah satu sumber nitrogen yang paling umum digunakan. Dosis yang diberikan tergantung pada tanaman yang dibudidayakan dan kebutuhan nitrogennya. Sebagai contoh, untuk tanaman padi, dosis urea yang umum adalah sekitar 100-150 kg ha<sup>-1</sup> setelah tanam.

Nitrogen: Tanaman biasanya mengambil bentuk nitrogen tanah nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dan amonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Di dalam tanah, N yang diberikan melalui pupuk dan N yang termineralisasi dari bahan organik sebagian besar berakhir dalam bentuk NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Karena terbatasnya kapasitas pertukaran anion di sebagian besar tanah, pencucian N dalam bentuk ion NO<sub>3</sub><sup>-</sup> merupakan masalah kualitas air yang umum, khususnya di wilayah pertanian. Hal ini juga menunjukkan inefisiensi ekonomi yang penting, karena produsen menggunakan pupuk dalam jumlah berlebihan sebagai kompensasi atas pencucian tersebut.

Tanah yang mengalami pelapukan berat, seperti Oxisol dan Ultisol, merupakan pengecualian. Mineralogi Oxisol dan Ultisol didominasi oleh mineral dengan muatan permukaan yang bervariasi, terutama kaolinit dan oksida Fe dan Al, yang memberikan tanah ini

kemampuan untuk menahan  $N-NO_3$  dalam jumlah besar, khususnya di cakrawala lapisan bawah tanah. Oxisol dan Ultisol, dua jenis tanah yang umum ditemukan di kawasan tropis, memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal ketersediaan nitrogen. Oxisol, yang biasa disebut tanah tua karena telah mengalami pelapukan lanjut, tergolong sangat miskin unsur hara dan memiliki kapabilitas tukar kation (KTK) rendah serta retensi fosfor yang tinggi (Nurjaya, 2010). Ketersediaan nitrogen pada Oxisol sangat rendah, sehingga perlu dilakukan penambahan bahan organik dan pupuk buatan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan hasil tanaman.

Ultisol, sebaliknya, memiliki pH yang masam dan kandungan alumina yang tinggi, yang dapat menghambat proses biologis dan kimia yang terkait dengan nitrogen. Kadar nitrogen pada Ultisol relatif rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan nitrogen total pada Ultisol sebesar 0,028% (Siregar, 2021). Kadar ini menunjukkan bahwa Ultisol memiliki ketersediaan nitrogen yang sangat terbatas, yang dapat menjadi kendala dalam pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, penambahan bahan organik dan pupuk buatan yang efektif dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen pada Ultisol sangat diperlukan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan hasil tanaman. Dalam beberapa penelitian, pemanfaatan bahan organik seperti pupuk kandang, pupuk hijau, dan kompos telah digunakan untuk meningkatkan ketersediaan nitrogen pada Oxisol dan Ultisol. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui efektivitas dan efisiensi penggunaan bahan organik ini dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen pada tanah ini.

Ammonium Sulfat: Ammonium sulfat juga digunakan sebagai sumber nitrogen, terutama untuk tanaman yang membutuhkan sulfur tambahan. Dosisnya biasanya sekitar  $50-100 \text{ kg ha}^{-1}$  tergantung pada kondisi tanah dan tanaman.

## **b. Pupuk Fosfor (P):**

Fosfor: P terutama diserap oleh tanaman dalam bentuk ion fosfat ( $\text{HPO}_4^{2-}$  dan  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) dari larutan tanah. Konsentrasi P dalam air tanah umumnya sangat rendah (<0,01% dari total P tanah), dengan sebagian besar P tanah berupa P organik, senyawa P yang tidak larut dengan Al, Fe, dan Ca, serta fosfat teradsorpsi ke dalam tanah. Oksida Fe dan Al dan filosilikat (Stevenson, and Cole, 1999; Brady & Weil 2008). Ion fosfat dari pupuk kimia terlarut bereaksi dengan cepat di sebagian besar tanah, mengakibatkan fiksasi P di dalam tanah. Reaksi tanah ini melibatkan proses adsorpsi dan presipitasi (Purakayastha et al., 2023).

Superfosfat: Superfosfat adalah sumber fosfor anorganik yang umum digunakan. Dosisnya bervariasi tergantung pada tingkat kekurangan fosfor dalam tanah dan jenis tanaman. Umumnya, dosisnya sekitar 50-100 kg/ha.

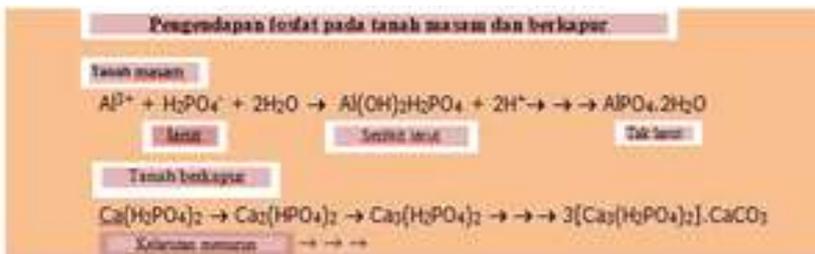
Fosfat Alam: Pupuk fosfat alam seperti batuan fosfat juga digunakan untuk meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah. Dosisnya dapat bervariasi tergantung pada kandungan fosfor dalam batuan tersebut.

### **b.1 Reaksi Adsorpsi**

Reaksi adsorpsi ion fosfat pada permukaan mineral sebagian besar melibatkan pembentukan kompleks bola dalam pada permukaan muatan variabel oksida Fe dan Al serta kaolinit. Contohnya diberikan pada Gambar 7.10, di mana ion fosfat teradsorpsi pada permukaan goetit dengan membentuk ikatan monodentat dan bidentat. Ion fosfat yang teradsorpsi oleh proses tersebut hanya tersedia secara perlahan bagi tanaman. Fosfat juga diketahui diserap oleh kalsit di tanah berkapur, dengan penyerapan terjadi melalui penggantian  $\text{CO}_3^{2-}$  pada permukaan kalsit.

