



# **AGROEKOLOGI**

## **Lingkungan Tumbuh Tanaman**

Edyson Indawan

Edyson Indawan

**AGROEKOLOGI**  
**Lingkungan Tumbuh Tanaman**



Penerbit Forind

# **AGROEKOLOGI**

## **Lingkungan Tumbuh Tanaman**

Copyright©:  
Edyson Indawan

ISBN: 978-623-89237-7-9

Cover & Layout: Tim Forind

Diterbitkan oleh Forind  
Jl. Raya Tlogomas 05 No. 24 Tlogomas  
Malang Jawa Timur

AGROEKOLOGI; Lingkungan Tumbuh Tanaman  
Malang: Forind, 2026  
15,5 x 23 cm  
x + 172 hlm

Cetakan Pertama: Maret 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak buku ini sebagian atau seluruhnya, dalam bentuk dan dengan cara apa pun juga, baik secara mekanis maupun elektronik, termasuk fotokopi, rekaman, dan lain-lain tanpa izin tertulis dari penerbit.

## PRAKATA PENULIS

Seraya mengucapkan Syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karuniaNya, serta dukungan doa dan semangat yang diberikan dari istri: Ir. Ida Mutia Farida, MP. dan anak: Ferziana Nurmeilinda Dzikrika, SP., MP. sehingga Buku ajar: “AGROEKOLOGI; Lingkungan Tumbuh Tanaman” dapat diselesaikan dengan baik.

Maksud dan tujuan penulisan buku ini dalam rangka peningkatan pengajaran dan disumbangkan untuk kepentingan umum terkait ilmu pengetahuan bagi pembaca yang beraktivitas di bidang pertanian. Konsep dan pijakan dari berbagai bidang, mengacu keselarasan dan keterpaduan ilmu Agronomi dan ilmu Ekologi, mencakup faktor abiotik dan biotik yang mempengaruhi perkembangan tanaman. Faktor-faktor tersebut bekerja sama dan saling terkait, sehingga lingkungan yang ideal sangat penting untuk pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimal.

Dalam buku dibahas mengenai hal-hal yang berkenaan dengan: Makna Lingkungan, Ekosistem dan Energi, Iklim dan Lahan, Kepadatan Tanah, Kesuburan Tanah, Siklus dan Adaptasi, Bahan tanam, Populasi dan Interaksi, Respons Hara, Pola Tanam, dan *Biofertilizer*. Menggabungkan pengetahuan tradisional dan pengetahuan ilmiah modern untuk mengembangkan praktik pertanian yang lebih baik. Menawarkan solusi dari berbagai masalah seperti degradasi lahan, hilangnya keanekaragaman hayati, dan ketergantungan *input* eksternal. Hubungan ini menciptakan sistem pertanian yang lebih produktif, berkelanjutan, dan berkeadilan, berkontribusi pada pembangunan yang lebih baik.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangatlah penulis harapkan untuk perbaikan di masa-masa yang akan datang.

Malang, Maret 2026  
Penulis

## KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas kesempatan yang diberikan, dan merupakan suatu kehormatan bagi kami untuk menyampaikan sambutan pada buku ajar, “AGROEKOLOGI: Lingkungan Tumbuh Tanaman” yang merupakan upaya penulis untuk mempublikasikan buku ajar terutama bagi mahasiswa strata satu.

Secara akademis buku ini hadir sebagai jawaban atas kebutuhan mendesak dalam bidang Ilmu Tanaman terkhusus Lingkungan Tumbuh. Kami selaku Guru Besar Ekologi Tanaman pada bidang Ilmu Pertanian Universitas Brawijaya Malang, menyampaikan apresiasi atas kerja keras penulis yang telah menghasilkan karya berharga ini, sekaligus perasaan bangga pada penulis yang merupakan alumni Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi penting bagi para pembaca dan menjadi bukti kemampuan penulis sebagai dosen Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tungga Dewi Malang dalam menuangkan pikirannya secara baik. Kami optimis buku ini akan memperkaya khasanah literatur bagi dunia pertanian di Indonesia, dan Insya Allah akan bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Maret 2026

Prof. Dr. Ir. Bambang Guritno

## DAFTAR ISI

<b>PRAKATA PENULIS .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA SAMBUTAN .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Makna Lingkungan .....	1
B. Hubungan Ilmu Agroekologi .....	3
C. Kaitan Produksi .....	4
<b>BAB 2. EKOSISTEM DAN ENERGI .....</b>	<b>9</b>
A. Fungsi Ekosistem.....	9
B. Tabiat Energi.....	12
C. Bentuk Energi .....	14
<b>BAB 3. IKLIM DAN LAHAN .....</b>	<b>21</b>
A. Faktor Iklim .....	21
B. Klasifikasi Iklim .....	24
C. Kemampuan dan Kesesuaian Lahan .....	26
<b>BAB 4. KEPADATAN TANAH.....</b>	<b>36</b>
A. Partikel Tanah.....	36
B. pH Tanah, Al-dd dan Kejenuhan Al.....	42
C. Kejenuhan Basa .....	43
<b>BAB 5. KESUBURAN TANAH.....</b>	<b>51</b>
A. Kesehatan Tanah.....	51
B. Pengaruh Erosi .....	53
C. Teknik Budidaya .....	59

<b>BAB 6. SIKLUS DAN ADAPTASI .....</b>	<b>67</b>
A. Siklus Pertukaran.....	67
B. Adaptasi Tanaman.....	73
C. Penggolongan Tanaman.....	75
<b>BAB 7. BAHAN TANAM .....</b>	<b>78</b>
A. Asal Bahan .....	78
B. Perbanyak Vegetatif ( <i>Asexual</i> ).....	79
C. Pemuliaan Tanaman .....	83
<b>BAB 8. POPULASI DAN INTERAKSI .....</b>	<b>91</b>
A. Ciri Biologi dan Sifat .....	91
B. Lingkungan Biotik.....	92
C. Lingkungan Abiotik .....	96
<b>BAB 9. RESPON HARA .....</b>	<b>103</b>
A. Hukum Leibig.....	103
B. Serapan Unsur Hara .....	105
C. Penggunaan Pupuk .....	112
<b>BAB 10. POLA TANAM.....</b>	<b>131</b>
A. Jenis Model Tanam .....	131
B. Ragam Pola Tanam.....	135
C. Tujuan Pola Tanam .....	138
<b>BAB 11. BIOFERTILIZER .....</b>	<b>149</b>
A. Pemanfaatan Biofertilzer.....	149
B. Bakteri Pelarut Fosfat .....	154
C. Mikoriza .....	156
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>163</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>165</b>
<b>INDEKS.....</b>	<b>169</b>
<b>PROFIL PENULIS .....</b>	<b>172</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Pekiraan Kebutuhan Air Tanaman Musiman.....	35
Tabel 2. Jenis klasifikasi tanah: USDA, FAO/UNESCO, PPT Bogor .....	40
Tabel 3. Persyaratan Teknis Minimal (PTM) Pupuk An-organik .....	114
Tabel 4. Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik.....	119
Tabel 5. Kriteria Penilaian Hasil Analisa Tanah .....	124
Tabel 6. Perhitungan Kebutuhan Pupuk dan Kapur.....	126

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Klasifikasi Tanah USDA.....	38
Gambar 2. Sistem Pertanian “Rounders” .....	66
Gambar 3. Tipe Perkecambahan .....	79
Gambar 4. Hukum Minimum Leibig .....	103
Gambar 5. Kurva Hasil Tanaman Secara Umum .....	104
Gambar 6. Pergerakan Aliran Massa .....	107
Gambar 7. Kurva Daya Jelajah Ion.....	108
Gambar 8. Pertukaran Kontak Akar .....	108
Gambar 9. Kaitan Pola Tanam .....	132
Gambar 10. Hubungan Alternatif Pola Tanam.....	137

Edyson Indawan

**AGROEKOLOGI**  
Lingkungan Tumbuh Tanaman

# PENDAHULUAN

## A. Makna Lingkungan

Suatu kegiatan pengelolaan tanaman dan lingkungan dimaknai untuk memperoleh hasil sesuai tujuan yang diinginkan dan lestari terhadap alam lingkungan. Konsep dan pijakan berdasarkan berbagai bidang, mengacu pada keselarasan dan keterpaduan dari ilmu Agronomi dan ilmu Ekologi. Lingkungan tumbuh tanaman mencakup berbagai faktor abiotik dan biotik yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangannya. Faktor-faktor tersebut bekerja sama dan saling terkait, sehingga lingkungan yang ideal sangat penting untuk pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimal.

Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah sebagai berikut: Cahaya untuk fotosintesis dalam proses pembuatan makanan. Intensitas, kualitas, dan durasi penyinaran sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Suhu ideal bervariasi antar jenis tanaman, umumnya suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat pertumbuhan. Air sangat penting untuk berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk fotosintesis, penyerapan nutrisi, dan transportasi zat-zat dalam tanaman. Kelembaban udara dan tanah mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman dan juga berperan dalam pembentukan sel. Tanah mengandung berbagai macam unsur hara, baik hara makro maupun hara mikro yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan. Nutrisi ini diserap oleh akar tanaman bersama dengan air, tanah sendiri berfungsi sebagai penyimpan air yang dibutuhkan oleh tanaman. Air yang diserap oleh akar tanaman membawa nutrisi yang terlarut di dalamnya ke seluruh bagian tanaman. Tanah menyediakan ruang bagi akar tanaman untuk tumbuh dan berkembang, serta berfungsi sebagai penopang agar

tanaman dapat berdiri tegak dan membantu dalam penyerapan air dan nutrisi.

Jenis tanah, pH tanah dan ketersediaan unsur hara dalam tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Udara menyediakan CO<sub>2</sub> untuk fotosintesis dan O<sub>2</sub> untuk respirasi. Komposisi udara mempengaruhi pertumbuhan tanaman ditunjang dengan nutrisi, yang meliputi unsur makro dan unsur mikro yang ketersediaannya cukup dan seimbang sangat penting untuk pertumbuhan optimal.

Faktor biotik Hama, Penyakit dan Gulma dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Lingkungan memiliki kecenderungan tertentu, artinya lingkungan yang sesuai memungkinkan pertumbuhan tanaman yang optimal dan lingkungan yang tidak sesuai dapat menyebabkan berbagai masalah pada tanaman, seperti: pertumbuhan yang terhambat, daun menguning, buah tidak optimal, bahkan dapat menyebabkan kematian. Lingkungan sangat berperan penting terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimal, karena fungsi dari fisiologis tanaman yang dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan tersebut.

Dalam buku ajar Agroekologi: "*Lingkungan Tumbuh Tanaman*" ini, dibahas berbagai hal mengenai dan berkenaan dengan: Makna Lingkungan, Ekosistem dan Energi, Iklim dan Lahan, Kepadatan Tanah, Kesuburan Tanah, Siklus dan Adaptasi, Bahan Tanam, Populasi dan Interaksi, Respons Hara, Pola Tanam, dan Biofertilizer. Maksud yang terkandung di dalamnya untuk mempelajari manajemen pengelolaan lingkungan tumbuh tanaman yang saling berhubungan secara timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungan.

Adapun tujuan dari pada kaji tindak ini, secara umum ada dua macam, yaitu: Maksimisasi *Output*, (Memperoleh hasil panen setinggi-tingginya) dan Minimisasi *Input* (Menekan Saprodi serendah-rendahnya agar lingkungan hidup tetap terjaga). Produksi tanaman jelas diarahkan dengan paket teknologi yang tergantung pada:

Varietas, kondisi tanah, iklim, dan macam produk yang akan dihasilkan atau dipasarkan.

## **B. Hubungan Ilmu Agroekologi**

Agroekologi adalah ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme dan lingkungan dalam sistem pertanian, untuk menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Hubungan ini melibatkan interaksi antara faktor biotik dan abiotik di bidang pertanian, serta mempertimbangkan aspek sosial, ekonomi dan budaya masyarakat. Nilai penting mengenai hubungan dalam interaksi antara komponen ekosistem yang mempelajari berbagai komponen ekosistem pertanian seperti: tanaman, hewan, mikroorganisme, tanah, air, dan iklim yang saling berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lainnya. Penerapan prinsip-prinsip Ekologi dalam keanekaragaman hayati, siklus nutrisi, dan hubungan simbiosis, merancang dan mengelola sistem pertanian yang lebih berkelanjutan. Menciptakan sistem pertanian yang berkesinambungan, yang mampu memenuhi kebutuhan pangan saat ini tanpa mengorbankan generasi mendatang. Agroekologi mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam perencanaan dan pengelolaan sistem pertanian, serta menekankan pentingnya membangun hubungan yang harmonis antara pertanian dan masyarakat. Menggabungkan pengetahuan tradisional dengan pengetahuan ilmiah modern untuk mengembangkan praktik pertanian yang lebih baik dan sesuai dengan kondisi lokal. Menawarkan solusi berbagai masalah yang dihadapi dalam sistem pangan saat ini dan masa yang akan datang, seperti: degradasi lahan, hilangnya keanekaragaman hayati, dan ketergantungan pada *input* eksternal. Hubungan-hubungan ini membantu menciptakan sistem pertanian yang lebih produktif, berkelanjutan, dan berkeadilan, serta berkontribusi pada pembangunan pedesaan yang lebih baik.

Keterkaitannya dengan Ilmu Fisika karena di dalamnya terdapat faktor fisik seperti: Sinar matahari, perubahan suhu, daya serap

tanah, hujan. Ilmu Kimia karena di dalamnya terjadi proses kimia seperti sintesis dan analisis. Ilmu Bumi dan Antariksa, berhubungan dengan berbagai proses yang dipengaruhi peristiwa-peristiwa siang dan malam, musim kemarau, hujan, panas, gugur, salju, semi, gravitasi, endapan aluvial, vulkanik, erosi, abrasi, sedimentasi, marin, dan lain-lain.

Penggunaan bahan-bahan kimia dalam waktu yang lama, telah membuat masalah terhadap alam lingkungan. Sejak saat itu muncul gerakan pertanian dengan sistem organik dan mulai dirasa penting untuk dikembangkan dan diterapkan. Sistem pertanian kimiawi dengan proses produksi bertujuan untuk mendapatkan hasil yang setinggi-tingginya, sedangkan pada sistem pertanian organik bertujuan mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia dengan maksud agar kelestarian produksi dapat terjaga dalam waktu panjang. Kegiatannya meliputi berbagai aspek diantaranya: Aspek Pemuliaan tanaman, Fisiologi tanaman, Ekologi tanaman. Ruang lingkupnya diarahkan pada Pengembangan tanaman, Teknologi benih, Pengolahan tanah, Teknik budidaya, Pengendalian Hama, Penyakit dan Gulma, Panen dan Penyimpanan. Tegasnya kegiatan tersebut berada dalam konteks terpadu untuk menjadikan alam lingkungan yang lestari.

### **C. Kaitan Produksi**

Produksi tanaman merujuk pada kegiatan menanam dan memanen untuk menghasilkan produk pertanian seperti: *Oriza sativa* L., *Zea mays* L., *tuber*, *granum*, *fructus*, *vegetabile* yang ditujukan untuk dikonsumsi manusia dan hewan. Produksi dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal yang saling berkaitan. Faktor internal: Kualitas tanah, termasuk sifat Fisik Tanah (tekstur, struktur), Kimia Tanah (pH, unsur hara), dan Biologi Tanah (mikroorganisme) sangat mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman. Pertimbangan jenis tanaman, varietas, umur tanaman, dan kondisi fisiologis tanaman turut menentukan produktivitas. Sarana produksi: Benih,

pupuk, pestisida, zat pengatur tumbuh, dan alat pertanian merupakan faktor yang mempengaruhi hasil. Faktor eksternal: Suhu, curah hujan, kelembaban, dan radiasi matahari sangat berpengaruh pada pertumbuhan dan hasil tanaman. Pemilihan varietas, teknik budidaya, pengendalian hama, penyakit dan gulma, pemanenan yang tepat akan meningkatkan hasil dan kualitas didukung sarana produksi, harga jual hasil panen, dan ketersediaan modal. Memahami kaitan antara faktor-faktor ini sangat penting untuk meningkatkan produksi tanaman secara berkelanjutan dan berkontribusi pada ketahanan pangan, pendapatan petani, kesejahteraan masyarakat, dan kelestarian lingkungan.