## b.2 Reaksi Pengendapan

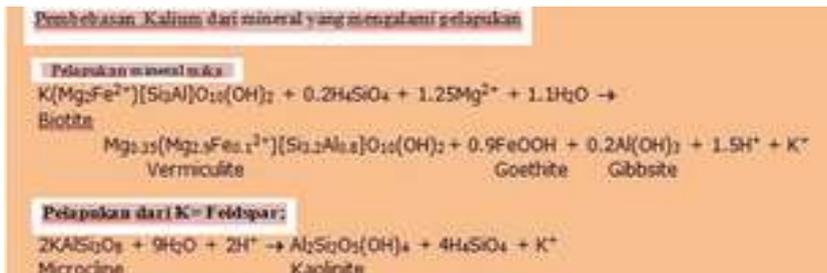
Pada tanah yang sangat masam, reaksi pengendapan yang melibatkan fosfat terlarut dari pupuk menghasilkan pembentukan fosfat Al, Fe, atau Mn yang tidak larut. Sebaliknya, di tanah berkapur, Ca fosfat yang tidak larut terbentuk, yang secara bertahap diubah menjadi hidroksiapatit berkarbonasi yang tidak larut. Reaksi kimia umum fosfat pada tanah masam dan berkapur ditunjukkan pada Gambar 7.10:



**Gambar 7.10.** Reaksi kimia fosfat pada tanah masam dan berkapur

### c. Pupuk Kalium (K):

Kalium: Di antara unsur-unsur penting, K biasanya paling melimpah di tanah. Total K dalam tanah bervariasi antara 0,5-2,5% massa tanah, dan sebagian besar K terdapat dalam bentuk mineral (K-feldspar dan mika). Kalium dilepaskan setelah pelapukan atau pelarutan mineral K dalam tanah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.11:



**Gambar 7.11.** Pembebasan unsur K dari mineral primer yang mengalami pelapukan (weathering).

KCl (Kalium Klorida): Kalium klorida adalah sumber kalium yang umum digunakan. Dosisnya berkisar antara 50-150 kg ha<sup>-1</sup>, tergantung pada jenis tanaman dan kebutuhan kaliumnya.

K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Kalium Sulfat): Kalium sulfat juga digunakan sebagai sumber kalium, terutama untuk tanaman yang membutuhkan tambahan sulfur. Dosisnya mirip dengan kalium klorida.

Dari kedua reaksi tersebut, pelepasan K melalui pelapukan mika umumnya lebih penting dalam menyuplai K ke tanaman di tanah yang tidak dibuahi. Filosilikat menahan dan melepaskan K untuk tanaman dari bentuk yang tidak dapat ditukar atau tetap (yaitu, ditukar dengan sangat lambat dan hanya jika konsentrasi K dalam air tanah turun di bawah nilai ambang batas) dan bentuk yang dapat ditukar. Ion kalium yang ada di tempat pertukaran diserap oleh kompleksasi bola luar dan tersedia untuk diserap oleh tanaman (Gambar 7.11). Di sisi lain, mineral lempung illite, vermiculite, dan interstratified 2:1 melepaskan K yang tetap atau tidak dapat ditukar dari situs antar lapisan melalui proses pertukaran kation dan difusi dengan laju yang lebih lambat dibandingkan K yang dapat ditukar. Mirip dengan ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K yang disuplai melalui pupuk atau bahan tambahan lainnya dapat difiksasi dalam lapisan mineral 2:1. Ion K yang tidak dapat ditukar atau tetap berpotensi dilepaskan kembali ke dalam larutan tanah jika konsentrasi K larutan berada di bawah nilai ambang batas tertentu.

#### **d. Pupuk NPK (Nitrogen, Fosfor, Kalium):**

Pupuk NPK adalah pupuk komposisi yang mengandung nitrogen, fosfor, dan kalium dalam proporsi yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman. Dosisnya disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi tanah.

### **D.2 Nutrisi Makro Sekunder**

Di antara unsur hara sekunder, Ca dan Mg diserap oleh tanaman

dalam bentuk kationiknya,  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ . Kation-kation ini ditahan pada lokasi filosilikat yang bermuatan negatif melalui tarikan elektrostatis (kompleksasi bola luar). Pengendapan karbonat sekunder, seperti kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), magnesium kalsit ( $\text{Ca}_{1-x}\text{Mg}_x\text{CO}_3$ ), dan gipsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), umum terjadi pada tanah di lingkungan kering dan semi kering. Karbonat sekunder dianggap sebagai pemulung penting beberapa nutrisi melalui penggabungan dalam struktur mineral (misalnya Mn) atau kompleksasi bola dalam (misalnya P dan Zn) pada permukaan mineral.

Belerang diserap oleh tanaman sebagai sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), dan merupakan bentuk S anorganik yang paling umum di dalam tanah. Oksida Fe dan Al serta kaolinit menyediakan tempat adsorpsi  $\text{SO}_4^{2-}$  di sebagian besar tanah, meskipun mineral ini terdapat dalam jumlah kecil. Ion sulfat diyakini diserap oleh mineral-mineral ini dengan membentuk kompleks bola dalam dan luar. Pada tanah berkapur,  $\text{SO}_4^{2-}$  dapat diserap pada  $\text{CaCO}_3$  dengan membentuk ko-presipitat  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ , sehingga  $\text{SO}_4^{2-}$  tidak tersedia bagi tanaman. Mineral sulfida ( $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{S}_2^{2-}$ ) terbentuk di lingkungan reduksi (misalnya air tawar dan rawa pasang surut) di mana ion  $\text{SO}_4^{2-}$  direduksi menjadi mineral seperti pirit ( $\text{FeS}_2$ ). Bentuk S tereduksi tersebut teroksidasi setelah terkena udara, melepaskan ion  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}^+$ , dan  $\text{Fe}^{3+}$  ke dalam larutan tanah.

### **D.3. Mikronutrien**

Di antara unsur hara mikro, Fe, Mn, Cu, Zn, dan Ni diserap oleh tanaman dalam bentuk kationiknya, dan B, Mo, dan Cl diserap oleh tanaman dalam bentuk anioniknya. Fe dan Mn seringkali terdapat dalam jumlah besar di sebagian besar tanah, dan reaksi adsorpsi memainkan peran kecil dalam mengendalikan ketersediaannya bagi tanaman di dalam tanah. Reaksi oksidasi dan presipitasi sebagian besar mengontrol konsentrasi larutan tanah Fe dan Mn. Goetit, hematit, dan ferihidrit adalah oksida Fe sekunder yang paling umum

terdapat dalam tanah. Karena ukuran oksida Fe yang mikrokristalin, mineral ini memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi dan menyediakan banyak lokasi adsorpsi untuk unsur kationik dan anionik di semua jenis tanah. Dua oksida Fe paling stabil, goetit dan hematit, diketahui memiliki substitusi struktural yang besar terhadap unsur jejak, termasuk Mn, Ni, Zn, dan Cu. Mineral mangan tidak melimpah dan umum seperti Fe oksida. Seringkali, mereka berada di tanah sebagai lapisan mineral, sebagai bintil-bintil, atau sebagai partikel halus yang tersebar dalam matriks tanah. Oksida Fe dan Mn merupakan unsur mineral umum di banyak tanah dan merupakan substrat penting untuk retensi banyak unsur hara makro dan unsur hara mikro. Ketersediaan Fe dan Mn bagi tanaman sangat berkurang di tanah berkapur karena kelarutan Fe dan Mn oksida dan Mn karbonat yang sangat rendah. Dalam situasi seperti ini, tanaman menginduksi respon biokimia, seperti pelepasan senyawa pereduksi dan pengkelat serta pengasaman rhizosfer, yang dapat meningkatkan ketersediaan Fe, Mn, dan unsur hara mikro lainnya.