Tanah yang subur dengan kondisi fisik, kimia, dan biologi yang baik mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal dan menghasilkan hasil panen yang tinggi. Ciri-ciri tanah subur mengandung unsur hara makro dan unsur hara mikro yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh sehat dan menghasilkan panen yang baik. Memiliki struktur yang gembur, remah, dan porous sehingga akar tanaman dapat tumbuh dengan mudah, menyerap air dan nutrisi dengan efisien, serta memiliki sirkulasi udara yang baik. Mampu menyerap dan menyimpan air dengan baik, sehingga tanaman tidak mudah mengalami kekeringan. Memiliki pH yang netral (6,5-7,5), yang memungkinkan tanaman menyerap nutrisi secara optimal. Kandungan bahan organik berupa humus, membantu meningkatkan kesuburan tanah dengan menyediakan nutrisi, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan kemampuan menahan air. Keberadaan berbagai jenis tanaman yang tumbuh subur di suatu lahan merupakan indikasi bahwa tanah tersebut adalah subur. Dihuni oleh berbagai mikroorganisme seperti: cacing tanah, bakteri, dan jamur yang berperan penting dalam proses dekomposisi bahan organik dan siklus nutrisi.

Penggunaan teknologi budidaya yang tepat dengan penggunaan varietas unggul, teknik pemupukan yang efisien, dan pengendalian hama, penyakit, gulma yang efektif akan meningkatkan

produktivitas. Produksi tanaman yang tinggi dapat meningkatkan pendapatan dan memberikan kontribusi pada ketahanan pangan.

$$Y = F(E, G, C)$$

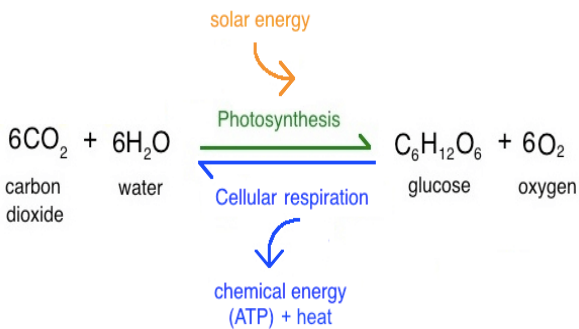
**Keterangan:**

E : Lingkungan, tanah, iklim, dan pengelolaan.

G : Genotif, varietas atau jenis tanaman.

C : Teknik budidaya, alat-alat.

Berdasarkan teori lingkungan dan teori sistem, maka sistem produksi tanaman adalah sistem kegiatan dalam mencapai hasil secara optimal dan berkesinambungan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor kegiatan atau bagian kegiatan yang saling terkait. Ditinjau dari segi industri, maka produksi tanaman pada hakekatnya merupakan proses industri, dimana melibatkan sistem tanaman dan sistem lingkungan secara kompleks, untuk mengubah energi matahari menjadi produksi tanaman. Produksi tanaman ini merupakan industri primer yang menjadi dasar daripada banyak industri lainnya.



Sistem budidaya tanaman, dimana bagian kegiatannya meliputi: Pemanfaatan tanah, Iklim, Varietas, Alat-alat, Modal, Tenaga kerja, Petani, Pemasaran dan sebagainya, semua saling berpengaruh. Dalam kegiatan tersebut terdapat suatu sistem yang menganut kaidah-kaidah teori sistem dan teori lingkungan, perlu ditambahkan

pada aktivitas pertanian khususnya di Indonesia yaitu: *Farm* adalah titik penentu utama dalam pengembangan. Sistem pertanian yang efektif adalah sistem pertanian yang mampu mengubah masukan, menjadi keluaran yang sebesar-besarnya secara lestari.

1. Di dalam memberikan masukan baru, dalam usaha budidaya tanaman selalu perlu diperhitungkan keterkaitan faktor-faktor yang bekerja di dalamnya yang saling berkaitan.
2. Setiap *Farm* tidak diorganisir persis sama satu dengan yang lain, tetapi pertanian yang diusahakan pada keadaan relatif sama, dalam hal lingkungan alam, ekonomi dan kelembagaan sosial, mempunyai kecenderungan untuk mempunyai struktur yang sama.
3. Sistem produksi tanaman yang tangguh pada hakekatnya adalah sistem produksi tanaman yang mempunyai produktivitas tinggi, baik kuantitas maupun kualitas, efisien serta dapat melestarikan diri.

Agroekologi pada hakekatnya mengacu pada penerapan prinsip-prinsip ekologi dalam pengelolaan pertanian untuk menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Pendekatan ini mempertimbangkan interaksi antara tanaman, hewan, manusia, dan lingkungan dalam sistem pertanian, dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas, kesehatan, dan keberlanjutan lingkungan.

Aspek penting Agroekologi: “*Lingkungan Tumbuh Tanaman*”, meliputi: Konservasi sumber daya alam: Mendorong praktik-praktik yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti penggunaan pupuk dan pestisida kimia, serta penggunaan air yang efisien. Diversifikasi tanaman dan hewan: Memanfaatkan keanekaragaman hayati dengan menanam berbagai jenis tanaman dan memelihara hewan, yang dapat meningkatkan kesuburan tanah, penyerbukan, dan pengendalian hama alami. Menjaga kesehatan tanah melalui praktik-praktik seperti: pengurangan pengolahan

tanah, penggunaan pupuk organik, dan pengelolaan limbah organik. Melibatkan masyarakat dalam memahami pentingnya menjaga kelestarian lingkungan dan bagaimana pertanian dapat berkontribusi pada kesejahteraan manusia dan lingkungan.

Tujuan utama adalah: Menjamin ketersediaan pangan dengan meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan sistem pertanian untuk memastikan ketersediaan pangan dan berkelanjutan. Mengurangi ketergantungan pada *input* eksternal, meningkatkan pendapatan, dan menciptakan sistem pertanian yang lebih stabil dan berkelanjutan. Meminimalkan dampak negatif pertanian terhadap lingkungan: polusi tanah dan air serta kerusakan ekosistem. Langkah bijaksana seperti: Pengelolaan limbah pertanian, Pengendalian penggunaan pestisida dan pupuk, Konservasi tanah dan air, Kesadaran dan pendidikan serta Pengelolaan limbah industri. Praktik baik pertanian berkelanjutan: Rotasi tanaman untuk menjaga kesuburan tanah dan keanekaan hayati, Pengendalian hama, penyakit dan gulma ramah lingkungan menghindari pestisida dan herbisida kimia, Pertanian organik untuk menyuburkan tanah dan Pengelolaan air mencegah pencucian dan polutan ke badan air.

## EKOSISTEM DAN ENERGI

### A. Fungsi Ekosistem

Fungsi ekosistem sangat penting untuk menjaga keseimbangan alam dan mendukung kehidupan di Bumi. Ekosistem berfungsi sebagai tempat terjadinya siklus kehidupan, mengatur iklim, menyediakan sumber daya alam, serta menjaga komponen biotik dan abiotik di dalamnya. Fungsi utama ekosistem adalah menjadi wadah bagi berbagai proses kehidupan, seperti: pertumbuhan, reproduksi dan interaksi antar organisme. Berperan penting dalam menyerap CO<sub>2</sub> dan menghasilkan O<sub>2</sub>, yang berpengaruh pada keseimbangan iklim. Menyediakan berbagai sumber daya alam yang dibutuhkan manusia seperti: air, makanan, bahan bakar, dan bahan bangunan. Interaksi antara komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem menciptakan keseimbangan yang stabil. Mendukung berbagai jenis tumbuhan dan hewan, menjaga keberagaman hayati dan mencegah kepunahan. Memungkinkan terjadinya aliran energi melalui rantai makanan dan siklus nutrisi yang penting untuk kelangsungan hidup daripada organisme. Mencegah terjadinya erosi tanah dan mengurangi dampak risiko banjir. Menyediakan berbagai layanan penting bagi manusia, seperti: penyerapan polusi, pemurnian air, pengendalian hama penyakit dan gulma.

Keseimbangan ekologis, atau disebut keseimbangan ekosistem, terjadi ketika semua faktor hidup dan tak hidup dalam suatu wilayah geografis berinteraksi secara harmonis. Ini berarti bahwa populasi makhluk hidup, sumber daya alam, dan kondisi lingkungan saling terkait dan tidak ada satupun yang mendominasi atau merugikan yang lain. Terkait keseimbangan ekologis, menekankan pada hubungan timbal balik antara berbagai komponen dalam ekosistem. Hubungan antara predator dan mangsa, tumbuhan dan hewan,

serta antara organisme dengan lingkungannya menciptakan stabilitas dalam ekosistem. Perubahan yang terjadi pada satu komponen akan berdampak pada komponen lain, namun secara keseluruhan, ekosistem mampu menyerap perubahan tersebut dan kembali ke kondisi keseimbangan sangat bergantung pada keanekaragaman hayati. Setiap spesies memiliki peran unik dalam ekosistem, dan hilangnya satu spesies dapat mengganggu keseimbangan yang rapuh. Dampak aktivitas manusia dapat terganggu oleh aktivitas manusia seperti deforestasi, polusi, perubahan iklim, dan perburuan berlebihan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keseimbangan ekosistem tanaman: Keanekaragaman Hayati: keberagaman jenis tanaman dan hewan dalam suatu ekosistem membantu menjaga stabilitas. Interaksi Antar Komponen: rantai makanan, siklus nutrisi, dan hubungan simbiosis antara berbagai organisme adalah contoh interaksi yang penting untuk menjaga keseimbangan. Kualitas Lingkungan: faktor abiotik seperti ketersediaan air, nutrisi tanah, dan iklim yang sesuai mendukung pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Aktivitas Manusia: praktik pertanian yang tidak berkelanjutan, deforestasi, dan polusi dapat mengganggu keseimbangan ekosistem tanaman. Pentingnya keseimbangan ekosistem tanaman yang mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan produktif, untuk ketahanan pangan. Tumbuhan berperan dalam menjaga kualitas udara, air, dan tanah, serta mencegah erosi. Keseimbangan ekosistem membantu mencegah serangan hama, penyakit dan gulma pada tanaman, mengurangi ketergantungan pada pestisida dan pupuk kimia. Ekosistem yang sehat menyediakan sumber makanan, udara bersih dan air bersih yang penting untuk kesehatan manusia. Interaksi kompleks antara berbagai jenis tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme dalam siklus nutrisi dan rantai makanan. Mengelola air, tanah dan sumber daya alam lainnya secara bijaksana dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang keseimbangan ekosistem tanaman.

Memahami fungsi-fungsi ekosistem untuk mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan dan menjaga kelestarian lingkungan. Ekosistem jika ditinjau dari fungsinya terdiri dari dua komponen besar yaitu:

### **Komponen Autotropik**

Komponen *autotropik*: Tumbuhan hijau adalah organisme utama, memiliki *clorofil*, pigmen hijau yang memungkinkan menyerap energi matahari untuk fotosintesis. Alga termasuk *fitoplankton*, merupakan organisme *autotropik* yang melakukan fotosintesis dan berperan penting dalam ekosistem perairan. Beberapa jenis bakteri *Pseudomonas aeruginosa* Migula., yang menghasilkan makanan melalui kemosintesis, menggunakan energi dari reaksi kimia anorganik.

Organisme *autotropik* berperan penting dalam ekosistem sebagai produsen, menyediakan makanan dan energi bagi organisme lain dalam rantai makanan. Organisme yang mampu menyediakan makanan sendiri berupa bahan-bahan organik dari bahan-bahan anorganik dengan bantuan energi sinar matahari dan *clorofil*, oleh karena itu organisme yang mengandung zat hijau daun umumnya organisme *autotropik*.

### **Komponen Heterotropik**

Komponen *heterotropik* adalah organisme yang tidak dapat membuat makanannya sendiri dan bergantung pada organisme lain, baik tumbuhan maupun hewan untuk mendapatkan energi dan nutrisi. Disebut sebagai konsumen dalam suatu ekosistem karena mengkonsumsi organisme lain. Untuk bertahan hidup perlu mengkonsumsi bahan organik yang sudah ada, baik itu tumbuhan (*Herbivora*), hewan (*Carnivora*), atau keduanya *Omnivora*).

Ekosistem jika ditinjau dari segi penyusunnya terbagi menjadi empat golongan besar yaitu:

1. Bahan tak hidup/abiotik/non hayati: Komponen fisik dan kimia yang terdiri atas tanah, air, udara, sinar matahari, dan sebagainya yang merupakan medium atau substrat untuk kelangsungan hidupnya.
2. Produsen: Organisme *Autotropik* yang pada umumnya tumbuhan berklorofil, yang mensintesa makanan dari bahan anorganik yang sederhana.
3. Konsumen: Organisme *Heterotropik* yang memanfaatkan hanya bahan-bahan organik sebagai bahan makanannya dan bahan tersebut disintesis dan disediakan oleh organisme lain.
4. Pengurai/Perombak (*Decomposer*) yaitu: Organisme *Heterotropik* yang menguraikan bahan organik yang berasal dari organisme mati (Bahan organisme kompleks), menyerap sebagian hasil penguraian tersebut dan melepaskan bahan yang sederhana yang dapat dipakai oleh produsen.

Ekosistem merupakan satuan fungsional dasar dalam ekologi, bahwa di dalamnya tercakup organisme dan lingkungan abiotik yang satu terhadap yang lainnya saling mempengaruhi dan saling terkait. Ekosistem merupakan benda dan mempunyai ukuran yang beranekaragam, bergantung kepada tingkat organisasinya.

## **B. Tabiat Energi**

Energi adalah suatu kemampuan untuk melakukan suatu kerja. Hidup dan kehidupan dari suatu makhluk hidup dicirikan dengan adanya gerak, walaupun sangat lemah yang dapat berupa: Sintesa, Katalisa, Tumbuh, Berbiak, dan Berkembang. Masalah energi dan hukum Thermodinamika dijadikan sebagai asas pertama dalam Ilmu Lingkungan. Semua energi yang masuk pada sebuah organisme hidup, populasi ataupun ekosistem dapat dianggap sebagai energi yang tersimpan atau terlepas.

Energi memiliki sifat yang abstrak, sehingga hanya dapat dirasakan keberadaannya. Secara umum, sifat-sifat energi adalah

sebagai berikut: Diubah ke dalam bentuk lain atau disebut dengan transformasi energi. Ditransfer dari satu tempat ke tempat lainnya, yaitu energi panas. Dipindahkan melalui gaya, sehingga menyebabkan pergeseran. Bersifat kekal, artinya energi tidak dapat dimusnahkan, dan hanya dapat diubah dari energi satu ke energi lainnya.

Energi dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan pekerjaan, perilaku energi di alam bebas mengikuti hukum Termodinamika. Tabiat dari energi dapat dijelaskan dengan dua Hukum Termodinamika.

### **Hukum Termodinamika Pertama**

Mengatakan bahwa energi dapat diubah dari suatu bentuk energi menjadi bentuk yang lain, tetapi energi tidak pernah dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, dikenal dengan Hukum Kekekalan Energi. Dikenal dengan istilah: “*entalpi*”. Contohnya: Energi cahaya dapat diubah menjadi energi panas dan dapat berubah kembali menjadi energi potensial dalam bentuk makanan. Hukum Termodinamika pertama dapat dijelaskan dengan persamaan matematika sebagai berikut:

$$W = JH$$

**Dimana:**

W : Kerja Mekanik.

J : Unit Joule.

H : Panas.

Rumus tersebut menunjukkan ekivalensi dari berbagai bentuk energi yang berarti bahwa satu unit kerja (W) ekuivalen dengan unit kerja panas, artinya dengan memperhatikan rumus tersebut jelas bahwa energi dapat diubah-rubah.

## **Hukum Thermodinamika Kedua**

Mengatakan bahwa terjadinya perubahan bentuk energi, pasti terjadi degradasi energi dari bentuk yang terpusat menjadi bentuk yang terpecah atau perataan. Dikenal dengan istilah: “entropi”. Contoh: Benda panas pasti menyebarkan panas ke lingkungan yang lebih rendah suhunya.

Pengertian dari rantai pangan ternyata bahwa semakin pendek rantainya maka semakin banyak energi yang tersedia untuk membentuk suatu Biomassa (Bahan organik tumbuhan dan hewan). Biomassa adalah bahan organik yang diakumulasikan dalam tumbuhan dari energi yang diambil. Hal ini dapat dikemukakan dengan formula sebagai berikut:

$$B = A_t - R - P_n$$

### **Dimana :**

B : Biomassa.

$A_t$  : Total Asimilasi.

R : Respirasi.

$P_n$  : *Net Production* (Produksi bersih).

Kemampuan suatu ekosistem dalam memanfaatkan energi untuk menghasilkan suatu biomassa dalam suatu waktu tertentu disebut: Produktivitas. Ada dua kategori produktivitas yaitu: Produktivitas Primer Kotor adalah kecepatan total fotosintesa, mencakup pula bahan organik yang dipakai untuk respirasi selama pengukuran. Produktivitas Primer Bersih adalah kecepatan penyimpanan bahan organik dalam jaringan tumbuhan sebagai kelebihan bahan yang dipakai untuk respirasi oleh tumbuhan selama pengukuran.

## **C. Bentuk Energi**

Uraian tentang hukum Thermodinamika, jelaslah bahwa walaupun energi tidak pernah hilang dari alam semesta, tetapi akan terus

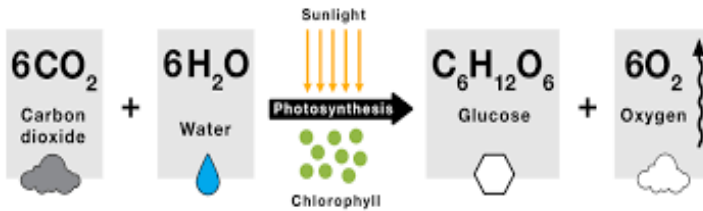
diubah kebentuk yang lain, ternyata bahwa energi yang masuk ke dalam tubuh makhluk hidup diubah menjadi bentuk Biomassa dan sebagian lagi dilepas ke alam bebas.

Kegunaan energi oleh tumbuhan dalam hal: Mengambil senyawa-senyawa anorganis, mensintesa bahan-bahan organis melalui fotosintesa, merombak bahan-bahan anorganis dengan proses respirasi dan transpirasi, proses tumbuh dan bergerak. Tumbuhan menggunakan energi matahari untuk mengubah  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi glukosa dan oksigen. Glukosa yang dihasilkan dari fotosintesis menjadi sumber energi bagi tumbuhan untuk tumbuh dan berkembang. Energi matahari membantu pembentukan *clorofil*, pigmen hijau yang penting untuk fotosintesis. Tumbuhan merespons perubahan intensitas cahaya matahari untuk mengatur siklus pertumbuhan, seperti pembentukan bunga dan buah, cenderung lebih tahan terhadap hama, penyakit dan gulma.

Perubahan energi radiasi matahari menjadi energi kimia oleh tumbuhan hijau dilakukan melalui proses fotosintesa. *Clorofil* dalam tumbuhan hijau bertindak sebagai “*absorben*” penangkap energi cahaya matahari dan sebagai zat yang dapat diubah dari energi cahaya menjadi energi kimia. Persamaan kimia dan “*biokatalisator*” dari fotosintesis merupakan gabungan peneliti. Joseph Priestley (1771) mengemukakan bahwa tumbuhan mengeluarkan  $\text{O}_2$  ke udara bebas, oleh ahli Inggris. Jan Ingenhous (1779) menyatakan bahwa pengeluaran udara tersebut ada kalau tumbuhan hijau kena sinar matahari, oleh ahli Belanda. P. J. Seneber (1782) bahwa tumbuhan dapat membersihkan udara bila di dalam udara tersebut terdapat gas yang disebut “*fixed air*”, oleh ahli Genewa. N. T. De Saussure (1804) mengutarakan bahwa air berperan dalam proses pembentukan bahan organis, oleh ahli Genewa. Robert Von Mayer (1845) mengutarakan bahwa energi cahaya menjadi energi kimia, oleh ahli Jerman. Julius Sachs (1846) menjelaskan bahwa sifat produk dari fotosintesa adalah bahan organik, oleh ahli Jerman.

Hasil dari rangkaian penelitian biokimia ternyata menunjukkan bahwa proses fotosintesa dapat ditulis dengan persamaan:

## Photosynthesis Equation

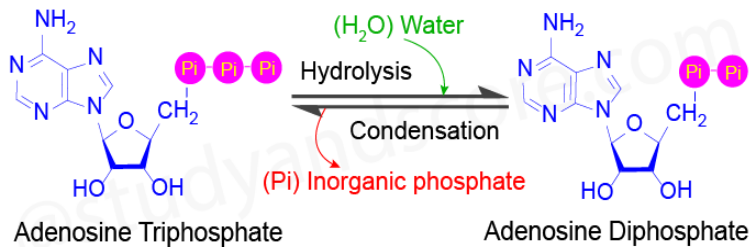


Dalam kenyataannya reaksi tersebut terdiri dari dua fase yaitu: Fase terang dan Fase gelap. Fase terang adalah proses fotolisa air yang dikenal dengan reaksi *Hill*. Meningkatnya fotolisa air akan menyebabkan penambahan senyawa-senyawa yang mendorong ke arah pencaharian *Hidrogen Aseptor Biologi (NADP)*, ATP dan ADP dibentuk melalui proses yang saling terkait dalam sel. ATP, atau adenosin trifosfat, adalah molekul yang menyimpan energi, sedangkan ADP, atau adenosin difosfat, adalah bentuk yang kurang berenergi dari ATP. ATP dibentuk dari ADP dan fosfat anorganik (Pi) melalui proses yang memerlukan energi, sementara ATP diubah kembali menjadi ADP ketika energi dilepaskan untuk digunakan oleh sel.

Proses Reaksi Terang:

1. Penangkapan Cahaya: *Clorofil* dan pigmen fotosintetik lainnya menyerap energi cahaya matahari.
2. Fotolisis Air: Molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dipecah menjadi elektron, ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ), dan oksigen ( $\text{O}_2$ ) dengan bantuan energi cahaya. Oksigen dilepaskan sebagai produk sampingan, sedangkan elektron digunakan untuk menggantikan elektron yang hilang dari klorofil.
3. Sistem Transport Elektron: Elektron yang tereksitasi bergerak melalui serangkaian protein (rantai transpor elektron) di membran tilakoid, melepaskan energi yang digunakan untuk membentuk ATP dari ADP melalui proses fotofosforilasi.

4. Pembentukan NADPH: Elektron berenergi tinggi juga digunakan untuk mereduksi  $\text{NADP}^+$  menjadi NADPH, yang merupakan molekul pereduksi kuat.
5. Hasil Reaksi Terang: ATP dan NADPH yang dihasilkan pada reaksi terang akan digunakan sebagai sumber energi dalam reaksi gelap untuk mengubah  $\text{CO}_2$  menjadi glukosa.



Pembentukan ATP dan ADP dengan penambahan  $P_{an}$  semula diduga berasal dari proses respirasi yang diperankan oleh: Mitokondria, akan tetapi ternyata ATP terbentuk berbarengan dengan proses cahaya, proses pembentukan ATP tersebut dinamakan “*fotofosforilasi*”. Fase gelap adalah fase reaksi kimia murni dan tidak memerlukan cahaya.

Proses Reaksi Gelap (Siklus Calvin):

1. Fiksasi Karbon: Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari atmosfer diikat oleh ribulosa bifosfat (RuBP), sebuah senyawa dengan 5 karbon, dengan bantuan enzim RuBisCO. Hasil pengikatan ini adalah molekul tidak stabil yang segera pecah menjadi dua molekul asam fosfoglisarat (PGA), yang masing-masing memiliki 3 karbon.
2. Reduksi: Molekul PGA direduksi menjadi gliseraldehida 3-fosfat (G3P) dengan bantuan ATP dan NADPH yang dihasilkan pada reaksi terang. G3P adalah molekul gula sederhana yang dapat digunakan oleh tumbuhan untuk membentuk berbagai senyawa organik, termasuk glukosa.

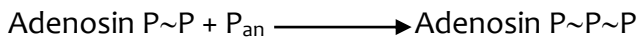
3. Regenerasi RuBP: Sebagian besar G3P yang dihasilkan digunakan untuk meregenerasi RuBP, sehingga siklus dapat terus berlanjut. Proses ini membutuhkan energi dari ATP.

Pada fase ini terjadi fiksasi CO<sub>2</sub> dan dengan penambahan ion H<sup>+</sup>, akan membentuk persenyawaan hidrokarbon yang bergabung dalam siklus karbon *Calvin* akhirnya membentuk Gula (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>). Perombakan Gula menjadi persenyawaan anorganik dilakukan dengan proses respirasi yang ada, pada prinsipnya adalah kebalikan dari pada proses fotosintesa.

Respirasi *aerob* dan *anaerob* adalah dua jenis proses metabolisme sel yang berbeda untuk menghasilkan energi. Respirasi *aerob* membutuhkan O<sub>2</sub>, sedangkan respirasi *anaerob* tidak. Respirasi *aerob* adalah proses pemecahan molekul organik seperti glukosa untuk menghasilkan energi dengan bantuan O<sub>2</sub>. Terjadi di dalam mitokondria sel. *Glikolisis*: Pemecahan glukosa menjadi asam piruvat di dalam sitoplasma. *Dekarboksilasi Oksidatif*: Asam piruvat diubah menjadi asetil-CoA di mitokondria. *Siklus Krebs*: Asetil-CoA masuk ke siklus Krebs, menghasilkan energi dalam bentuk ATP, NADH, dan FADH<sub>2</sub>. Sistem Transfer Elektron: Elektron dari NADH dan FADH<sub>2</sub> ditransfer melalui rantai transpor elektron untuk menghasilkan ATP dan air. Hasil: Energi, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Respirasi *anaerob* adalah proses pemecahan molekul organik untuk menghasilkan energi tanpa melibatkan oksigen. Tempat: Terjadi di sitoplasma sel. *Glikolisis*: Sama seperti respirasi *aerob*, glukosa dipecah menjadi asam piruvat. *Fermentasi*: Asam piruvat diubah menjadi produk lain, seperti asam laktat atau etanol, tergantung jenis fermentasinya. Hasil: Energi dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan respirasi *aerob*, serta produk sampingan seperti asam laktat atau etanol.

Reaksi kimia dari respirasi mempunyai tiga tahap:

1. Tahap perombakan Gula (C.6) menjadi Asam Piruvat (C.3) yang disebut: *Glikolisis* atau sampai terbentuk Alkohol.
2. Tahap perombakan Asam Piruvat menjadi CO<sub>2</sub> yang disebut: *Siklus Krebs* atau SAT.
3. Tahap transfer energi yang biasa yang disebut: *Fosforilasi Oksidatif* dengan reaksi:



Perombakan ATP menjadi ADP akan menghasilkan energi yang tinggi, dalam proses pembentukannya sangat besar diperankan oleh Mitocondria yang merupakan bagian terpenting dari suatu sel.

Berdasarkan mekanisme fotosintesisnya, tumbuhan dibagi menjadi tiga golongan: C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, dan CAM. Perbedaan utama terletak pada cara menangkap dan memproses CO<sub>2</sub> untuk fotosintesis.

1. Tanaman C<sub>3</sub> mengikat CO<sub>2</sub> langsung ke dalam siklus Calvin menggunakan enzim RuBisCO. Produk awal dari fiksasi CO<sub>2</sub> adalah senyawa berkarbon tiga, yaitu asam 3-fosfoglisarat (3-PGA). Umum ditemukan di daerah dengan suhu sedang dan ketersediaan air yang cukup. Kebanyakan tanaman pertanian, seperti: padi, gandum, dan kedelai, termasuk dalam golongan ini. Stomata (mulut daun) terbuka pada siang hari untuk memasukkan CO<sub>2</sub>.
2. Tanaman C<sub>4</sub> memiliki mekanisme adaptasi untuk mengatasi kondisi kering dan panas. Mengikat CO<sub>2</sub> ke dalam senyawa berkarbon empat (asam oksaloasetat) di sel mesofil. CO<sub>2</sub> dilepaskan dan difiksasi kembali dalam siklus Calvin di sel "*bundle sheath*". Lebih efisien dalam menggunakan air dan lebih tahan terhadap kondisi kering dan panas. Contohnya adalah: jagung, tebu, dan sorgum. Stomata terbuka pada siang hari, tetapi juga memiliki kemampuan untuk membuka dan menutup sebagian untuk mengurangi kehilangan air.

Tanaman CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*): beradaptasi pada kondisi kering dan panas. Membuka stomata pada malam hari untuk menyerap CO<sub>2</sub> dan menyimpannya dalam bentuk asam organik. Pada siang hari, stomata tertutup dan CO<sub>2</sub> dilepaskan dari asam organik untuk digunakan dalam fotosintesis. Sangat efisien dalam penggunaan air dan umum ditemukan pada tumbuhan sukulen seperti: *Cactaceae* Juss., *Sansevieria* Thunb. Stomata terbuka pada malam hari dan tertutup pada siang hari. Tanaman menyerap CO<sub>2</sub> pada malam hari saat suhu lebih dingin dan kelembaban lebih tinggi, kemudian menyimpan CO<sub>2</sub> dalam bentuk asam malat. Pada siang hari, stomata tertutup dan CO<sub>2</sub> yang tersimpan digunakan untuk fotosintesis sehingga meminimalkan kehilangan air.

## IKLIM DAN LAHAN

### A. Faktor Iklim

Faktor iklim adalah berbagai kondisi lingkungan yang mempengaruhi keadaan cuaca dan iklim suatu wilayah. Faktor-faktor ini meliputi lintang, ketinggian tempat, jarak dari laut, arus laut, angin, dan tutupan lahan. Faktor utama yang mempengaruhi iklim: Wilayah yang dekat dengan khatulistiwa cenderung memiliki iklim tropis dengan suhu tinggi dan curah hujan yang tinggi. Semakin jauh dari khatulistiwa, suhu cenderung semakin rendah. Semakin tinggi suatu wilayah, suhu udara cenderung semakin rendah. Hal ini karena udara di ketinggian lebih tipis dan kurang mampu menahan panas. Wilayah yang terletak di dekat laut cenderung memiliki suhu yang lebih stabil dan curah hujan yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah yang jauh dari laut. Hal ini karena laut dapat mempengaruhi suhu udara dan juga berperan dalam pembentukan awan hujan. Arus laut hangat akan membawa udara hangat dan lembap, sedangkan arus laut dingin akan membawa udara dingin. Angin juga dapat membawa udara dari berbagai wilayah dengan karakteristik iklim yang berbeda. Jenis tutupan lahan seperti hutan, kota, dan gurun dapat mempengaruhi jumlah panas yang diserap atau dipantulkan oleh bumi. Hutan dapat menyerap panas, sementara gurun dapat memantulkan panas. Kota dengan bangunan dan jalan aspal cenderung menyerap lebih banyak panas daripada daerah pedesaan.

Faktor lainnya yang mempengaruhi iklim: Jumlah curah hujan yang turun di suatu wilayah mempengaruhi kelembapan dan ketersediaan air. Suhu udara merupakan faktor penting dalam menentukan jenis iklim suatu wilayah. Tekanan udara mempengaruhi pergerakan angin dan juga curah hujan. Kelembapan udara mempengaruhi

pembentukan awan dan curah hujan. Keberadaan dan jenis awan mempengaruhi jumlah radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi dan juga curah hujan. Angin berperan dalam distribusi panas dan kelembapan udara.

Iklim di Indonesia dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk letak geografis, ketinggian tempat, angin muson, dan kondisi tutupan lahan. Letak Indonesia yang berada di sekitar garis khatulistiwa menyebabkan iklim tropis dengan curah hujan tinggi dan suhu yang relatif hangat sepanjang tahun. Selain itu, angin muson yang bertiup dari Samudra Hindia dan Samudra Pasifik membawa pengaruh musim hujan dan kemarau. Ketinggian tempat juga berperan, di mana wilayah pegunungan cenderung lebih dingin dan curah hujannya lebih tinggi. Terakhir, tutupan lahan seperti hutan dan perkotaan juga mempengaruhi suhu dan kelembapan suatu wilayah. Lebih rinci mengenai faktor-faktor tersebut:

1. Letak Geografis (Lintang): Indonesia terletak di antara  $6^{\circ}\text{LU}$ - $11^{\circ}\text{LS}$  dan  $95^{\circ}\text{BT}$ - $141^{\circ}\text{BT}$ , membuatnya berada di daerah tropis. Ciri khas iklim tropis adalah suhu yang relatif tinggi sepanjang tahun, curah hujan yang tinggi, dan kelembapan yang tinggi.
2. Ketinggian Tempat: Semakin tinggi suatu tempat, suhu udara cenderung semakin rendah. Wilayah pegunungan di Indonesia memiliki suhu yang lebih sejuk dibandingkan dengan daerah dataran rendah. Selain itu, ketinggian juga mempengaruhi pola curah hujan, di mana wilayah pegunungan cenderung mendapatkan curah hujan lebih tinggi.
3. Angin Muson: Indonesia mengalami dua musim utama, yaitu musim kemarau dan musim hujan, yang disebabkan oleh pergerakan angin muson. Angin muson barat daya membawa uap air dari Samudra Hindia, menyebabkan musim hujan, sedangkan angin muson timur laut membawa udara kering dari benua Asia, menyebabkan musim kemarau.
4. Kondisi Tutupan Lahan: Tutupan lahan seperti hutan, perkotaan, dan gurun dapat mempengaruhi iklim suatu daerah.

Hutan dapat menyimpan air dan mengurangi suhu, sementara daerah perkotaan cenderung lebih panas karena efek pulau panas perkotaan.

5. Arus Laut: Arus laut juga berperan dalam distribusi panas dan kelembapan di Indonesia, mempengaruhi suhu dan curah hujan di wilayah pesisir.
6. *El Nino* dan *La Nina*: Peristiwa alam *El Nino* dan *La Nina* dapat mempengaruhi pola curah hujan di Indonesia. *El Nino* dapat menyebabkan kekeringan, sementara *La Nina* dapat meningkatkan curah hujan.
7. Daerah Pertemuan Angin Antartropis: Daerah pertemuan angin antartropis (*ITCZ*) dapat menyebabkan pembentukan awan dan hujan lebat di wilayah Indonesia.