Tembaga, Zn, dan Ni diadsorpsi oleh oksida Fe dan Al dengan membentuk kompleks bola dalam pada konsentrasi larutan rendah. Namun, pada konsentrasi larutan yang lebih tinggi, terjadi pengendapan logam hidroksida (Ginder-Vogel & Sparks 2010). Adsorpsi  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , dan  $\text{Ni}^{2+}$  terjadi melalui pembentukan kompleks bola luar pada permukaan filosilikat 2:1 yang bermuatan negatif dan mungkin melalui pembentukan kompleks permukaan dalam pada permukaan kaolinit. Pada tanah alkalin, adsorpsi Zn pada kalsit dan ko-presipitasi Cu pada kalsit juga dapat terjadi.

Unsur B dan Mo diserap tanaman sebagai  $\text{H}_3\text{BO}_3$  dan  $\text{MoO}_4^{2-}$ . Boron sangat penting untuk integritas membran, produksi benih, pemanjangan akar, dan metabolisme gula pada tanaman, dengan implikasi bagi kesehatan manusia juga (Aryadeep, et al., 2021). Di sisi lain, molibdenum memainkan peran penting dalam fiksasi nitrogen

pada kacang-kacangan dan mengatur reduksi nitrat dan kandungan protein pada tanaman (Kostova et al., 2008). Penyerapan molibdenum oleh tanaman melibatkan mekanisme transpor, dengan penyerapan molibdat berpotensi terjadi melalui sistem transpor sulfat karena kesamaan antara sulfat dan molibdat (Andrzej, et al., 2022). Selain itu, kandungan dan translokasi molibdenum pada tanaman kacang-kacangan, seperti kacang polong, bervariasi di seluruh tahap pertumbuhan yang berbeda, menyoroti pentingnya memahami dinamika penyerapan mikronutrien pada tanaman (Umesh, et al., 2011). Oleh karena itu, boron dan molibdenum diserap oleh tanaman dalam bentuk tertentu yang sangat penting untuk pertumbuhan, perkembangan, dan proses metabolisme mereka

Demikian pula,  $\text{MoO}_4^{2-}$  sangat teradsorpsi oleh oksida logam. Klorin diserap oleh tanaman dalam bentuk klorida ( $\text{Cl}^-$ ), dan reaksi adsorpsi yang melibatkan ion  $\text{Cl}^-$  serupa dengan reaksi yang melibatkan ion  $\text{NO}_3^-$ . Oleh karena itu, potensi adsorpsi ion  $\text{Cl}^-$  berbasis pertukaran yang relatif tinggi terjadi pada tanah yang mengalami pelapukan tinggi karena mineraloginya didominasi oleh mineral bermuatan variabel, seperti kaolinit dan oksida Fe dan Al. Pada lingkungan tanah tertentu, seperti pada lingkungan dengan pencucian terbatas atau pada daerah dataran rendah di iklim kering, Cl mungkin terdapat dalam bentuk mineral yang diendapkan, seperti  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ , dan  $\text{MgCl}_2$ .

#### **E. Strategis Pengelolaan Nutrisi**

Strategi pengelolaan nutrisi tanaman adalah proses yang kompleks yang melibatkan berbagai aspek, termasuk pemahaman kebutuhan nutrisi tanaman, penggunaan pupuk yang efektif, dan pengelolaan lingkungan yang seimbang. Berikut adalah beberapa strategi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi tanaman:

Pemupukan Presisi: Menggunakan teknologi yang memungkinkan aplikasi pupuk secara presisi, mengurangi kelebihan pupuk yang tidak digunakan oleh tanaman dan mengurangi kerugian nutrisi ke lingkungan. Pemupukan Presisi adalah strategi yang efektif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi tanaman. Dalam strategi ini, pupuk diberikan pada dosis yang tepat pada waktu yang tepat dan di tempat yang tepat. Hal ini membantu meminimalkan kerugian nutrisi dan memaksimalkan efisiensi penggunaannya oleh tanaman

- 1 Rotasi Tanaman: Meragamkan tanaman yang ditanam secara bergiliran di lahan pertanian, memungkinkan tanaman untuk menyerap nutrisi yang tersedia dalam tanah secara lebih efisien dan mengurangi risiko penyakit dan hama
- 2 Penggunaan Pupuk Mikroba: Menggunakan mikroorganisme yang menguntungkan, seperti bakteri dan jamur, yang membantu meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres lingkungan.
- 3 Penggunaan Pupuk Organik: Memberikan nutrisi secara bertahap dan meningkatkan ketersediaan nutrisi tanaman dalam jangka panjang, serta meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi dari tanah.
- 4 Penggunaan Pupuk Hayati: Meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi dari tanah, serta meningkatkan keseimbangan nutrisi dalam tanah.
- 5 Penggunaan Mulsa Organik: Menutup tanah dengan mulsa organik atau tanaman penutup, membantu mempertahankan kelembaban tanah dan mengurangi erosi, serta meningkatkan ketersediaan nutrisi tanaman.
- 6 Penggunaan Teknik Konservasi Tanah: Menggunakan teknik seperti penutupan tanah dengan mulsa organik atau tanaman

penutup, serta memvariasikan tanaman yang ditanam secara bergiliran di lahan pertanian, untuk meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi tanaman.

- 7 Penggunaan Analisis Pemupukan: Melakukan analisis pemupukan untuk memahami kebutuhan nutrisi tanaman dan mengidentifikasi kebutuhan unsur hara makro dan mikro yang diperlukan oleh tanaman.
- 8 Penggunaan Uji Tanah: Melakukan uji tanah untuk memahami struktur tanah dan ketersediaan nutrisi yang tersedia dalam tanah, serta untuk menentukan jenis pupuk yang paling efektif untuk digunakan.

### **E.1 Pemupukan Berimbang**

Pemupukan berimbang adalah strategi yang efektif dalam pengelolaan nutrisi tanaman. Tujuan dari pemupukan berimbang adalah untuk menyediakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman secara seimbang dan efisien, memastikan bahwa setiap aspek nutrisi diberikan pada waktu yang tepat, dengan jenis yang tepat, dosis yang tepat, cara yang tepat, dan pertimbangan ekonomi yang tepat. Pemupukan berimbang melibatkan beberapa aspek penting, seperti:

- 1 Tepat Jenis: Pemilihan jenis pupuk yang sesuai akan memastikan tanaman mendapatkan asupan nutrisi yang dibutuhkan untuk tumbuh optimal.
- 2 Tepat Dosis: Penyesuaian jumlah pupuk berdasarkan kebutuhan nyata tanaman dan kondisi kesuburan tanah untuk menghindari kelebihan atau kekurangan nutrisi.
- 3 Tepat Cara: Metode aplikasi pupuk harus disesuaikan dengan jenis tanaman dan kondisi tanah untuk memastikan distribusi nutrisi yang merata.
- 4 Tepat Ekonomi: Pertimbangan ekonomi yang tepat dalam pemupukan berimbang memastikan bahwa pengeluaran

pupuk efektif dan efisien.