Menentukan iklim di suatu daerah tidak bisa hanya melihat salah satu unsur iklim saja, akan tetapi harus diperhatikan kombinasi dari beberapa variabel meteorologis yang menyusun iklim. Faktor iklim yang utama yaitu: Radiasi, panjang hari, suhu, awan, presipitasi, kelembapan, penggeseran udara dan komponen gas di atmosfer. Faktor-faktor tersebut berupa: Gelombang elektromagnetik, penerima sinar matahari, energi kinetik, kondensasi, kandungan uap air, gaya berat dan partikel.

Iklim adalah keadaan rata-rata cuaca yang terjadi pada suatu wilayah dalam kurun waktu yang lama, diperlukan data cuaca  $\pm$  30 tahun. Cuaca adalah proses iklim yang terjadi di atmosfer, dalam suatu wilayah tertentu dan waktunya singkat serta dinyatakan oleh unsur-unsur yang dominan pada saat itu. Musim adalah keadaan cuaca yang berlangsung terus-menerus dalam keadaan periode waktu tertentu, dalam kurun waktu satu tahun.

Manfaat yang diperoleh dari mengetahui tipe iklim: Mengetahui potensi sumber daya iklim, landasan dalam perkembangan jenis usaha, dasar kebijaksanaan manajemen usaha pertanian, penyusunan pola tanam, pertimbangan rencana pembangunan. Mengetahui

iklim suatu daerah memiliki banyak manfaat, terutama dalam bidang pertanian dalam membantu dan menentukan waktu tanam yang tepat, memilih jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi iklim setempat sehingga dapat memaksimalkan hasil panen. Memahami iklim dapat membantu dalam mengantisipasi dan mengendalikan penyebaran hama dan penyakit tanaman yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan membantu dalam perencanaan pengelolaan air, termasuk sistem irigasi dan antisipasi kekeringan atau banjir.

## **B. Klasifikasi Iklim**

Klasifikasi iklim merupakan pengelompokan wilayah berdasarkan karakteristik iklimnya. Ada beberapa sistem klasifikasi iklim yang umum digunakan, seperti: Köppen, Mohr, Schmidt-Ferguson dan Oldeman, Thorthwate, yang masing-masing memiliki dasar dan kriteria yang berbeda.

1. Köppen: Berdasarkan pada suhu rata-rata bulan dan tahun, rata-rata hujan, suhu udara, vegetasi, intensitas penguapan (12 Tipe iklim).
2. Mohr: Berdasarkan atas banyak bulan basah dan bulan kering dari suatu tempat (5 Golongan iklim).
3. Schmid dan Ferguson: Berdasarkan banyaknya bulan basah dan bulan kering, dimana: Bulan Kering <60 mm; Bulan Lembab 60-100 mm; Bulan Basah > 100 mm (8 Tipe iklim), nilai Q.
4. Oldeman: Berdasarkan bulan basah dan bulan kering (5 Tipe utama, 4 Sub-divisi), dimana: Bulan Basah > 200 mm; Bulan Lembab 100-200 mm; Bulan Kering < 100 mm.
5. Thorthwaite: Berdasarkan kelembaban iklim dan suhu, (PE indeks: 5 Golongan ; TE indeks: 6 Golongan/Suhu).

Lahan tanaman, atau lahan pertanian, adalah area daratan yang digunakan untuk bercocok tanam atau memelihara hewan ternak. Lahan ini bisa berupa sawah, kebun, ladang, atau area lain yang secara fisik dan ekologis cocok untuk kegiatan pertanian. Jenis-

jenis lahan berupa: Lahan basah yang memiliki ketersediaan air yang cukup, seperti sawah. Lahan yang tidak memiliki ketersediaan air yang cukup untuk pertanian, seperti ladang atau kebun. Lahan yang mendapatkan suplai air dari sistem irigasi. Lahan yang mengandalkan air hujan atau sumber air lainnya untuk kebutuhan pertanian.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan lahan pertanian: Kesesuaian tanah harus memiliki unsur hara yang cukup dan struktur yang baik untuk pertumbuhan tanaman. Sumber air yang cukup sangat penting untuk keberhasilan pertanian. Suhu, curah hujan, dan sinar matahari harus sesuai dengan jenis tanaman yang akan dibudidayakan. Kemiringan lahan juga perlu diperhatikan, terutama untuk mencegah erosi. Lahan harus mudah dijangkau untuk memudahkan transportasi hasil panen dan kegiatan pertanian lainnya. Persiapan dan pengelolaan yang tepat, lahan pertanian dapat menjadi sumber penghasilan yang berkelanjutan dan mendukung ketahanan pangan.

Lahan dalam budidaya tanaman mempunyai definisi serta fungsi sebagai berikut:

1. Suatu bidang dimana tertampung sinar matahari dan curah hujan.
2. Suatu media tempat perakaran tumbuh, berkembang dan bertumbuh.
3. Suatu sistem biotik dan abiotik, yang merupakan sumber hara, air, udara bagi pertumbuhan tanaman dari unsur-unsur: C, H, O, N, P, K (Makro primer utama), S, Ca, Mg (Makro sekunder), Fe, B, Mn, Cl, Zn, Co, Mo (Unsur mikro), yang diserap dari udara hanyalah C dan O, sedangkan selebihnya diambil dari tanah.
4. Suatu tempat dimana bibit atau benih tanaman ditanam, tajuk berkembang di atasnya dan dapat memanfaatkan tenaga surya dan udara.

### C. Kemampuan dan Kesesuaian Lahan

Kemampuan dan kesesuaian lahan mempunyai persamaan dalam arti, bahwa baik kemampuan lahan maupun kesesuaian lahan ditentukan berdasarkan parameter tanah dan beberapa parameter iklim. Perbedaan antara keduanya terutama adalah bahwa klasifikasi kemampuan lahan dibuat dengan menggunakan parameter tanah dan iklim untuk semua jenis tanaman, sedangkan klasifikasi kesesuaian lahan dibuat dengan menggunakan parameter tanah dan iklim bagi satu atau segolongan tanaman tertentu.

Survei dan pemetaan lahan pertanian adalah proses pengukuran, analisis, dan pemetaan wilayah pertanian untuk mengidentifikasi karakteristik lahan dan potensi sumber daya lahan. Tujuannya adalah untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan lahan, perencanaan pertanian, dan optimalisasi produksi pertanian. Pentingnya survei dan pemetaan lahan pertanian untuk **identifikasi potensi lahan** dalam mengidentifikasi jenis tanah, topografi, ketersediaan air, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi kesesuaian lahan untuk berbagai jenis tanaman. Hasil survei dan pemetaan dapat digunakan untuk merencanakan tata letak lahan, menentukan jenis tanaman yang paling cocok untuk suatu wilayah, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Pemetaan lahan membantu dalam pengelolaan lahan yang lebih efektif, termasuk perencanaan irigasi, pengendalian hama dan penyakit, serta penerapan praktik pertanian berkelanjutan. Data yang dihasilkan dari survei dan pemetaan menjadi dasar pengambilan keputusan yang tepat dalam berbagai aspek pertanian, mulai dari pemilihan varietas tanaman hingga penerapan teknologi pertanian.

Tingkatan survei dan pemetaan lahan pertanian dapat dilakukan pada berbagai tingkatan, mulai dari skala luas hingga skala detail, tergantung pada tujuan dan kebutuhan. Skala Tinjau (“*reconnaissance*”) digunakan untuk survei awal suatu wilayah

yang luas, skala 1:250.000 atau lebih kecil. Tujuannya adalah untuk inventarisasi sumber daya lahan dan mendapatkan gambaran umum tentang potensi wilayah. Skala Semi-Detail dilakukan pada skala yang lebih besar, misalnya 1:50.000 atau 1:25.000. Fokusnya adalah pada identifikasi satuan lahan yang lebih spesifik dan perencanaan penggunaan lahan yang lebih rinci. Skala Detail dilakukan pada skala yang lebih besar, seperti 1:10.000 atau lebih besar, untuk mengkaji karakteristik lahan secara mendalam, termasuk sifat fisik, kimia, dan biologi tanah.

Teknologi yang digunakan adalah Pengindraan Jauh dengan Citra Satelit dan Foto Udara digunakan untuk memetakan wilayah pertanian dan mengumpulkan data tentang penggunaan lahan, vegetasi, dan perubahan lingkungan. *Sistem Informasi Geografis (GIS)*: digunakan untuk mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data spasial yang dikumpulkan dari survei dan pemetaan. *Global Navigation Satellite System (GNSS)*: digunakan untuk menentukan posisi geografis titik-titik penting di lahan pertanian.

Tingkat survei dan data dari pemetaan tanah yang biasanya dilakukan untuk bidang pertanian adalah:

- a. Bagan (1 : 2.500.000 atau <).
- b. Eksplorasi (1 : 1.000.000-2.500.000).
- c. Tinjau (1 : 100.000-500.000).
- d. Tinjau Mendalam (1 : 50.000-100.000).
- e. Semi Detail (1 : 25.000-50.000).
- f. Detail (1 : 10.000 atau >).

Klas kemampuan lahan I-III baik untuk tanaman pangan, sedangkan IV adalah Marginal untuk tanaman pangan. Klas V tidak sesuai untuk tanaman pangan, tetapi masih cocok untuk tanaman tahunan atau padang gembala. Klas VI-VIII kurang sesuai untuk hutan produksi tetapi cocok untuk hutan lindung dan cagar alam.

Tujuan utama dari klasifikasi kemampuan lahan adalah untuk membantu menentukan jenis penggunaan lahan yang paling tepat

dan untuk mengidentifikasi risiko degradasi lahan jika digunakan secara tidak tepat. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelas kemampuan lahan meliputi kemiringan lereng, jenis tanah: tekstur, struktur, bahan organik, permeabilitas tanah, tingkat erosi, dan ada tidaknya batuan atau bahan kasar. Evaluasi kemampuan lahan merupakan langkah awal dalam menentukan kesesuaian lahan. Lahan dengan kelas kemampuan yang sesuai (Kelas I, II, III untuk pertanian) akan lebih mudah untuk dinyatakan sesuai untuk jenis pertanian tertentu. Kesesuaian lahan juga mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mungkin tidak termasuk dalam evaluasi kemampuan lahan, seperti ketersediaan air, aksesibilitas, dan kondisi sosial ekonomi.

Kemampuan lahan dan ketersediaan hara memiliki hubungan yang erat dalam menentukan produktivitas suatu lahan. Kemampuan lahan, yang dinilai berdasarkan faktor-faktor seperti: tekstur, struktur, pH, dan kandungan bahan organik, akan mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Tanah yang memiliki kemampuan baik (Tekstur lempung, struktur remah, pH seimbang, dan kandungan bahan organik tinggi) cenderung mampu menyediakan unsur hara yang cukup bagi tanaman secara berkelanjutan. Sebaliknya, lahan dengan kemampuan rendah (Tekstur pasir, struktur padat, pH ekstrem, atau kandungan bahan organik rendah) akan memiliki ketersediaan hara yang terbatas dan sulit mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal. Faktor-faktor fisik dan kimia tanah seperti tekstur, struktur, permeabilitas, kedalaman efektif, pH, KTK dan kandungan bahan organik menentukan kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman. Ketersediaan hara mengacu pada kemampuan tanah untuk menyediakan unsur-unsur hara yang diperlukan tanaman, baik dalam bentuk yang langsung tersedia maupun yang dapat dilepaskan secara bertahap dari senyawa-senyawa dalam tanah. Lahan yang memiliki kemampuan baik akan memiliki ketersediaan hara yang lebih tinggi. Tanah dengan KTK tinggi akan mampu menahan unsur hara lebih baik dan melepaskannya secara bertahap kepada tanaman, sementara

tanah dengan pH yang seimbang akan memungkinkan penyerapan hara yang lebih efektif oleh akar tanaman. Lahan dengan tekstur pasir yang cenderung mudah melepaskan air dan unsur hara tetapi kurang mampu menahan air dan unsur hara, sehingga ketersediaan hara bagi tanaman terbatas. Sebaliknya, lahan dengan tekstur lempung yang memiliki drainase sedang hingga baik, mampu menahan air dan unsur hara lebih lama, sehingga ketersediaan hara bagi tanaman lebih terjaga.

Evaluasi kesesuaian lahan adalah proses menilai potensi suatu lahan untuk penggunaan tertentu, seperti pertanian, perkebunan, atau konstruksi, dengan mempertimbangkan karakteristik lahan dan syarat tumbuh komoditas yang akan dikembangkan. Hasil evaluasi ini digunakan sebagai dasar perencanaan tata guna lahan yang optimal dan berkelanjutan. Proses evaluasi kesesuaian lahan dengan mengumpulkan data tentang karakteristik lahan (fisik, kimia, dan biologi tanah), iklim, topografi, serta data tentang syarat tumbuh komoditas yang akan dikembangkan. Menganalisis data yang terkumpul untuk menentukan kelas kesesuaian lahan berdasarkan metode “*matching*” (mencocokkan karakteristik lahan dengan syarat tumbuh) atau metode FAO. Menginterpretasikan hasil analisis untuk menentukan kelas kesesuaian lahan, umumnya dibagi menjadi: **Sangat Sesuai (S1)**: Lahan memenuhi semua persyaratan tumbuh komoditas tanpa memerlukan perbaikan. **Cukup Sesuai (S2)**: Lahan memenuhi sebagian besar persyaratan tumbuh, tetapi mungkin memerlukan beberapa perbaikan. **Sesuai Marginal (S3)**: Lahan memenuhi sebagian kecil persyaratan tumbuh, dan memerlukan perbaikan yang signifikan. **Tidak Sesuai (N)**: Lahan tidak memenuhi persyaratan tumbuh dan tidak cocok untuk penggunaan tertentu. Tujuan evaluasi kesesuaian lahan adalah untuk optimalisasi pemanfaatan lahan dan memastikan lahan digunakan secara efektif dan efisien sesuai dengan potensi dan keterbatasannya.

Terkait dengan kesinambungan dalam penyerapan hara akan bergantung pada kecepatan pengembalian konsentrasi hara dalam larutan oleh fase padat yang berperan sebagai gudang hara pada daerah penukar. Semakin kuat kation-kation dapat dipertukarkan tersebut dan diikat dalam bentuk ikatan absorpsi, sama halnya dengan bila jumlah air dalam tanah semakin sedikit, ketersediaan air tersebut semakin kecil. Hara-hara yang ada dalam larutan tersebut dapat bergerak ke permukaan akar dengan kecepatan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Hara-hara datang pada permukaan akar melalui: Aliran massa, difusi, dan pengaruh pertumbuhan akar. Penyerapan hara dengan aliran massa adalah proses dimana ion-ion sepanjang permukaan akar tanaman didorong masuk ke dalam akar akibat adanya transpirasi air oleh tanaman.

Pemakai air konsumtif adalah jumlah kehilangan air per satuan luas (mm) yang diakibatkan oleh kanopi tanaman ditambah air Evaporasi. Jadi kebutuhan air tanaman atau pemakaian air konsumtif adalah kehilangan air oleh Evapotranspirasi. Data curah hujan tahunan, bulanan, mingguan yang telah terkumpul selama 10 tahun dapat digunakan untuk perencanaan dan pengembangan berbagai jenis tanaman di daerah itu, lebih-lebih apabila kebutuhan air tanaman dari jenis tanaman telah diketahui. Curah hujan efektif adalah bagian dari curah hujan yang betul-betul masuk ke dalam tanah dan di daerah perakaran tanaman, serta dapat diserap tanaman. Ini berarti sama dengan total curah hujan dikurangi hujan yang hilang akibat penguapan, aliran permukaan dan perkolasi dalam.

### ***Neraca Air***

Neraca air lahan adalah perhitungan yang menggambarkan keseimbangan antara masuknya air dan keluarnya air dari suatu lahan dalam periode waktu tertentu. Ini membantu dalam memahami ketersediaan air dan kebutuhan air pada suatu lahan yang penting

untuk berbagai keperluan seperti pertanian, irigasi, dan pengelolaan sumber daya air. Komponen Neraca Air Lahan: Masukan Air: Curah hujan: Jumlah air hujan yang jatuh ke lahan. Kondensasi: Perubahan uap air menjadi air cair di permukaan lahan. Keluaran Air: Evapotranspirasi, gabungan antara penguapan dari permukaan tanah dan transpirasi dari tanaman. Limpasan permukaan, aliran air di permukaan tanah menuju sungai atau badan air lainnya. Perkolasi, aliran air ke dalam tanah. Penyimpanan air dalam tanah, air yang tertahan di dalam tanah dan tersedia untuk tanaman. Pentingnya Neraca Air Lahan: Membantu menentukan jadwal tanam dan kebutuhan irigasi yang optimal. Memberikan informasi tentang ketersediaan air untuk berbagai keperluan, seperti industri, rumah tangga, dan konservasi.

Keseimbangan air sangat penting dalam perencanaan penggunaan lahan dan mitigasi risiko banjir atau kekeringan. Perubahan pola curah hujan dan evapotranspirasi yang terdeteksi melalui neraca air dapat menjadi indikator perubahan iklim. Pemberian air irigasi di samping memperhitungkan pemakai air konsumtif tanaman, harus dipikirkan kehilangan air akibat perkolasi dan perkembangan serta kehilangan air dalam saluran: Primer, Sekunder dan Tersier.

Manfaat Neraca Air untuk mengetahui kondisi ketersediaan air, membantu mengidentifikasi wilayah yang mengalami surplus atau defisit air. Perencanaan pengelolaan sumber daya air: memberikan informasi penting untuk pengelolaan air irigasi, ketersediaan air bersih, dan pengendalian banjir. Analisis hidrologi bahwa neraca air merupakan alat penting dalam memahami proses siklus hidrologi di suatu wilayah sebagai dasar perencanaan bangunan penyimpanan dan pembagi air yang dapat digunakan untuk merencanakan pembangunan infrastruktur terkait air, seperti waduk dan sistem irigasi.

Kebutuhan air pada tanaman adalah jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk tumbuh dan berkembang dengan baik. Air

berperan penting dalam berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk fotosintesis, penyerapan nutrisi, dan menjaga keseimbangan suhu tubuh tanaman. Kekurangan air dapat menyebabkan stres pada tanaman, menghambat pertumbuhan, bahkan menyebabkan kematian. Faktor-faktor yang mempengaruhi Kebutuhan Air Tanaman: Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan air yang berbeda-beda. Ada tanaman yang tahan kekeringan, ada pula yang membutuhkan banyak air. Tanaman membutuhkan air lebih banyak pada fase pertumbuhan aktif, seperti saat pembentukan bunga dan buah. Suhu udara, kelembaban, dan curah hujan mempengaruhi kebutuhan air tanaman. Jenis tanah (tekstur dan struktur) dan kandungan air dalam tanah mempengaruhi ketersediaan air bagi tanaman. Cara pemberian air (irigasi tetes, irigasi sprinkler, atau penggenangan) mempengaruhi efisiensi penggunaan air. *Drip Irrigation*, air dialirkan secara perlahan dan langsung ke zona akar tanaman melalui jaringan pipa dan “emitor”, baik di permukaan tanah maupun terkubur di bawahnya. *Sprinkler Irrigation*, air disemprotkan ke udara melalui *sprinkler* dan jatuh ke tanah seperti hujan, disalurkan melalui sistem pipa bertekanan menggunakan pompa. *Flood Irrigation*, air dialirkan dan menggenangi seluruh permukaan lahan pertanian.

Perhitungan kebutuhan air tanaman dapat dilakukan dengan berbagai metode: Perhitungan evapotranspirasi digunakan untuk mengetahui kebutuhan air tanaman. Perangkat lunak “*Cropwat*” dapat membantu menghitung kebutuhan air tanaman berdasarkan data iklim, jenis tanaman, dan kondisi tanah. Rumus kebutuhan air tanaman pada dasarnya menghitung seberapa banyak air yang dibutuhkan tanaman untuk menggantikan air yang hilang akibat evapotranspirasi (penguapan dari tanah dan tanaman) dan faktor lainnya. Perhitungan ini penting untuk irigasi yang efektif dan efisien, baik di lahan pertanian maupun di area lain. Rumus Umum: Kebutuhan air tanaman ( $E_{Tc}$ ) dihitung dengan mengalikan evapotranspirasi referensi ( $E_{To}$ ) dengan koefisien tanaman ( $K_c$ ).

$$ET_c = ETo \times Kc$$

**Dimana:**

ET<sub>c</sub> (Evapotranspirasi Tanaman) = Jumlah air yang hilang melalui evapotranspirasi oleh tanaman tertentu.

ET<sub>o</sub> (Evapotranspirasi Referensi) = Evapotranspirasi dari tanaman referensi (biasanya rumput) dalam kondisi ideal, diukur dalam mm/hari.

K<sub>c</sub> (Koefisien Tanaman) = Faktor yang mengoreksi ET<sub>o</sub> untuk jenis tanaman tertentu dan tahap pertumbuhannya, menunjukkan seberapa banyak tanaman tersebut menguapkan air dibandingkan dengan tanaman referensi.

Perhitungan ET<sub>o</sub> (Evapotranspirasi Referensi): dengan Metode *Blaney-Criddle*: Menggunakan data suhu udara dan panjang hari. Metode *Penman-Monteith*: Metode yang lebih akurat dan direkomendasikan oleh FAO. Metode lain: Berdasarkan data iklim lainnya seperti: radiasi matahari, kecepatan angin, dan kelembaban. Perhitungan K<sub>c</sub> (Koefisien Tanaman): K<sub>c</sub> dapat diperoleh dari tabel atau perhitungan empiris, tergantung pada jenis tanaman dan tahap pertumbuhannya. Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi: Setelah menghitung ET<sub>c</sub>, kebutuhan air irigasi dapat dihitung dengan mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti curah hujan efektif dan efisiensi sistem irigasi.

$$IN = ET_c - Pe$$

**Dimana:**

IN (Kebutuhan Air Irigasi): Jumlah air yang perlu ditambahkan melalui irigasi.

ET<sub>c</sub> (Evapotranspirasi Tanaman): Dihitung seperti di atas.

Pe (Curah Hujan Efektif): Bagian curah hujan yang benar-benar dapat diserap oleh tanaman.

Perhitungkan air yang masuk dan yang hilang dalam petak pengairan dapat digunakan rumus Neraca air berikut.

$$I + R + S_1 + G_1 = ET + S_0 + G_0 + P + D$$

**Dimana :**

I = Irigasi.

R = Hujan.

S<sub>1</sub> = Rembesan masuk.

S<sub>0</sub> = Rembesan keluar.

G<sub>1</sub> = Besarnya air tanah yang masuk.

G<sub>0</sub> = Besarnya air tanah yang keluar.

ET = Evapotranspirasi.

P = Perkolasi.

D = Air irigasi yang dibuang melalui permukaan tanah.

Suatu perhitungan yang menggambarkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk dan keluar dari suatu wilayah atau sistem tertentu dalam periode waktu tertentu. Neraca air penting untuk memahami ketersediaan air dan kebutuhan air di suatu daerah, serta untuk perencanaan pengelolaan sumber daya air. Faktor-faktor yang mempengaruhi kebutuhan air: Jenis tanaman yang berbeda memiliki kebutuhan air yang berbeda pula. Iklim: Suhu, curah hujan, dan kelembaban udara mempengaruhi laju evapotranspirasi. Kebutuhan air tanaman bervariasi pada berbagai tahap pertumbuhan (awal, vegetatif, pembuahan, pematangan). Kondisi tanah dan Jenis tanah (misalnya, lempung, pasir) mempengaruhi perkolasi dan kemampuan tanah menahan air. Kapasitas menahan air, adalah kemampuan tanah untuk menyimpan air yang tersedia bagi tanaman. Retensi kelembapan: Kemampuan tanah untuk menahan air disebut retensi kelembapan, dan sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Faktor-faktor yang mempengaruhi: Tekstur tanah liat, dengan partikel halus, memiliki kemampuan

menahan air yang lebih tinggi dibandingkan tanah berpasir. Peningkatan kadar bahan organik, seperti humus, meningkatkan kemampuan tanah menahan air dan ketersediaan nutrisi. Struktur tanah yang stabil, dengan agregasi partikel yang baik, meningkatkan kapasitas penyimpanan air dan pergerakan udara. Semakin tinggi porositas tanah, semakin besar kapasitasnya untuk menahan air.

Gambaran tentang nilai kebutuhan air musiman untuk tanaman pangan yang paling penting, dapat digunakan sebagai panduan (Tabel 1).

**Tabel 1.** Nilai Pekiraan Kebutuhan Air Tanaman Musiman.

<b>Tanaman</b>	<b>Kebutuhan Air Tanaman (mm/total Priode Pertumbuhan)</b>
Daun Alfafa	800-1600
Pisang	1200-2200
Barle/Gandum/Sorgum	450-650
Kacang Polong	300-500
Kubis	350-500
Jeruk	900-1200
Kapas	700-1300
Jagung	500-800
Melon	400-600
Bawang Bombay	350-550
Kacang Tanah	500-700
Kacang Hijau	700-900
Merica	600-900
Kentang	500-700
Beras (Padi)	450-700
Sorgum/Milet	450-650
Tebu	1500-25000
Kedelai	450-700
Bit Gula	550-750

# KEPADATAN TANAH

## A. Partikel Tanah

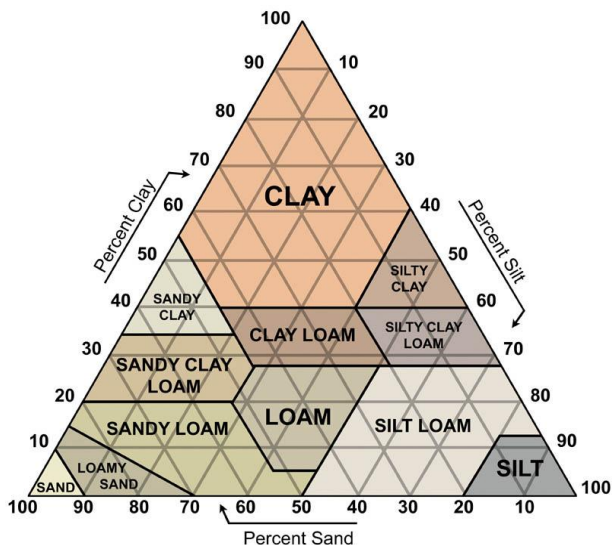
Kepadatan tanah adalah ukuran seberapa rapat partikel-partikel tanah berkumpul, dan biasanya diukur dengan membandingkan massa tanah kering dengan volumenya. Kepadatan tanah yang tinggi menunjukkan bahwa partikel-partikel tanah lebih padat dan berdekatan, sehingga ruang pori di antara partikel-partikel tersebut lebih sedikit. Sebaliknya kepadatan tanah yang rendah menunjukkan bahwa partikel-partikel tanah lebih longgar dan terpisah, sehingga ruang pori lebih banyak. Kepadatan tanah yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan akar tanaman karena sulit menembus tanah yang padat. Selain itu, kepadatan tanah yang berlebihan dapat mengurangi ketersediaan air dan oksigen bagi akar tanaman, serta mengurangi aktivitas mikroorganisme tanah yang bermanfaat. Tanah yang padat memiliki ruang pori yang lebih sedikit, sehingga oksigen dan air sulit untuk masuk dan bergerak. Hal ini menyebabkan kondisi tanah menjadi kurang ideal bagi banyak organisme tanah, seperti bakteri, jamur, cacing tanah, dan serangga, yang membutuhkan ruang dan udara untuk hidup dan berkembang. Ruang kosong ini penting untuk pergerakan air, udara, dan akar tanaman, serta sebagai tempat tinggal bagi organisme tanah karena sedikitnya ruang pori, tanah yang padat menghambat sirkulasi oksigen dan air. Kondisi anaerobik tidak disukai oleh banyak organisme tanah yang membutuhkan oksigen untuk bernafas dan menjalankan aktivitasnya. Organisme tanah seperti cacing tanah, serangga, dan mikroorganisme membutuhkan ruang untuk bergerak, mencari makan, dan melakukan aktivitas penting lainnya dan berdampak negatif pada kesehatan tanaman.

Segitiga tekstur tanah menunjukkan klasifikasi tanah berdasarkan persentase: pasir, debu, dan lempung di dalam tanah (Gambar 1). Metode klasifikasi ini pertama kali diperkenalkan oleh Davis dan Bennett (1927) dan disempurnakan lebih lanjut oleh Staf Divisi Survei Tanah (1993) dan diberi nama klasifikasi tanah USDA. Tekstur tanah dan struktur tanah merupakan sifat tanah yang unik yang akan berdampak besar pada perilaku tanah, seperti kapasitas menahan air, retensi dan pasokan nutrisi, drainase, dan pencucian nutrisi. Dalam hal kesuburan tanah, tanah yang lebih kasar umumnya memiliki kemampuan yang lebih rendah untuk menahan dan mempertahankan unsur hara dibandingkan tanah yang lebih halus. Namun, kemampuan ini berkurang karena tanah bertekstur halus mengalami pencucian yang intensif di lingkungan lembap.

Tekstur tanah berperan penting dalam pengelolaan hara karena memengaruhi retensi hara. Tanah bertekstur halus cenderung memiliki kemampuan lebih besar untuk menyimpan hara tanah. Dalam pembahasan tentang komposisi mineral tanah, menyebutkan bahwa partikel mineral tanah hadir dalam berbagai ukuran. Fraksi tanah halus mencakup semua partikel tanah yang berukuran kurang dari 2 mm. Partikel tanah dalam fraksi ini dibagi lagi menjadi tiga kelas ukuran terpisah, yang meliputi: pasir, lanau, dan lempung. Ukuran partikel pasir berkisar antara 2,0 dan 0,05 mm; lanau, 0,05 mm dan 0,002 mm; dan lempung, kurang dari 0,002 mm. Partikel lempung mungkin lebih dari seribu kali lebih kecil daripada partikel pasir. Perbedaan ukuran ini sebagian besar disebabkan oleh jenis bahan induk dan tingkat pelapukan. Partikel pasir umumnya merupakan mineral primer yang belum mengalami banyak pelapukan. Di sisi lain, partikel lempung adalah mineral sekunder yang merupakan produk pelapukan mineral primer. Saat pelapukan berlanjut, partikel tanah terurai dan menjadi semakin kecil. Tekstur tanah adalah proporsi relatif: pasir, lanau, atau lempung dalam suatu tanah. Kelas tekstur tanah adalah pengelompokan tanah berda-

sarkan proporsi relatif ini. Tanah dengan tekstur paling halus disebut tanah lempung, sedangkan tanah dengan tekstur paling kasar disebut pasir. Tanah yang memiliki campuran pasir, lanau, dan lempung yang relatif merata dan menunjukkan sifat-sifat masing-masing disebut lempung.

Jenis-jenis Tanah: Tanah Berpasir: Bertekstur kasar, mudah menyerap air, dan memiliki drainase yang baik. Tanah Liat: Bertekstur halus, daya serap air rendah, dan sulit dikerjakan. Tanah Lanau: Memiliki tekstur sedang, daya serap air sedang, dan mudah dibentuk. Tanah Gambut: Mengandung bahan organik tinggi, berwarna gelap, dan memiliki daya serap air tinggi. Tanah Lempung: Campuran dari pasir, lanau, dan lempung, dengan sifat yang bervariasi tergantung pada proporsi masing-masing komponen. Tanah Aluvial: Tanah yang terbentuk dari endapan sungai, subur dan cocok untuk pertanian. Tanah Andosol: Tanah yang terbentuk dari abu vulkanik, subur dan kaya akan unsur hara. Tanah Regosol: Tanah yang bertekstur kasar dan belum mengalami perkembangan. Tanah Latosol: Tanah yang memiliki distribusi kadar lempung tinggi dan kandungan oksida besi dan aluminium yang tinggi.



**Gambar 1.** Klasifikasi Tanah USDA

Tekstur tanah mengacu pada komposisi proporsi partikel penyusun tanah, yaitu pasir, lanau, dan lempung. Klasifikasi tekstur tanah membantu memahami sifat fisik tanah, seperti kemampuan menahan air, drainase, dan aerasi. Tekstur tanah diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan persentase relatif pasir, lanau, dan lempung.

Klasifikasi Tekstur Tanah: Pasir (*Sandy*): Didominasi oleh partikel pasir, terasa kasar dan berbutir. Lanau (*Silty*): Didominasi oleh partikel lanau, terasa halus seperti bedak. Lempung (*Clay*): Didominasi oleh partikel lempung, terasa lengket dan plastis. Lempung Berpasir (*Sandy Loam*): Campuran pasir dan lempung, terasa kasar namun masih memiliki sedikit kelekatan. Lempung Berlanau (*Silty Loam*): Campuran lanau dan lempung, terasa halus seperti bedak dengan sedikit kelekatan. Lempung Liat (*Clay Loam*): Campuran lempung, lanau, dan pasir, terasa agak lengket dan plastis. Lempung (*Loam*): Campuran seimbang antara pasir, lanau, dan lempung, terasa seimbang antara kasar dan halus, serta memiliki kelekatan sedang.