Pemupukan berimbang adalah pendekatan dalam pengelolaan nutrisi tanaman yang bertujuan untuk memberikan nutrisi yang seimbang sesuai dengan kebutuhan tanaman, tanah, dan lingkungan. Tujuannya adalah untuk mencapai hasil panen yang optimal dengan mempertimbangkan aspek-aspek berikut:

**Analisis Tanah dan Tanaman:** Langkah pertama dalam pemupukan berimbang adalah melakukan analisis tanah untuk mengetahui kondisi nutrisi tanah. Selain itu, juga penting untuk memahami kebutuhan nutrisi tanaman yang dibudidayakan. Dengan pemahaman yang baik tentang kebutuhan nutrisi tanaman dan ketersediaan nutrisi dalam tanah, pemupukan dapat disesuaikan secara tepat.

**Pemupukan Sesuai Kebutuhan:** Berdasarkan hasil analisis tanah dan tanaman, pemupukan dilakukan dengan memberikan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Ini melibatkan aplikasi pupuk nitrogen, fosfor, kalium, dan unsur hara lainnya dalam proporsi yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman pada tahap-tahap pertumbuhan yang berbeda.

**Pemupukan Lokal atau Zoning:** Zonasi lahan berdasarkan ketersediaan nutrisi dan kebutuhan tanaman juga dapat digunakan untuk menerapkan pemupukan berimbang. Dengan memetakan lahan berdasarkan tingkat kebutuhan nutrisi, pemupukan dapat difokuskan pada area-area yang membutuhkan nutrisi tertentu.

**Pemanfaatan Pupuk Organik:** Pemupukan berimbang juga melibatkan penggunaan pupuk organik seperti kompos, pupuk kandang, dan pupuk hijau. Pupuk organik tidak hanya menyediakan nutrisi, tetapi juga meningkatkan kesehatan tanah dan aktivitas mikroba tanah, yang dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi secara keseluruhan.

**Pemantauan dan Koreksi:** Penting untuk terus memantau kondisi

tanaman dan tanah selama musim tanam. Jika diperlukan, koreksi dapat dilakukan dengan memberikan pupuk tambahan atau melakukan penyesuaian pemupukan berdasarkan respons tanaman dan kondisi tanah.

**Pertimbangan Lingkungan:** Pemupukan berimbang juga memperhatikan dampak lingkungan dari aplikasi pupuk. Hal ini termasuk meminimalkan risiko pencemaran air dan tanah, serta mengurangi emisi gas rumah kaca yang terkait dengan pemupukan.

## **E. 2. Pemanfaatan Pupuk Organik**

Pemanfaatan pupuk organik merupakan bagian integral dari pengelolaan nutrisi tanaman yang berkelanjutan. Pupuk organik adalah sumber nutrisi yang berasal dari bahan-bahan alami, seperti kompos, pupuk kandang, limbah pertanian, dan bahan organik lainnya. Berikut adalah beberapa manfaat dan praktik yang terkait dengan pemanfaatan pupuk organik dalam pengelolaan nutrisi tanaman:

**Meningkatkan Kesuburan Tanah:** Pupuk organik mengandung berbagai macam nutrisi esensial, termasuk nitrogen, fosfor, kalium, serta unsur hara mikro. Penggunaan pupuk organik secara teratur dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam tanah, sehingga meningkatkan kesuburan tanah secara keseluruhan.

**Meningkatkan Kesehatan Tanah:** Pupuk organik juga memiliki efek positif terhadap struktur tanah dan aktivitas mikroba tanah. Ini membantu meningkatkan retensi air, drainase tanah, serta ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Pupuk organik juga membantu meningkatkan kegiatan mikroba tanah yang membantu dalam siklus nutrisi tanaman.

**Meminimalkan Risiko Pencemaran Lingkungan:** Pupuk organik cenderung memiliki tingkat risiko pencemaran lingkungan yang lebih rendah daripada pupuk kimia. Mereka mengurangi risiko pencemaran

air tanah dan permukaan serta mengurangi emisi gas rumah kaca.

**Memperbaiki Struktur Tanah:** Pupuk organik seperti kompos dapat membantu memperbaiki struktur tanah yang buruk. Mereka meningkatkan agregasi tanah, memperbaiki drainase, dan meningkatkan kapasitas retensi air tanah.

**Memperbaiki Kualitas Tanaman:** Pupuk organik dapat memberikan nutrisi secara bertahap dan lebih tahan lama dibandingkan dengan pupuk kimia. Hal ini membantu tanaman untuk mendapatkan nutrisi secara konsisten selama periode pertumbuhan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kualitas tanaman dan hasil panen.

**Mengurangi Ketergantungan pada Pupuk Kimia:** Pemanfaatan pupuk organik dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, yang pada akhirnya dapat mengurangi biaya produksi dan risiko yang terkait dengan penggunaan pupuk kimia berlebihan.

Praktik-praktik terbaik dalam pemanfaatan pupuk organik meliputi:

**Komposisi yang tepat:** Menggunakan bahan baku yang beragam dan memperhatikan rasio karbon-nitrogen yang optimal untuk menghasilkan kompos berkualitas tinggi.

**Aplikasi yang tepat waktu:** Aplikasi pupuk organik sebaiknya dilakukan sebelum tanam atau dicampurkan dengan tanah untuk memastikan nutrisi tersedia saat tanaman membutuhkannya.

**Pemantauan secara berkala:** Memantau kandungan nutrisi tanah dan respons tanaman terhadap aplikasi pupuk organik, serta melakukan penyesuaian jika diperlukan.

**Integrasi dengan sistem pertanian lainnya:** Memadukan pemanfaatan pupuk organik dengan praktik-praktik pertanian lainnya seperti rotasi tanaman, tanaman penutup tanah, dan pengelolaan sisa tanaman untuk meningkatkan kesehatan tanah dan hasil panen secara keseluruhan.