Faktor yang mempengaruhi kepadatan tanah antara lain: Tekstur tanah berpasir cenderung memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan tanah lempung karena partikel pasir lebih mudah bersentuhan dan membentuk susunan yang lebih padat. Bahan organik dapat membantu meningkatkan struktur tanah dan mengurangi kepadatan tanah. Penggunaan mesin pertanian yang berat, pemadatan tanah untuk konstruksi, dan kegiatan lain yang melibatkan tekanan pada tanah dapat meningkatkan kepadatan tanah. Tanah yang terlalu basah atau terlalu kering dapat memiliki kepadatan yang berbeda dan akan berpengaruh sesuai dengan perbedaan jenis tanahnya.

Klasifikasi tanah adalah pengelompokan tanah berdasarkan berbagai kriteria seperti: tekstur, struktur, komposisi kimia, dan asal usulnya. Klasifikasi ini penting untuk memahami karakteristik tanah dan bagaimana tanah tersebut dapat dimanfaatkan atau

dikelola. Klasifikasi tanah USDA membagi tanah menjadi 12 ordo utama berdasarkan karakteristik morfologi dan proses pembentukannya. Sistem ini juga memiliki tingkatan hierarki yang lebih rinci, termasuk subordo, grup besar, subgrup, famili, dan seri. Sistem klasifikasi tanah FAO berfokus pada satuan tanah yang setara dengan jenis tanah dan macam tanah dalam sistem klasifikasi tanah nasional. Sistem ini menggunakan kombinasi dari sifat-sifat tanah seperti tekstur, warna, struktur, horizon tanah, bahan induk, drainase, dan posisi lanskap untuk mengklasifikasikan tanah. Sistem klasifikasi tanah PPT Bogor membagi tanah menjadi 13 kelas sebagaimana tabel 2.

**Tabel 2.** Jenis klasifikasi tanah: USDA, FAO/UNESCO, PPT Bogor

<b>USDA Soil Taxonomy (1975-1990)</b>	<b>FAO/UNESCO (1974)</b>	<b>Modifikasi PPT (1978/1982)</b>
- Entisol	Fluvisol	Aluvial
- Inceptisol		
Andosol	Andosol	Andosol
Vertisol	Vertisol	Grumusol
- Inceptisol	- Cambisol	- Kambisol
- Ultisol	- Nitosol	- Latosol
- Oxisol	- Ferralsol	- Lateritik
Entisol	Litosol	Litosol
Alfisol/Inceptisol	Luvisol	Mediteran
Histosol	Histosol	Organosol
Spodosol	Podsol	Podsol
Ultisol	Acrisol	Podsolik
Entisol	Regosol	Regosol
Rendoll	Renzina	Renzina

Macam pertumbuhan dan perkembangan tanaman dipengaruhi oleh kekuatan mekanis tanah yang dapat mengakibatkan

penghambatan terhadap: Akar untuk tumbuh memanjang, agar akar dapat menjelajahi volume tanah dengan intensif. Berhubungan dengan jari-jari radial tanah untuk menambah diameter akar. Biji berkecambah untuk tunas keluar dari permukaan tanah. Buah "ginofor": bagian bunga tertentu yang berupa tangkai memanjang yang menopang bakal buah dan setelah pembuahan akan menjadi tangkai polong, masuk ke dalam tanah agar tumbuh dan berkembang.

Faktor-faktor tanah yang mempengaruhi kekuatan mekanis tanah dan mempengaruhi pertumbuhan adalah: Kepadatan tanah, Agregasi partikel, Kohesi tanah. Penyebab umum dari pada kepadatan tanah: Penyatuan alami waktu pembentukan tanah. Pijakan hewan dan manusia. Respons tanah terhadap tekanan dan perubahan yang terjadi akibat dari roda, lintasan alat pengolahan tanah dan alat-alat lain dari pengolahan tanah. Tetesan air hujan dan air irigasi "Sprinkler" terhadap agregasi tanah dan pengaruh lain dari irigasi. Pengerutan alami tanah akibat pengeringan.

Pengelolaan tanah secara khusus meliputi usaha yang didasarkan pada sifat-sifat tanah (Fisik, Kimia, Biologi, dan Mineralogi). Cakupan pengelolaan tanah tersebut terdiri dari:

1. Peningkatan jumlah unsur hara melalui pemupukan.
2. Peniadaan pengaruh suatu unsur yang merugikan melalui pengapuran.
3. Perbaikan sifat tanah melalui "ameliorasi" (Penambahan bahan untuk mempercepat dan atau memperlambat pelapukan).
4. Pengawetan atau konservasi tanah melalui usaha memperkecil kehilangan tanah karena erosi dengan pembuatan teras, kontour dan lain sebagainya.

Tanah Masam dan perkembangan tanah Masam merupakan hal umum di daerah tropis. Bahan induk yang Masam akan menghasilkan tanah-tanah Masam. Di samping itu terdapat faktor-faktor lain yang juga dapat mendorong perkembangan tanah Masam

yaitu: Tingkat pelapukan, curah hujan dan intensitas penggunaan lahan. Semakin tinggi tingkat pelapukan, semakin tinggi curah hujan dan semakin intensif lahan pertanian digunakan maka semakin besar kemungkinan berkembangnya tanah Masam. Hujan yang melebihi evapotranspirasi mempunyai kemampuan bagi terjadinya perkolasi air ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam, sehingga dapat terjadi pencucian kation-kation Basa, oleh karena hilangnya kation-kation Basa dari kompleks jerapan maka kation-kation  $H^+$  dan  $Al^{3+}$  menjadi menonjol, sehingga tanah menjadi Masam. Ketidaksuburan tanah Masam di daerah tropis, pada umumnya di samping oleh faktor kemasaman tanah juga disebabkan P rendah dan daya fiksasi P yang tinggi, keracunan tanaman akibat kandungan Al, Fe, Mn yang tinggi, kapasitas tukar kation (KTK) rendah, kejenuhan basah (KB) terutama Ca dan Mg rendah, dan bahan organik rendah.

## **B. pH Tanah, Al~dd dan Kejenuhan Al**

pH tanah merupakan salah satu dari sifat-sifat tanah yang paling banyak diamati, karena sifat tersebut banyak mempunyai hubungan dengan sifat-sifat kesuburan tanah yang lain (KTK, KB dan sebagainya), pH mempunyai korelasi dengan kandungan Al dalam tanah, Al~dd dan kejenuhan Al. Pengertian lain tentang pH, yang penting kaitannya dengan tanaman maupun dengan pengapuran adalah pengertian pH minimum (pH kritis). Arti pH minimum atau pH kritis adalah batas pH dimana di atas pH tersebut pengapuran tidak dapat meningkatkan hasil tanaman. pH ini kurang lebih sama pengertiannya dengan pH kritis, yang didefinisikan sebagai batas pH, dimana di bawah pH tersebut pengapuran akan menaikkan hasil.

Reaksi tanah menunjukkan sifat keasaman yang dinyatakan dengan nilai pH. Nilai pH menunjukkan banyaknya konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) di dalam tanah. Semakin tinggi kadar ion ( $H^+$ ) di dalam tanah akan mengakibatkan tanah semakin Masam. Selain ion  $H^+$  ada pula ion ( $OH^-$ ) yang jumlahnya berbanding terbalik dengan

ion  $H^+$ . Tanah-tanah yang Masam jumlah ion  $H^+ > OH^-$  sedangkan pada tanah Alkalis kandungan ion  $OH^- > H^+$ .

Ada dua istilah Kemasaman Tanah, yaitu:

1. Kemasaman Aktual atau aktif.

Kemasaman tanah aktual, atau pH aktual tanah, adalah ukuran tingkat keasaman atau kebasaaan tanah yang diukur dalam larutan tanah (biasanya dengan air,  $H_2O$ ). Ini adalah nilai pH yang menunjukkan konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) dalam larutan tanah pada kondisi aslinya. Nilai ini penting karena memengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Kemasaman yang disebabkan oleh aktivitas ion-ion  $H^+$ , yang ada dalam larutan tanah dan dinyatakan dengan pH  $[-\log (H^+)]$ .

2. Kemasaman Potensial.

Kemasaman tanah potensial (biasanya diukur dengan KCl), yang menunjukkan jumlah ion  $H^+$  dalam larutan tanah dan juga kompleks pertukaran ion. Perbedaan antara kedua nilai ini dapat memberikan informasi tentang sifat tanah dan ketersediaan unsur hara. Adalah setara dengan kebutuhan Kapur. Nilai pH 0-14;  $< 7 =$  Masam,  $> 7 =$  Alkalis,  $7 =$  Netral. Tanah Masam unsur P difiksasi oleh  $Al^{3+}$ , pada tanah Alkalis unsur P difiksasi oleh  $Ca^{2+}$ . Usaha meningkatkan pH dengan penambahan Kapur sementara untuk menurunkan pH dengan penambahan Belerang atau Sulfur.

### C. Kejenuhan Basa

Kejenuhan basa tanah adalah persentase dari total KTK tanah yang diduduki oleh kation-kation basa, dengan kata lain adalah ukuran seberapa banyak kation basa yang tersedia di tanah untuk diserap oleh tanaman. KTK adalah kemampuan tanah untuk menahan dan menukarkan kation-kation, baik kation basa maupun kation asam. Kation basa adalah ion bermuatan positif yang bersifat basa, seperti  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ , dan  $Na^+$ .

Kejenuhan basa yang tinggi menunjukkan bahwa tanah kaya akan kation basa, yang penting untuk pertumbuhan tanaman. Sebaliknya KB yang rendah menunjukkan bahwa tanah kekurangan kation basa, yang dapat mempengaruhi kesuburan tanah. Kejenuhan basa juga terkait dengan pH tanah, tanah dengan KB tinggi cenderung memiliki pH yang lebih tinggi (lebih basa), sementara tanah dengan KB rendah cenderung memiliki pH yang lebih rendah (lebih asam). Kejenuhan basa dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk curah hujan, jenis tanah, dan aktivitas pertanian seperti pemupukan.

Kation-kation Basa:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ .

Kation-kation Asam:  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$

$$\text{KB} = \frac{\sum K_{tB}}{\sum K_{tK}} \times 100\% \quad \rightarrow \text{KTK} = \sum K_{tB} + \sum K_{tA}$$

pH rendah, KB rendah artinya dominasi kompleks jerapan di isi oleh kation-kation asam ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ). pH tinggi, Kejenuhan Basa rendah artinya dominasi kompleks jerapan diisi oleh kation-kation Basa ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ).

Kebutuhan kapur dalam pertanian mengacu pada jumlah kapur yang diperlukan untuk memperbaiki kondisi tanah, terutama menaikkan pH tanah yang asam dan menyediakan unsur kalsium. Dosis kapur yang dibutuhkan bervariasi tergantung pada jenis tanah, tingkat keasaman tanah, dan jenis tanaman yang dibudidayakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kebutuhan kapur adalah: Tanah yang asam memiliki pH rendah, dan kapur digunakan untuk menaikkan pH ke tingkat yang lebih netral atau sesuai dengan kebutuhan tanaman. Tekstur tanah: Tanah berpasir memerlukan lebih sedikit kapur dibandingkan tanah lempung untuk mencapai pH yang sama. Tanah dengan bahan organik tinggi mungkin memerlukan lebih banyak kapur

untuk menetralkan keasaman. Tanaman yang berbeda memiliki toleransi pH yang berbeda. Beberapa tanaman membutuhkan pH yang lebih netral, sementara yang lain dapat tumbuh pada tanah yang sedikit asam.

Kapur pertanian yang umum digunakan adalah *Kalsit* ( $\text{CaCO}_3$ ), *Dolomit* ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), dan Kapur Bakar ( $\text{CaO}$ ). Kebutuhan kapur dapat dihitung berdasarkan perbedaan pH target dengan pH tanah saat ini, dikalikan dengan faktor yang bergantung pada tekstur tanah. Analisis tanah dapat memberikan informasi tentang tingkat keasaman tanah, kandungan bahan organik, dan kandungan unsur hara, yang dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan kapur.

Kebutuhan Kapur diartikan sebagai jumlah kapur yang dibutuhkan untuk menaikkan pH tanah Masam sampai dengan mencapai nilai optimal bagi tanaman.

Faktor yang sangat menentukan dalam penggunaan Kapur:

1. Bahan Kapur. Kehalusan bahan dan porsi bahan yang digunakan dan macam bahan Kapur (*Kalsit*, *Dolomit*, *Marl*, dan lain-lain). Catatan: Pemberian Kapur hanya satu kali, selama tanah dikelola untuk 3 tahun (Kebutuhan tahun ke-4 hanya sekitar 15% dari jumlah yang ditetapkan dan selanjutnya untuk tahun ke-5 dan sebagainya).
2. Kecepatan dan meratanya. Disebar merata sebelum tanah diolah. Mekanisme pemberian Kapur menyebabkan ion-ion  $\text{H}^+$  yang disebabkan oleh Hidrolisis  $\text{Al}^{3+}$  dan ionisasi asam-asam organik akan bereaksi dengan ion  $\text{OH}^-$  menjadi air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dan pH akan naik. Penurunan pH menggunakan Belerang ( $\text{S}$ ) mekanisme ( $\text{S}^0 \rightarrow$  menjadi  $\text{SO}_4^{-2}$ ) terjadi karena kegiatan jasad mikro *Theobacilus ferroxidans* Kelly & Wood., *T. Thiooxidans* Kelly & Wood. atau ZA pada tanah netral, ZK pada tanah Alkalis.

Pengolahan tanah adalah kegiatan mempersiapkan lahan pertanian dengan cara memanipulasi tanah secara mekanis, seperti

membajak, menggaru, atau menggunakan alat pertanian lainnya, untuk menciptakan kondisi tanah yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman. Tujuannya adalah untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, serta menciptakan lingkungan yang optimal untuk pertumbuhan akar dan penyerapan unsur hara. Secara lebih rinci, pengolahan tanah meliputi beberapa aspek penting.

Persiapan lahan: Membersihkan lahan dari gulma, batu, dan sisa tanaman yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman.

Perbaikan sifat fisik: Memperbaiki struktur tanah, aerasi, drainase, dan ketersediaan air.

Perbaikan sifat kimia: Mengatur tingkat pH dan ketersediaan unsur hara.

Perbaikan sifat biologi: Memperbaiki aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan dalam siklus unsur hara.

Pembuatan bedengan atau guludan: Memudahkan penanaman dan perawatan tanaman, serta meningkatkan drainase.

Pengendalian gulma: Mengurangi persaingan gulma dalam mendapatkan unsur hara dan air.

Pengolahan tanah dapat dilakukan secara konvensional atau konservasi. Pengolahan tanah konvensional melibatkan pembajakan dan penggemburan tanah secara menyeluruh, sedangkan pengolahan tanah konservasi meminimalkan gangguan pada tanah dan menjaga lapisan organik.

Pemilihan jenis pengolahan tanah tergantung pada jenis tanaman, kondisi tanah, dan preferensi petani. Pengolahan tanah adalah berbagai pekerjaan modifikasi dan manipulasi tanah di daerah perakaran tanaman, yang secara langsung ataupun tidak langsung bertujuan untuk memperbaiki daerah tersebut bagi pertumbuhan akar, ketersediaan hara dan produksi. Berbagai peralatan yang bisa digunakan untuk pengolahan tanah secara mekanis adalah seperti berikut:

### ***Bajak Singkal***

Bajak singkal adalah alat pertanian yang digunakan untuk pengolahan tanah pertama, yang berfungsi memotong, membalik, dan memecah tanah. Alat ini termasuk jenis bajak yang paling tua dan umum digunakan oleh petani, baik yang ditarik oleh hewan

maupun tenaga mekanis. Bajak singkal dirancang untuk memotong lapisan tanah, mengangkatnya, dan kemudian membalikinya, sehingga membantu dalam penggemburan tanah dan persiapan lahan untuk penanaman. Ada dua jenis utama bajak singkal, yaitu bajak singkal satu arah (yang hanya membalik tanah ke satu sisi) dan bajak singkal dua arah (yang bisa membalik tanah ke kiri atau kanan). Bajak singkal digunakan pada tahap pengolahan tanah pertama, membantu dalam membenamkan sisa-sisa tanaman dan gulma ke dalam tanah. Alat ini adalah efektif menggemburkan tanah, biasanya sedalam 20-30 cm dengan cara memotong dan membalik, sehingga sisa tanaman dan Gulma dapat terkubur.

### ***Bajak Piring Standart (Ukuran/patokan)***

Bajak piringan adalah salah satu jenis bajak yang cocok digunakan pada tanah yang lengket, tidak mengikis dan kering dimana bajak singkal tidak dapat masuk, tanah berbatu, tanah yang memiliki banyak sisa akar, tanah gambut, dan pembajakan tanah yang berat. Membajak dengan alat ini kedalaman pembajakan akan dipengaruhi oleh beratnya pembajakan. Pembajakan dengan alat ini Gulma atau residu tetap tinggal di atas tanah. Tekanan ke bawah pada tanah dengan bajak ini dapat menambah kepadatan. Bagian-bagian Bajak Piring: Piringan berbentuk cekung dan tajam, berfungsi untuk memotong, mengangkat, dan membalik tanah. Poros tempat piringan berputar dan bertumpu. Penggaruk menjaga piringan tetap bersih dari tanah yang menempel. Roda alur menstabilkan jalannya bajak. Roda mendukung dan menstabilkan bajak. Kerangka utama yang menghubungkan semua komponen.

### ***Bajak Piring Vertikal***

Bajak ini efektif untuk digunakan menggemburkan tanah, mematikan Gulma, memotong dan menutup sebagian sisa tanaman dan mulsa, untuk konservasi tanah dari air. Digunakan untuk pengolahan tanah yang lebih cepat tetapi lebih dangkal, bila diban-

dingkan dengan bajak Piring Standar. Pada bajak piring vertikal, beberapa piringan terhubung pada satu poros.

### ***Sub-Soiler (Lapang bagian bawah)***

Subsoiler adalah alat pertanian yang digunakan untuk memecah lapisan tanah padat di bawah permukaan. Alat ini memiliki tangkai yang berjarak lebar dan dapat mencapai kedalaman lebih dari 1 m, karena alat ini bekerja sangat dalam, subsoiler memerlukan traktor tugas berat untuk menariknya dan biasanya ditarik satu per satu. Alat ini merupakan implemen kecil berbentuk segitiga yang dapat dipergunakan untuk pengolahan tanah dalam.

### ***Garu Piring***

Garu piring merupakan alat pengolahan tanah kedua setelah garu sisir. Garu piring berbentuk piringan kecil rata maupun bergerigi untuk membalikkan tanah dangkal pada lahan sawah. Garu biasanya dipakai untuk mematikan Gulma, mencampur kapur, herbisida, dan membenamkan bahan organik. Membantu memperbaiki struktur tanah menjadi lebih gembur dan mudah ditembus akar tanaman. Berperan dalam menjaga kelembaban tanah dengan cara mencampurkan sisa tanaman ke dalam tanah, yang dapat membantu mengurangi penguapan.

### ***Garu Bergigi (Spring tooth Harrow)***

Garu piring bergerigi adalah alat pengolahan tanah yang berbentuk piringan bergerigi. Alat ini digunakan untuk membalikkan tanah secara dangkal, biasanya pada lahan sawah, setelah proses pembajakan. Garu piringan bergerigi berbeda dengan garu piringan rata, karena memiliki tepi yang bergelombang. Garu ini digunakan untuk menggemburkan permukaan tanah tanpa pemadatan, cara kerja alat ini bisa mencapai 10 Km/jam).

### ***Garu Gigi Paku (Spiketooth Harrow)***

Garu gigi paku adalah alat pertanian yang digunakan untuk menghaluskan dan meratakan tanah setelah dibajak, biasanya pada tahap awal penanaman. Alat ini memiliki gigi-gigi panjang yang runcing seperti paku atau pasak, dan digunakan untuk memecah gumpalan tanah, mencabut rumput liar, serta meratakan permukaan tanah. Tarikan alat ini ringan, dan dapat dipergunakan untuk memecah bongkahan tanah yang telah retak atau memecah kerak tanah yang tipis.

### ***Roller (Penggulung)***

Roller dalam konteks olah tanah, adalah alat yang digunakan untuk memadatkan permukaan tanah, baik untuk keperluan pertanian maupun konstruksi jalan. Dalam pertanian, *roller* membantu meratakan tanah dan memecah gumpalan tanah setelah pembajakan. Ada *Roller* yang halus dan ada yang kasar dan *Roller* dapat digunakan untuk menghaluskan dan merapatkan tanah, tarikannya sangat ringan.

### ***Rotariller (Rotavator) dan Garu Power (Rotari/ putar)***

Cara kerja keduanya mirip yaitu keduanya dapat digunakan untuk menghaluskan dan mengaduk permukaan tanah. *Rotariller* cara kerjanya mengaduk tanah ke arah dalam sampai batas lapisan olah, sedangkan *Garu Power* cara kerjanya menghaluskan permukaan tanah dan mengaduknya lebih dangkal.

### ***Bajak Chisel, Ripper dan Cultivator.***

Bajak *Chisel* lebih ringan konstruksinya dibanding *Ripper*, dan kedalaman maksimum yang dapat dicapai dengan alat ini hanya 30 cm. Alat *Cultivator* biasanya digunakan untuk pengolahan tanah sekunder atau untuk pengendalian gulma.

## **Vibrator**

*Vibrator* dapat digunakan untuk pengolahan tanah tanpa pemadatan, tetapi penggunaannya harus tepat dan sesuai dengan jenis tanahnya. *Vibrator*, terutama yang digunakan dalam alat berat seperti *vibratory roller* (“*vibro*”), biasanya digunakan untuk memadatkan tanah, bukan untuk mengolahnya tanpa pemadatan, namun ada metode pemadatan getaran (“*vibro compaction*”) yang menggunakan *vibrator* untuk menata ulang partikel tanah menjadi lebih padat, sehingga menghasilkan pemadatan yang lebih efisien. Pengolahan tanah terjadi melalui getaran tetapi alat ini lebih banyak butuh tenaga dibandingkan dengan memakai tarikan, pengolahan tanah akan menjadi lebih halus.

## **Trenching Machine**

*Trencher* dirancang khusus untuk menggali parit atau selokan untuk berbagai keperluan, seperti sistem drainase. Meskipun demikian, beberapa model *trencher* kecil mungkin digunakan untuk persiapan lahan terbatas, seperti membuat parit untuk penanaman tanaman tertentu. Alat ini dapat digunakan untuk mengubah profil, yaitu percampuran profil tanah sampai dengan kedalaman yang tinggi (Lebih dalam dari 30 cm).

## **KESUBURAN TANAH**

### **A. Kesehatan Tanah**

Kemampuan tanah untuk menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh dan berkembang dengan baik, melibatkan keseimbangan komponen fisik, kimia, dan biologi tanah. Tanah yang subur mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal dengan menyediakan unsur hara, air, dan udara yang cukup. Tanah sehat adalah tanah yang mampu menunjang kehidupan tanaman dan organisme lain secara optimal, serta memiliki kemampuan untuk menjalankan fungsi-fungsinya dengan baik. Tanah sehat memiliki struktur yang baik, dapat mendaur ulang nutrisi, menahan air dan udara, serta memiliki beragam organisme hidup di dalamnya.

Ciri tanah sehat: Memiliki struktur yang gembur dan remah, memungkinkan akar tanaman tumbuh dengan mudah dan air serta udara dapat mengalir dengan baik. Bahan organik, seperti sisa tanaman dan hewan yang membusuk, menyediakan nutrisi penting bagi tanaman dan membantu menjaga struktur tanah. Memiliki pH yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman, umumnya mendekati netral. Mikroorganisme dalam tanah, seperti bakteri dan jamur, berperan dalam mendaur ulang nutrisi dan menjaga kesehatan tanah. Mampu menyerap air dengan baik dan menyediakan oksigen yang cukup untuk akar tanaman. Tidak terkontaminasi oleh bahan berbahaya dan tidak menjadi tempat berkembang biak bagi hama dan penyakit tanaman.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kesuburan tanah: Sifat Fisika Tanah: Tekstur, struktur, dan aerasi tanah mempengaruhi ketersediaan air dan udara bagi akar tanaman. Sifat Kimia Tanah: Ketersediaan unsur hara, pH tanah, dan KTK mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyediakan nutrisi bagi tanaman. Sifat

Biologi Tanah: Keberadaan mikroorganisme tanah, seperti bakteri dan jamur, berperan dalam dekomposisi bahan organik dan siklus unsur hara. Secara garis besar suatu tanah dikatakan subur bila sifat-sifat kesuburan (Fisik, Kimia dan Biologi) mendukung pertumbuhan serta produksi tanaman dengan catatan: Faktor-faktor tanaman, iklim dan pengolahan tidak menjadi pembatas dan dalam kondisi optimal. Terkait dengan kesuburan tanah perlu dibedakan dua pengertian dasar:

1. Kesuburan tanah Potensial adalah merupakan kondisi alami berkaitan dengan kesuburan jangka panjang dan umumnya sulit diubah dan bila dapat diperlukan masukan tinggi. Contoh: Topografi, Kedalaman Efektif, Tekstur, Mineral liat dan lain-lain.
2. Kesuburan tanah Aktual adalah merupakan kondisi dalam jangka waktu pendek dan berubah setiap musim tanam. Contoh: Status unsur hara tersedia, yang dapat dikaitkan dengan pH, Eh, KTK, pemberian Kapur.

Selain dua istilah di atas, ada dua istilah lagi yaitu:

1. Kapasitas penyediaan hara, menyangkut kemampuan tanah dalam menyuplai jumlah hara semasa pertumbuhan tanaman.
2. Intensitas penyediaan hara menunjukkan kemampuan tanah dalam menyuplai hara secara kontinyu sesuai fase pertumbuhan.

Menjaga dan meningkatkan Kesuburan Tanah melalui: Penambahan pupuk organik, seperti kompos dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki struktur tanah, dan menyediakan unsur hara. Pengolahan tanah yang tepat, pengaturan drainase dan irigasi, serta rotasi tanaman dapat membantu menjaga kesuburan tanah. Pengendalian hama dan penyakit secara terpadu dapat mencegah kerusakan tanaman dan menjaga keseimbangan ekosistem tanah. Analisis tanah secara berkala dapat membantu

menentukan jenis pupuk dan pengelolaan yang tepat untuk kondisi tanah tertentu.

Kesuburan tanah merupakan faktor kunci dalam keberhasilan pertanian, mempengaruhi hasil panen dan kualitas produk. Tanah yang subur mendukung fungsi ekosistem yang sehat, termasuk siklus air, udara, dan unsur hara. Pengelolaan kesuburan tanah yang baik dapat menjaga produktivitas lahan pertanian dalam jangka panjang.

Kerusakan tanah pertanian di daerah tropis sebagian besar disebabkan oleh pemilihan dan penerapan teknologi yang salah tanpa memperhatikan kaedah Ekologi. Erosi tanah adalah suatu peristiwa yang menyebabkan lepasnya partikel-partikel tanah sebagai akibat tenaga: Angin atau salju dan pengalirannya ke daerah yang lebih rendah. Di Indonesia (Daerah tropis basah) erosi terutama disebabkan oleh daya rusak air hujan. Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah sebagian merembes ke dalam tanah, sebagian kecil menguap dan sebagian lagi mengalir di permukaan tanah menuju ke tempat yang rendah.

Proses erosi tanah yang disebabkan oleh air, meliputi tiga tahap yang terjadi dalam keadaan normal di lapang:

1. Pemecahan bongkahan tanah atau agregat ke dalam butir kecil atau partikel tanah.
2. Pengangkutan butir tanah yang kecil sampai sangat halus.
3. Pengendapan (Sedimentasi) partikel-partikel tersebut di tempat yang lebih rendah atau di dasar sungai/waduk.

## **B. Pengaruh Erosi**

Erosi menimbulkan pengaruh buruk terhadap kesuburan Fisik, Kimia, dan Biologi tanah. Erosi menyebabkan kemerosotan kesuburan fisik tanah seperti terpecahnya agregat tanah, tersumbatnya pori-pori tanah dan terganggunya sirkulasi air dan udara di dalam tanah, bila berlanjut dapat menyebabkan hilangnya *Top Soil* yang umumnya lebih subur sampai dengan lapisan bawah yang sifatnya jelek. Seiring dengan menyusutnya lapisan *Top Soil*, maka hara dan

mikroorganisme tanah juga akan terangkut. Berkurangnya mikroorganisme tanah menyebabkan berbagai hambatan dalam proses, Mineralisasi, Humifikasi, dan Amonifikasi yang akhirnya merosotkan kesuburan tanah terutama Biologi tanah. Mineralisasi pada tanah adalah proses penguraian bahan organik kompleks (seperti sisa tanaman, hewan mati, dan bahan organik lainnya) menjadi bentuk anorganik yang lebih sederhana oleh mikroorganisme tanah. Proses ini melepaskan unsur hara yang dibutuhkan tanaman, seperti N, P, dan K, serta mengubah karbon menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Mineralisasi melibatkan aktivitas mikroorganisme (bakteri, fungi, dan aktinomisetes) yang menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa organik yang lebih sederhana. Salah satu hasil utama mineralisasi adalah pelepasan unsur hara esensial bagi tanaman dalam bentuk anorganik yang dapat diserap oleh akar tanaman. Karbon dalam bahan organik juga diubah menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  melalui proses oksidasi. Mikroorganisme tanah memainkan peran kunci dalam mineralisasi dengan menghasilkan enzim yang memecah ikatan kimia dalam bahan organik. Faktor-faktor seperti suhu, kelembaban, dan ketersediaan oksigen mempengaruhi laju mineralisasi.

Mineralisasi N: Proses penguraian senyawa organik yang mengandung N (protein, asam amino) menjadi amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Mineralisasi Fosfor: Penguraian senyawa organik yang mengandung fosfor menjadi P ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) yang dapat diserap oleh tanaman. Mineralisasi Kalium: Penguraian senyawa organik yang mengandung kalium menjadi ion kalium ( $\text{K}^+$ ) yang tersedia bagi tanaman. Mineralisasi memastikan ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan. Proses ini membantu menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah dengan menyediakan nutrisi yang diperlukan. Mineralisasi merupakan bagian penting dari siklus nutrisi dalam ekosistem tanah, memastikan ketersediaan unsur hara yang berkelanjutan.

Humifikasi adalah proses alami di mana bahan organik, seperti sisa-sisa tumbuhan dan hewan, terurai dan diubah menjadi humus,

suatu komponen penting dalam tanah. Humus memberikan berbagai manfaat bagi tanah, termasuk meningkatkan kesuburan, struktur tanah, dan kemampuan menahan air. Proses ini melibatkan aktivitas mikroorganisme tanah seperti bakteri dan jamur.

Bahan organik tanah berasal dari sisa-sisa tumbuhan (daun, ranting, batang) dan hewan yang mati. Mikroorganisme tanah, seperti bakteri dan jamur, berperan penting dalam menguraikan bahan organik ini. Proses penguraian melibatkan serangkaian reaksi kimia dan biokimia yang kompleks, yang mengubah bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Humus adalah produk akhir dari proses humifikasi. Ini adalah bahan organik yang stabil, berwarna gelap, dan kaya akan nutrisi yang bermanfaat bagi tanaman.

Humus meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah (menjadikannya lebih gembur dan remah), meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan air, dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Humifikasi juga merupakan bagian penting dari siklus karbon, membantu menyimpan karbon di dalam tanah dan mengurangi emisi karbon ke atmosfer.

Amonifikasi adalah proses biokimia dalam siklus N di mana senyawa organik N diubah menjadi  $\text{NH}_3$  atau ion  $\text{NH}_4^+$  oleh mikroorganisme tanah. Proses ini penting untuk ketersediaan N bagi tanaman dan juga merupakan langkah awal dalam proses nitrifikasi. Penguraian bahan organik yang mengandung N, seperti protein, asam amino, dan urea, yang terdapat pada sisa-sisa tanaman, hewan mati, dan kotoran. Mikroorganisme seperti bakteri dan fungi berperan penting dalam proses ini menggunakan enzim untuk memecah senyawa organik tersebut dan melepaskan N dalam bentuk  $\text{NH}_3$  atau  $\text{NH}_4^+$ .  $\text{NH}_3$  adalah gas yang mudah menguap, sedangkan  $\text{NH}_4^+$  adalah ion yang bermuatan positif dan lebih stabil dalam tanah, terutama pada kondisi pH yang lebih rendah

$\text{NH}_3$  dan  $\text{NH}_4^+$  adalah bentuk N yang dapat diserap oleh tanaman melalui akar. Amonium yang terbentuk melalui amonifikasi kemudian

dapat diubah menjadi  $\text{NO}_2^-$  dan  $\text{NO}_3^-$  melalui proses nitrifikasi, yang juga dilakukan oleh mikroorganisme tanah. Suhu dan kelembaban tanah yang optimal dapat meningkatkan laju amonifikasi. Ketersediaan bahan organik yang mengandung N juga mempengaruhi laju proses ini. pH tanah dapat mempengaruhi bentuk N yang dominan.

Erosi lahan pertanian adalah pengikisan lapisan tanah atas oleh kekuatan alam seperti air dan angin, atau oleh kegiatan pertanian. Erosi ini dapat mengurangi kesuburan tanah, menurunkan hasil panen, dan bahkan menyebabkan lahan menjadi tidak produktif. Erosi juga dapat mencemari sumber air dan meningkatkan risiko banjir.