## 7.2 Kompos

Kompos: Jamilah (2010a,b) telah membuktikan bahwa aplikasi pupuk kompos cronobio yang berasal dari campuran *Chromolaena odorata* dan Guano mampu menggantikan kebutuhan 75% pupuk buatan NPK untuk menghasilkan produksi jagung mencapai 7.78 ton ha<sup>-1</sup>. Tanaman jagung yang diberi kompos Cronobio lebih hijau dibandingkan yang tidak diberi kompos (Gambar 7.12). Demikian pula (Jamilah, 2008) membuktikan bahwa ada efek sisa aplikasi kompos *Chromolaena odorata* dan Guano untuk musim tanam berikutnya seperti tanaman bawang. Efek sisa kompos untuk budidaya tanaman bawang ternyata mampu menghemat 50% pupuk buatan dengan berat 141 g/pot bawang segar.



**Gambar 7.12.** Tanaman jagung yang diaplikasikan dengan kompos Cronobio (*C.odorata* + Guano) memasuki usia panen, memiliki daun yang tetap hijau (kanan) dan tidak diberi kompos (kiri).

Namun demikian pemberian bioaktivator sangat mempengaruhi proses pengomposan dan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Berbagai jenis bioaktivator yang dijual atau juga dapat dikembangkan sendiri. Dari berbagai jenis bioaktivator yang telah

digunakan memang terbukti bahwa EM4 mampu menghasilkan ketersediaan unsur hara tertinggi dibandingkan Biocom dan *Trichoderma sp* (Jamilah et al., 2009).

## 2.1 Pupuk Organik Cair:

Pupuk organik cair (POC) adalah pupuk cair yang dibuat dari sisa-sisa tumbuhan, kotoran hewan, atau limbah organik lainnya. Pupuk organik cair ini digunakan untuk memberikan nutrisi tambahan kepada tanaman melalui penyiraman atau penyemprotan pada daun. Ini mengandung unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta mikronutrien lainnya yang diperlukan tanaman. POC masih sangat jarang digunakan untuk tanaman pangan. Tanaman dapat menyerap unsur hara melalui daun lebih cepat daripada melalui akar (Oosterhuis, 2009). Sudah dibuktikan bahwa POC Crocober dan Unitas Super berguna untuk tanaman padi ladang, padi sawah, dan tanaman bawang. POC sebagai pupuk daun dapat meningkatkan hasil tanaman padi sawah dan mengurangi penggunaan pupuk buatan.

POC Crocober, pupuk organik cair, berasal dari fermentasi beberapa bahan penyusun berkualitas tinggi, termasuk *Chromoleana odorata*, (*C.odorata*) sabut kelapa, dan MOL (Crocober). (Jamilah & Juniarti, 2014) menunjukkan bahwa *C.odorata* dan sabut kelapa mengandung tingkat hara N, P, dan K yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai pupuk tanaman. (Jamilah & Juniarti, 2016) menunjukkan bahwa menggunakan POC Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa cabe adalah tanaman hortikultura yang sangat singkat. Oleh sebab itu, untuk tanaman yang berumur singkat, untuk mendapatkan hasil terbaik, gunakan konsentrasi yang lebih rendah dan lebih sering.

Mekanisme serapan hara melalui daun dari penggunaan POC dan akar sama. Untuk meningkatkan hasil dan kualitas tanaman lapangan, pemupukan daun biasanya digunakan untuk melengkapi aplikasi tanah (Oosterhuis, 2009). <sup>15</sup>N pada kapas diserap dengan

cepat oleh daun (30% dalam satu jam) dan ditransfer ke buah terdekat dalam waktu 6 hingga 48 jam setelah aplikasi. Serapan pupuk daun paling tinggi pada pagi dan sore hari, dan terendah pada tengah hari.

Pemupukan foliar berhasil ketika pupuk masuk ke dalam kutikula atau stomata daun dan masuk ke sel dan jalur metabolisme. Kutikula, lapisan berlilin hidrofobik, melindungi seluruh tanaman dari lingkungan. Ini menghalangi penyerapan pupuk daun-diterapkan. Untuk tanaman pangan seperti kapas, morfologi permukaan dan penampang kutikula daun telah ditandai dengan baik. Terbukti bahwa kutikula sangat berubah-ubah. Misalnya, penelitian menunjukkan bahwa kekurangan air meningkatkan ketebalan kutikula sebesar 33%. Selain itu, tekanan air mengubah jenis lipid menjadi lipida hidrofobik rantai panjang, yang menghentikan penyerapan nutrisi melalui foliar. Jumlah lilin pada kutikula meningkat karena defisit air, yang mengubah komposisi menjadi lilin yang lebih hidrofobik dengan rantai yang lebih panjang, dan secara signifikan mengurangi penyerapan nutrisi pada daun. Salah satu penghalang utama untuk penyerapan pupuk daun adalah kutikula. Sebagai ganti stomata, kutikula daun adalah satu-satunya cara pengambilan air dan zat terlarut dalam cairan. Bahan kimia eksogen dapat melewati dua jalur: jalur lipoidal dan jalur air. Senyawa yang larut dalam lipid berpenetrasi ke dalam kutikula pada dasarnya dalam bentuk non-polar dan tidak terdisosiasi. Sebaliknya, senyawa yang masuk melalui jalur air bergerak dengan lambat, dan penetrasinya sangat dibantu oleh atmosfer yang jenuh. Selanjutnya masuk ke sitoplasma sel di dalamnya. Nutrisi harus dapat melewati kutikula luar daun dan dinding sel epidermis yang mendasarinya. Kutikula dianggap sebagai bagian terkuat dari jalur nutrisi melalui daun. Setelah penetrasi, penyerapan nutrisi dari daun mungkin tidak jauh berbeda dari penyerapan nutrisi dari akar; satu-satunya hal yang membedakan keduanya adalah lingkungan di mana masing-masing bagian tanaman berada.

Pupuk daun memiliki keunggulan karena harganya yang terjangkau dan respons tanaman yang cepat. Ini sangat penting terutama saat tanah mengalami masalah dan pertumbuhan akar yang buruk (Jamilah, 2017). Sebaliknya, hal ini memiliki kelemahan, seperti kemungkinan luka bakar pada daun, masalah kelarutan, dan jumlah unsur hara yang dapat diberikan secara bersamaan. Respon tanaman terhadap POC juga berbeda tergantung pada waktu pemberian, penggunaan pupuk yang tidak tepat, jumlah buah yang dihasilkan, dan kondisi lingkungan.

### **Latihan**

1. Apa yang dimaksud dengan pengelolaan nutrisi tanaman, dan apa pula nutrisi tanaman?
2. Sebutkan beberapa factor yang mempengaruhi penyediaan nutrisi tanaman?
3. Apa saja dari factor tanah yang mempengaruhi ketersediaan nutrisi tanaman?
4. Mengapa pupuk penting diberikan dalam menyediakan nutrisi tanaman?
5. Bagaimana peranan air dalam mempengaruhi ketersediaan nutrisi tanaman?
6. Apakah peranan atmosfer dan suhu terhadap ketersediaan nutrisi tanaman?
7. Bagaimana peranan pH terhadap mekanisme ketersediaan berbagai unsur hara yang diperlukan oleh tanaman?
8. Jelaskan berbagai bentuk ion yang diserap tanaman baik itu unsur makro maupun unsur mikro.
9. Bagaimana reaksi kimia tanah mempengaruhi ketersediaan unsur fosfat bagi tanaman?
10. Jelaskan mekanisme penyerapana hara melalui akar dan bagaimana mekanisme serapan hara melalui daun.

## Referensi

- Ariel, Tarazona., Ariel, Tarazona., Maria, Camila, Ceballos., Juan, F, Naranjo., César, A, Cuartas. (2012). Fatores que afetam o comportamento no consumo e seletividade de forragem em ruminantes. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*, 25(3):473-487.
- Aryadeep, Roychoudhury., Swarnavo, Chakraborty. (2021). Cobalt and molybdenum transport in plants. 199-211. doi: 10.1016/B978-0-12-817955-0.00010-7
- Amend, A. S., Oliver, T. A., Amaral-Zettler, L. A., Boetius, A., Fuhrman, J. A., & Horner-Devine, M. C., (2013). Macroecological patterns of marine bacteria on a global scale. *Journal of Biogeography*, 40, 800–811.
- Bindu, Yadav., Abhimanyu, Jogawat., Shambhu, Krishan, Lal., Shambhu, Krishan, Lal., Nita, Lakra., Sahil, Mehta., Nitzan, Shabek., Om, Prakash, Narayan. (2021). Plant mineral transport systems and the potential for crop improvement. *Planta*, 253(2):45-45. doi: 10.1007/S00425-020-03551-7 Plant mineral transport systems and the potential for crop improvement. *Planta*, 253(2):45-45. doi: 10.1007/S00425-020-03551-7
- Andrzej, Wysokiński., I., Lozak., Beata, Kuziemska. (2022). The Dynamics of Molybdenum, Boron, and Iron Uptake, Translocation and Accumulation by Pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*, 12(4):935-935. doi: 10.3390/agronomy12040935
- Baker-Austin, C., & Dopson, M. (2007). Life in acid: pH homeostasis in acidophiles. *Trends Microbiol.* 15, 165–171. doi: 10.1016/j.tim.2007.02.005
- Brady, N. C. & Weil, R. R. *The Nature and Properties of Soil*, 14th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008.
- Bindu, Yadav., Abhimanyu, Jogawat., Shambhu, Krishan, Lal., Shambhu, Krishan, Lal., Nita, Lakra., Sahil, Mehta., Nitzan, Shabek., Om, Prakash, Narayan. (2021). Plant mineral transport systems and the potential for crop improvement. *Planta*, 253(2):45-45. doi: 10.1007/S00425-020-03551-7 Plant mineral transport systems and the potential for crop improvement.

- Planta, 253(2):45-45. doi: 10.1007/S00425-020-03551-7
- Chen, G., He, Z., & Wang, Y. (2004). Impact of pH on microbial biomass carbon and microbial biomass phosphorus in red soils. *Pedosphere*, 14, 9–15.
- Cornell University. PO 39. Competency Area 5: Soil pH and Liming. Describe how soil ph affects the availability of each nutrient. <https://nrcca.cals.cornell.edu/nutrient/CA5/CA0539.php>.
- Edwards, K. J., Becker, K., & Colwell, F. (2012). The deep, dark energy biosphere: intraterrestrial life on Earth. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 40: 551–568.
- El Haddad, N., Choukri, H., Ghanem, M. E., Smouni, A., Mentag, R., Rajendran, K., Hejjaoui, K., Maalouf, F., & Kumar, S. (2022). High-temperature and drought stress effects on growth, yield and nutritional quality with transpiration response to vapor pressure deficit in lentil. *Plants*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/plants11010095>
- Elnahal, A. S. M., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Desoky, E.-S. M., El-Tahan, A. M., Rady, M. M., AbuQamar, S. F., & El-Tarabily, K. A. (2022). The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. *European Journal of Plant Pathology*, 162(4), 759–792. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02393-7>
- Fageria, N. K., & Nascente, A. S. (2014). Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. *Advances in agronomy*: 128, 221–275.
- Francisco, J., Morales-Olivas. (2016). Relevancia clínica de la selectividad de los inhibidores del cotransportador sodio-glucosa tipo 2. *Medicina Clinica*, 147:26-29. doi: 10.1016/S0025-7753(17)30622-X
- Goldberg, S. (1997). Reactions of boron with soils. *Plant and soil*, 193(1), 35–48.
- Ginder-Vogel, M. & Sparks, D. L (2010). The impact of X-ray absorption spectroscopy on understanding soil processes and reaction mechanisms. In *Synchrotron-Based Techniques in Soils and Sediments*, eds. Singh, B. & Gräfe, M. (Burlington: Elsevier 1-26.

- T, Varró., J, Gelencsér., G, Somogyi. (1987). Study of transport processes in soils and plants by microautoradiographic and radioabsorption methods.. 22(1):31-43.
- Hayman, D. S., & Tavares, M. (1985). Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza: xv. Influence of soil ph on the symbiotic efficiency of different endophytes. *New Phytologist*, 100(3), 367– 377.
- Havlin, John L, Samuel L. Tisdale, Werner L. Nelson, James D. Beaton. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*, 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall,
- Jamilah, J. (2008). Efek Residu Kompos *C.odorata* Dan Guano Upaya Menghemat Pupuk Buatan Untuk Tanaman Bawang Pada Tanah Marginal. *Jurnal Embrio*, 1(2), 63-73.
- Jamilah, Rafli Munir, Suardi, Rusda Mulyati dan Yusri Renor. (2009). Peranan Kesesuaian Bioaktivator untuk Meningkatkan Kandungan Basa-Basa Pada Kompos Guano dan *C. odorata*. *Jur. Embrio* (2) (1) (19-25).
- Jamilah, J. (2010)a. Peranan Kompos Krono Menggantikan Pupuk Buatan Untuk Meningkatkan Hasil Jagung Pada Alluvial Bandar Buat Padang (Tahap 2). *Bulletin Ilmiah Ekasakti*, 19(1), 109-115.
- Jamilah, J. (2010)b. Upaya Menggantikan Pupuk Buatan Dengan Kompos Kronobio Untuk Meningkatkan Serapan Hara Dan Hasil Jagung. *Agrivigor*, 10(1), 10-17.
- Jamilah, J. (2017). Padi sebagai penyedia beras dan pakan ternak menunjang kedaulatan pangan. In *Deepublish*.
- Jamilah. (2016). Pengaruh Pupuk Organik Cair Asal *C.odorata* Terhadap Serapan Hara Kalium Dan Hasil Padi Ladang. *Jurnal Bibiet, ISSN 2502-0951*, 1(1), 17–26. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22216/jbvt.v1i1.258>
- Jamilah, & Helmawati. (2015). Kajian Analisis Usaha Tani Integrasi Padi Sawah Dan Pakan Ternak Ruminansia Menunjang Kedaulatan Pangan Dan Daging Dalam Menghadapi Masyarakat Ekonomi Asean 2015. *Seminar Nasional Kesiapan Indonesia dalam Pasar Bebas ASEAN Melalui Penguatan Implementasi Corporate*

- Governance yang Sehat “* (pp. 254–266). BUNG HATTA UNIVERSITY PRESS.
- Jamilah, J. (2017). Padi Sebagai penyedia beras dan pakan ternak menunjang kedaulatan pangan. Penerbit. *Deepublish*.
- Jamilah, & Juniarti. (2014). Test of Liquid Organic Fertilizer Originated C.odorata and Coconut Fiber With Various Composition by Length Fermentation. *Journal of Environmental Research and Development*, 9(01), 1–6.
- Jamilah, & Novita, E. (2016). PENGARUH PUPUK ORGANIK CAIR CROCOBER TERHADAP TANAMAN BAWANG MERAH (*Allium ascalonicum* L.). *JURNAL IPTEKS TERAPAN*, 8(2), 67–73. <https://doi.org/10.22216/jit.2016.v10i2.440>
- Kashyap, B., & Kumar, R. (2021). Sensing Methodologies in Agriculture for Soil Moisture and Nutrient Monitoring. *IEEE Access*, 9, 14095–14121. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052478>
- Kotsyurbenko, O. R., Chin, K. J., Glagolev, M. V., Stubner, S., Simankova, M. V., & Nozhevnikova, A. N. (2004). Acetoclastic and hydrogenotrophic methane production and methanogenic populations in an acidic West-Siberian peat bog. *Environ. Microbiol*, 6, 1159–1173.
- Kostova D., V., Kanazirska., M., Kamburova. (2008). A comparative analysis of different vegetable crops for content of manganese and molybdenum. *Agronomy research*, 6(2):477-488.
- Kulshreshtha, N. M., Kumar, A., Bisht, G., Pasha, S., & Kumar, R. (2012). Usefulness of organic acid produced by *Exiguobacterium* sp. 12/1 on neutralization of alkaline wastewater. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Lauber, C. L., Hamady, M., Knight, R., & Fierer, N. (2009). Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. *Applied Environmental Microbiology*, 75, 5111–5120.
- Lapidus, D. F. *Collins Dictionary of Geology*, London, England: HarperCollins, 1990.
- Lian, B., Chen, Y., Zhu, L., & Yang, R. (2008). Effect of microbial weathering on carbonate rocks. *Earth Science Frontiers*, 15, 90–

99.

- Lindsay, W. L., & Schwab, A. P. (1982). The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *Journal of Plant Nutrition*, 5(4-7), 821-840.
- Lončarić, Z., Karalić, K., Popović, B., Rastija, D., & Vukobratović, M. (2008). Total and plant available micronutrients in acidic and calcareous soils in Croatia. *Cereal Research Communication*, 36, 331– 334.
- Marchevski,, Radoslav. (2023). Nutrients Uptake and Transport in Plants. 180-190. doi: 10.1002/9781119803041.ch10
- Maathuis F. J. M. (2009) Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12, 250–258.
- xliii. Mabrouk, Y., Hemissi, I., Salem, I. B., Mejri, S., Saidi, M., & Belhadj, O. (2018). Potential of rhizobia in improving nitrogen fixation and yields of legumes. *Symbiosis*, 107, 73495.
- Maguffin, S. C., Kirk, M. F., Daigle, A. R., Hinkle, S. R., & Jin, Q. (2015). Substantial contribution of biomethylation to aquifer arsenic cycling. *Nature Geosciences*, 8, 290–293.
- Mardad, I., Serrano, A., & Soukri, A. (2013). Solubilization of inorganic phosphate and production of organic acids by bacteria isolated from a Moroccan mineral phosphate deposit. *African Journal of Microbioly Research*, 7 (8), 626–635.
- Marx, E. S., Hart, J. M., & Stevens, R. G. (1996). *Soil test interpretation guide*.
- McCauley, A., Jones, C., & Jacobsen, J. (2009). Soil pH and organic matter. *Nutrient Management Module*, 8(2), 1–12.
- Minasny, B., Hong, S. Y., Hartemink, A. E., Kim, Y. H., & Kang, S. S. (2016). "Soil pH increase under paddy in South Korea between 2000 and 2012," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 205–213.
- xlix. Muglia, C. I., Grasso, D. H., & Aguilar, O. M. (2007). *Rhizobium tropici* response to acidity involves activation of glutathione synthesis. *Microbiology*, 153, 1286–1296.
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019.
- Nieder, R., Benbi, D. K. & Scherer, H. W. Fixation and defixation of

- ammonium in soils: A review. *Biology and Fertility of Soils* 47, 1-14 (2011). doi: 10.1007/s00374-010-0506-4.
- Nicholls, P. H. (1988). Factors influencing entry of pesticides into soil water. *Pesticide Science*, 22(2), 123–137.
- Nurjaya. 2010. Problem Fiksasi Fosfor Pada Tanah Berkembang Lanjut (Ultisols Dan Oxisols) Dan Alternatif Mengatasinya. Prosiding Seminar Nasional Agroinovasi Spesifik Lokasi Untuk Ketahanan Pangan Pada Era Masyarakat Ekonomi ASEAN, 109-117.
- O'Flaherty, V., Mahony, T., O'Kennedy, R., & Colleran, E. (1998). Effect of pH on growth kinetics and sulphide toxicity thresholds of a range of methanogenic, syntrophic and sulphate-reducing bacteria. *Process Biochem*, 33, 555–569.
- Oosterhuis, D. (2009). Foliar fertilization: mechanisms and magnitude of nutrient uptake. *Proceedings of the Fluid Forum*, 15–17.
- Parikh, S. J. & James, B. R. (2012). Soil: The foundation of agriculture. *Nature Education Knowledge* 3(10), 2.
- Parwada., C., J., Chipomho., Varaidzo, O, Gwatidzo. (2023). Understanding Mechanisms of Herbicide Selectivity in Agro-Ecosystems: A Review. 77-86. doi: 10.37256/acbr.2120232351
- Penuelas, J., Fernández-Martínez, M., Vallicrosa, H., Maspons, J., Zuccarini, P., Carnicer, J., Sanders, T. G. M., Krüger, I., Obersteiner, M., Janssens, I. A., Ciais, P., & Sardans, J. (2020). Increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations correlate with declining nutritional status of European forests. *Communications Biology*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-0839-y>
- Penuelas, J., Fernández-Martínez, M., Vallicrosa, H., Maspons, J., Zuccarini, P., Carnicer, J., Sanders, T. G. M., Krüger, I., Obersteiner, M., Janssens, I. A., Ciais, P., & Sardans, J. (2020). Increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations correlate with declining nutritional status of European forests. *Communications Biology*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-0839-y>
- Pennisi, B. V., & Thomas, P. A. (2015). Essential pH Management in Greenhouse Crops pH and Plant Nutrition. Extension

### Floriculture Specialists.

- Purakayastha, T. J., Bhaduri, D., Kumar, D., Yadav, R., & Trivedi, A. (2023). *Soil and Plant Nutrition BT - Trajectory of 75 years of Indian Agriculture after Independence* (P. K. Ghosh, A. Das, R. Saxena, K. Banerjee, G. Kar, & D. Vijay (eds.); pp. 365–411). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-7997-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-19-7997-2_15)
- Rossel, R. V., Adamchuk, V. I., Sudduth, K. A., McKenzie, N. J., & Lobsey, C. (2011). Proximal soil sensing: An effective approach for soil measurements in space and time. *Advances in Agronomy*, 113, 243–291.
- Stanford, G. (1947). Potassium fixation in soils as affected by type of clay mineral, moisture conditions, and concentration of other ions.
- Shober, A. L. Gartley, K. L., & Thomas, J. S. (2019). Measurement and management of soil pH for crop production in Delaware. <https://www.udel.edu/academics/colleges/canr/cooperative-extension/factsheets/measurement-management-pH/> [accessed date 06-02-2021].
- Stevenson, F. J. & Cole, M. A. *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*, 2nd ed. New York, NY: Wiley, 1999.
- Siregar, E. A. 2021. Dinamika Unsur Hara Nitrogen Pada Tanah Andisol dan Ultisol. Skripsi S1 Jurusan tanah, Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Singh, Balwant (Department of Environmental Sciences, The University of Sydney) & Darrell G. Schulze, Ph.D. (Department of Agronomy, Purdue University) © 2015 Nature Education
- Tatjana, Ž., Verbić., Zsanett, Dorkó., George, Horvai. (2013). Selectivity in analytical chemistry. *Revue Roumaine De Chimie*, 58:569-575.
- Turan, M. A., Taban, S., Katkat, A. V., & Kucukyumuk, Z. (2013). The evaluation of the elemental sulfur and gypsum effect on soil pH, EC, SO. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11(1), 572–575.
- Umesh, C., Gupta., Prakash, Chandra, Srivastava., Subhas, Gupta.

- (2011). Role of Micronutrients: Boron and Molybdenum in Crops and in Human Health and Nutrition. *Current Nutrition & Food Science*, 7(2):126-136. doi: 10.2174/157340111795713807
- USDA Natural Resources Conservation Service. (1998). Soil Quality Indicators: pH. Accessed date [09-12-2020]. [https://web.extension.illinois.edu/soil/sq\\_info/ph.pdf](https://web.extension.illinois.edu/soil/sq_info/ph.pdf)
- Varró. T, J, Gelencsér., G, Somogyi. (1987). Study of transport processes in soils and plants by microautoradiographic and radioabsorption methods.. 22(1):31-43.
- Wolfgang, Wanek. (2023). Fundamental drivers of nutrient diffusion in soils - a comprehensive data synthesis based on microdialysis studies. doi: 10.5194/egusphere-egu23-4330

## PROFIL PENULIS



**Dr. Ir. Jamilah, MP**  
**Dosen Fakultas Pertanian**  
**Universitas Tamansiswa Padang**

Penulis dilahirkan di Medan tanggal 26 Februari 1965. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Magister Agrotologi Fakultas Pertanian Universitas Tamansiswa Padang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Tanah Fakultas pertanian Universitas Sumatera Utara tahun 1989, pendidikan S2 pada Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas tahun 1996 dan, S3 pada Program Studi Ilmu-Ilmu Pertanian Konsentrasi Ilmu Tanah pada Universitas Andalas padang tahun 2006.

Penulis memiliki link Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=2kSa5T0AAAAJ&hl=id>; Orcid Number: <https://orcid.org/0000-0002-2153-9596>; ID Scopus: 57200209563, email: [jamilah@unitas-pdg.ac.id](mailto:jamilah@unitas-pdg.ac.id). Penulis telah banyak melakukan penelitian yang mendapat dana hibah dari Kemristek Dikti sejak tahun 2004 penelitian dasar; 2014 Hibah Bersaing; 2015-2017 penelitian strategis nasional; 2022 Hibah Pasca dan tahun 2023 hibah luaran Prototipe, sehubungan dengan produksi pupuk organik cair yang berasal dari bahan baku *Chromolaena odorata*, dan dalam pengajuan Paten sederhana untuk formula pupuk dan merek pupuk cair. Buku yang sudah dihasilkan edisi pertama pada tahun 2017 dengan judul "Peluang budidaya tanaman padi sebagai penyedia beras dan pakan

# TEKNOLOGI PRODUKSI TANAMAN PANGAN

Buku ajar Teknologi Produksi Tanaman Pangan merupakan sumber komprehensif yang dirancang untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai teknik dan inovasi terbaru dalam produksi tanaman pangan. Buku ini menguraikan berbagai aspek penting, mulai dari pengelolaan tanah yang berkelanjutan, sistem irigasi efisien, hingga teknologi pasca-panen. Pembaca akan diperkenalkan pada praktik terbaik dalam pengelolaan tanah, rotasi tanaman, dan polikultur, serta mempelajari bagaimana teknologi informasi dan bioteknologi dapat meningkatkan hasil dan ketahanan tanaman. Dengan pendekatan yang sistematis dan berbasis pada penelitian terbaru, buku ini bertujuan untuk melengkapi pembaca dengan pengetahuan praktis yang diperlukan untuk menghadapi tantangan pertanian modern.

Dalam buku ini, setiap bab disusun untuk memberikan penjelasan yang jelas dan aplikatif, dilengkapi dengan studi kasus dan contoh nyata dari praktik lapangan. Fokus pada keberlanjutan dan efisiensi produksi memberikan pembaca wawasan yang relevan dalam mengimplementasikan teknologi yang ramah lingkungan dan mendukung ketahanan pangan global. Diharapkan, buku ini tidak hanya menjadi referensi penting bagi mahasiswa dan praktisi pertanian, tetapi juga memotivasi inovasi dan perbaikan berkelanjutan dalam sektor pertanian.



**Penerbit**  
**Tri Edukasi Ilmiah**

edukasilmiah@gmail.com

Jalan Raya Pakan Kamis, Gadut,  
Tilatang Kamang, Kab. Agam, Sumatera Barat

ISBN 978-623-10-2614-9



Anggota IKAPI  
No. 049/SBA/2024