Penyebab erosi lahan pertanian: Curah hujan tinggi, aliran air permukaan yang deras, dan irigasi yang tidak tepat dapat menyebabkan erosi air. Angin kencang dapat mengikis partikel-partikel tanah, terutama pada lahan yang terbuka dan kering. Pengolahan tanah yang tidak tepat, penggunaan mesin berat, dan penanaman searah lereng dapat mempercepat erosi. Tanah yang bertekstur lempung atau pasir, serta tanah pada lahan dengan kemiringan curam, lebih rentan terhadap erosi. Kurangnya tutupan vegetasi membuat tanah lebih mudah terkikis oleh air dan angin. Dampak erosi lahan pertanian: Hilangnya lapisan tanah atas yang subur mengurangi kemampuan tanah untuk menopang pertumbuhan tanaman, sehingga menurunkan hasil panen. Erosi dapat mencemari sumber air dengan sedimen dan zat kimia, serta meningkatkan risiko banjir dan tanah longsor.

Erosi mengakibatkan pendangkalan sungai, muara sungai, saluran irigasi dan drainase serta kekurangan air pada musim kemarau.

### **Bentuk Erosi**

1. Erosi Alami adalah proses berlangsung terus-menerus dalam rangkaian tanah dan aliran tanah, serta mengatur secara alami keseimbangan kesuburan tanah untuk tumbuhnya vegetasi.

2. Erosi Dipercepat adalah proses yang menyebabkan terjadinya pengangkutan tanah yang dapat menimbulkan kerusakan tanah, sebagai akibat tindakan manusia yang mengganggu keseimbangan proses geologi.

### ***Erosi Permukaan***

Erosi permukaan, juga dikenal sebagai erosi lembaran, adalah proses terkikisnya lapisan atas tanah secara merata dari suatu permukaan oleh tenaga air atau angin. Erosi ini terjadi ketika lapisan tipis tanah terlepas dan terangkut oleh air hujan atau angin, sering kali menyebabkan hilangnya lapisan humus dan berkurangnya kesuburan tanah. Erosi ini berlangsung pada permukaan tanah, sehingga bagian yang terangkut bagian atas. Bekas erosi tanahnya akan berwarna cerah karena bahan organik telah hilang, akibatnya produktivitas tanah menjadi rendah, pengolahan tanah berakibat lebih berat dan berdampak tersembulnya akar tanaman dekat pangkal batang.

### ***Erosi Percikan***

Erosi percikan adalah jenis erosi tanah yang disebabkan oleh dampak langsung tetesan air hujan pada permukaan tanah yang gundul. Tetesan air hujan yang jatuh memecah agregat tanah, menyebabkan partikel-partikel tanah terlempar atau terpercik ke permukaan tanah. Erosi percikan merupakan tahap awal dalam proses erosi air. Proses erosi yang terjadi akibat terpecahnya butir-butir tanah oleh terpaan air hujan dan alirannya ke tempat yang lebih rendah.

### ***Erosi Parit***

Erosi parit adalah proses pengikisan tanah yang terjadi akibat aliran air yang terkonsentrasi, membentuk saluran atau parit yang lebih dalam dan lebar dibandingkan dengan erosi alur. Parit yang

terbentuk akibat erosi ini sulit dihilangkan dengan pengolahan tanah biasa dan dapat menyebabkan kerusakan lahan yang signifikan.

### ***Erosi Tebing***

Erosi tebing adalah proses terkikisnya tanah pada tebing, baik tebing sungai maupun tebing pantai, akibat berbagai faktor seperti aliran air, gelombang, atau angin. Erosi ini dapat menyebabkan perubahan bentuk tebing dan bahkan menyebabkan keruntuhan. Erosi yang terjadi pada tebing-tebing sungai yang disebabkan oleh arus sungai yang melanda tempat-tempat belokan atau tempat yang mudah hanyut.

### ***Erosi Alur***

Erosi alur adalah jenis erosi tanah yang disebabkan oleh aliran air yang terkonsentrasi, membentuk alur-alur kecil yang memanjang di permukaan tanah. Alur-alur ini terbentuk ketika air hujan mengalir dan mengikis lapisan tanah, menciptakan saluran-saluran kecil yang mudah terlihat. Sering kali terabaikan, erosi alur dapat menjadi indikasi awal terjadinya erosi yang lebih parah. Terjadi karena air terkonsentrasi dan mengalir pada tempat-tempat tertentu pada permukaan tanah. Erosi alur sering terjadi pada tanah yang sudah diolah atau tanah yang diolah menurut arah lereng.

### ***Erosi Dalam***

Erosi dalam adalah jenis erosi yang terjadi secara bertahap dan sulit terlihat secara langsung. Erosi ini terjadi ketika lapisan tanah bagian atas terkikis secara merata, sering kali akibat aliran air yang tipis dan tersebar luas, atau angin yang berhembus terus menerus. Berbeda dengan erosi yang lebih jelas seperti erosi alur atau erosi parit, erosi dalam lebih sulit dideteksi karena tidak membentuk saluran. Di bawah permukaan tanah atau bagian horizontal tanah merupakan bahaya “laten” bagi kesuburan tanah. Berlangsung

akibat proses pelarutan bahan yang lapuk bersifat rapuh dan senyawa kapur yang mudah larut.

### **Longsor**

Tanah longsor terjadi karena berpindahnya suatu masa tanah yang besar pada lereng-lereng yang curam, hal ini disebabkan oleh lapisan kedap air yang terletak di bawahnya. Longsor dapat terjadi akibat dari tiga hal: Lereng yang cukup curam. Adanya lapisan kedap air di bawah lapisan permukaan tanah. Terdapat cukup air di dalam tanah sebagai lapisan tanah di atas lapisan kedap air itu dalam keadaan jenuh air.

### **C. Teknik Budidaya**

Teknik budidaya yang salah akibat tidak memperhatikan prinsip-prinsip konservasi tanah akan menyebabkan rusaknya tanah pertanian. Teknik budidaya yang memberikan andil terhadap kerusakan tanah adalah:

1. Usaha tanaman semusim yang menetap tanpa diikuti pemupukan dan konservasi tanah dapat menyebabkan kesuburan rendah.
2. Teknik pengolahan tanah dan penanaman secara lereng dapat menyebabkan merusak kesuburan tanah.
3. Tanah yang terbuka tidak ditanam cukup lama dapat menyebabkan menurunkan kesuburan tanah.

Pengolahan tanah berlebihan (“*tillage*”) akibat pembajakan dan pencangkulan tanah secara intensif dapat merusak struktur tanah, mengurangi kandungan bahan organik, dan meningkatkan risiko erosi. Penggunaan pestisida dan herbisida kimia berlebihan dan tidak terkontrol dapat membunuh organisme tanah yang bermanfaat, mencemari tanah, dan bahkan menyebabkan resistensi hama dan gulma. Penanaman satu jenis tanaman secara terus-menerus dapat mengurangi kesuburan tanah karena hilangnya

nutrisi tertentu dan penumpukan hama dan penyakit yang spesifik untuk tanaman tersebut. Irigasi yang berlebihan atau tidak merata dapat menyebabkan salinisasi (peningkatan kadar garam) tanah dan erosi. Penggunaan pupuk kimia yang tidak seimbang dan berlebihan atau tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman dapat merusak keseimbangan unsur hara tanah dan mencemari air.

Mencegah kerusakan tanah, dengan menerapkan praktik budidaya yang berkelanjutan, seperti: Menerapkan teknik konservasi tanah seperti: terasering, “*strip cropping*”, dan penggunaan tanaman penutup tanah untuk mengurangi erosi dan meningkatkan kesuburan. Menggunakan pupuk kandang, kompos, dan pupuk hijau untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Menerapkan sistem rotasi tanaman untuk menjaga keseimbangan nutrisi tanah dan mengurangi risiko hama, penyakit dan gulma. Pengendalian Hama dan Penyakit Terpadu, dengan metode pengendalian hama, penyakit dan gulma yang ramah lingkungan, seperti agens hayati dan perangkap “feromon”, serta meminimalkan penggunaan pestisida kimia. Menggunakan teknik irigasi yang tepat, seperti irigasi tetes, untuk mengurangi pemborosan air dan mencegah salinisasi tanah. Memilih varietas tanaman yang tahan terhadap hama, penyakit dan gulma serta sesuai dengan kondisi lingkungan setempat.

Pendekatan pengendalian erosi yang dapat dilakukan yaitu: Cara Vegetasi: Usaha konservasi tanah dan air melalui: Rotasi tanaman, reboisasi, mulsa, rumput, tanaman campuran, tanaman pakan ternak. Cara Mekanis: Menggunakan teknologi sipil, tujuannya untuk mengurangi banyaknya tanah yang hilang dari lahan pertanian terutama lapisan “*top soil*” melalui pengolahan tanah yang tepat yaitu: menurut *Contour* atau memotong arah kemiringan lereng, pembuatan galangan, pembuatan waduk, penghambat, rorak, tanggul, pembuatan teras dan Sengkedan, ameliorasi, pembuatan drainase pada tempat tertentu. Teknik ini dibuat dengan menggali dan menguruk tanah secara melintang lereng untuk memperpendek

panjang lereng dan atau memperkecil kemiringannya, sehingga dapat mengurangi kecepatan aliran permukaan air dan memperbesar peluang penyerapan air oleh tanah, serta mencegah erosi. Cara Kimia: diberikan bahan kimia pemantap tanah ke dalam tanah, dilakukan dengan penyemprotan tanah langsung di atas permukaan tanah, dicampur dengan tanah secara merata, dimasukkan langsung ke dalam lubang tanam. (*Emulsibitomen, Latex, Poly-Urethane Curesol 310, Lignosuephonate, Polyvinylacetate, Polyethylene Glycol, Polyerylamide, Polycrylic Acid, Rubber Emulsion, Hydrolysed Polyacrylonitril, Poly Sachharide (Cairan). Polyvinylalcohol/PVA (Serbuk), Humus (Bahan Organik).*)

### **Terras**

Terasing atau sengkedan, adalah teknik konservasi tanah dan air yang umum digunakan di lahan miring, seperti perbukitan dan lereng, melibatkan pembuatan teras-teras atau undakan-undakan yang membentuk bidang datar sejajar dengan garis kontur, bertujuan untuk mengurangi panjang lereng, memperlambat aliran air permukaan, dan meningkatkan penyerapan air ke dalam tanah.

#### **Jenis-jenis Terasing:**

1. **Teras Datar:** Dibuat sejajar dengan kontur tanah, cocok untuk lahan dengan kemiringan sedang.
2. **Teras Kredit:** Dibuat dengan sedikit kemiringan ke arah dalam, membantu mengarahkan air ke saluran pembuangan.
3. **Teras Guludan:** Dilengkapi dengan guludan atau tanggul di bagian tepinya untuk menahan air.
4. **Teras Bangku:** Dibuat dengan kemiringan yang lebih curam, biasanya digunakan untuk lahan dengan kemiringan yang sangat curam.

Untuk meningkatkan kesuburan tanah secara alami, beberapa cara yang bisa dilakukan adalah dengan menambahkan bahan

organik seperti kompos dan pupuk kandang, melakukan rotasi tanaman, menggunakan pupuk hijau, mengendalikan gulma, menjaga kelembaban tanah, dan memperhatikan pH tanah. Penambahan bahan organik yang terurai seperti sisa tanaman, daun, dan sampah dapur dapat diolah menjadi kompos yang kaya akan nutrisi dan membantu meningkatkan struktur tanah. Pupuk kandang yang sudah matang merupakan sumber bahan organik yang baik. Tanaman penutup tanah seperti kacang-kacangan dapat ditanam dan kemudian diolah menjadi pupuk hijau, dapat meningkatkan kadar N dalam tanah. Melakukan rotasi tanaman dengan jenis tanaman yang berbeda setiap musimnya dapat membantu mencegah kelelahan tanah dan menjaga keseimbangan nutrisi. Menanam tanaman yang berbeda dapat membantu memutus siklus hama dan penyakit tanaman.

Pengendalian gulma secara alami dapat dilakukan dengan penyiang manual atau menggunakan mulsa organik. Sistem drainase yang baik penting untuk mencegah tanah tergenang air, yang dapat menyebabkan pembusukan akar. Penyiraman yang teratur membantu menjaga kelembaban tanah dan ketersediaan air bagi tanaman. pH tanah yang terlalu asam atau basa dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Penggunaan kapur pertanian dapat membantu menetralkan pH tanah yang asam. Pengujian tanah secara berkala dapat membantu mengetahui tingkat pH dan kandungan nutrisi tanah. Meningkatkan populasi organisme tanah seperti cacing tanah, bakteri, dan jamur bermanfaat dalam menguraikan bahan organik dan meningkatkan kesuburan tanah. Cacing tanah berperan penting dalam penguraian bahan organik di dalam tanah. Memakan sisa-sisa tanaman, daun-daun mati, dan bahan organik lainnya, lalu mencernanya dan mengeluarkannya dalam bentuk kotoran yang disebut *kascing* (“*vermikompos*”) yang kaya akan nutrisi dan membantu meningkatkan kesuburan tanah.

Cacing tanah memakan bahan organik dan mencernanya di dalam tubuh. Hasil pencernaan cacing tanah berupa kascing, yang merupakan pupuk organik kaya nutrisi. Kascing cacing tanah membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan tanah menyimpan air dan udara, serta menyediakan nutrisi bagi tanaman. Cacing tanah menggali terowongan di dalam tanah, yang memudahkan sirkulasi udara dan air, penting untuk pertumbuhan akar tanaman. Kehadiran cacing tanah yang banyak dapat menjadi indikator bahwa tanah sehat dan subur. Spesies cacing tanah yang umum dibudidayakan untuk pengomposan adalah *Eisenia foetida Savigny*. dan *Lumbricus rubellus*.NODC.

Bakteri pengurai sampah organik adalah mikroorganisme yang berperan dalam proses dekomposisi atau penguraian bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan nutrisi memainkan peran penting dalam siklus nutrisi dan menjaga keseimbangan ekosistem.

Bakteri pengurai sampah organik yang umum ditemukan antara lain: Bakteri Aerob: Membutuhkan O<sub>2</sub> untuk hidup dan berkembang, Menguraikan bahan organik dengan cepat dan efisien, menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Contoh: *Bacillus subtilis Ehrenberg*., *Pseudomonas*. Bakteri Anaerob: Tidak membutuhkan oksigen untuk hidup, Menguraikan bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen, menghasilkan gas metana dan karbon dioksida. Contoh: *Clostridium*, *Methanobacterium*, *Actinomycetes*: Bakteri yang memecah bahan organik yang tebal dan tahan lama. *Enterobacter sp Hormaeche & Edwards*.: Bakteri yang umum ditemukan dalam pengomposan. *Lactobacillus spp Beijerick*.: Bakteri yang berperan dalam fermentasi dan penguraian bahan organik. *Escherichia coli Mig*.: Bakteri yang dapat hidup dalam kondisi aerob dan anaerob. Fungi juga berperan penting dalam penguraian bahan organik. Peran bakteri pengurai; Mengurangi volume sampah organik, Mempercepat proses penguraian, Mengurangi bau tidak sedap dari sampah, Meningkatkan kualitas

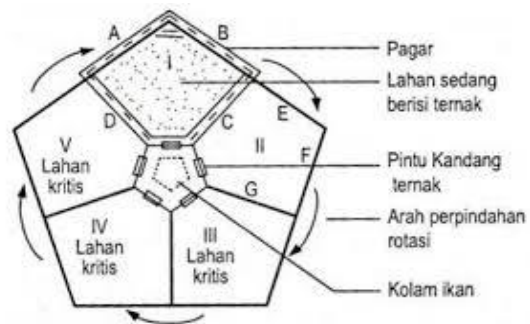
tanah, Mempercepat proses pembuatan kompos. Membersihkan *Septic tank*.

Jamur pengurai bahan organik, dikenal sebagai “*saprotroph*” atau dekomposer, adalah organisme yang mendapatkan nutrisi dari penguraian bahan organik mati seperti daun-daun gugur, kayu mati, dan sisa-sisa hewan. Berperan penting dalam ekosistem dengan mendaur ulang nutrisi kembali ke tanah dan lingkungan. Jamur saprofit menguraikan bahan organik tak hidup seperti sisa tanaman dan hewan, membantu dalam proses mineralisasi tanah dan siklus karbon. Banyak jamur, terutama dari *ordo Polyporales*, menguraikan kayu mati, baik yang masih berdiri maupun yang sudah tumbang, dan berperan penting dalam kesehatan ekosistem hutan. Jamur dapat menguraikan “lignin” dan “selulosa”, komponen utama kayu dan bahan tanaman, yang sulit diuraikan oleh organisme lain. Melalui penguraian, jamur melepaskan nutrisi yang terperangkap dalam bahan organik, membuatnya tersedia untuk tanaman dan organisme lain dalam ekosistem. Contoh jamur pengurai, *Auricularia auricula* (Fr.) J. Schröt.: Tumbuh pada kayu mati dan berperan dalam penguraian bahan organik di hutan. *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler.: Menguraikan jaringan tumbuhan dan hewan yang mati, mendaur ulang nutrisi kembali ke lingkungan. *Pilobolus sp* Turril.: Menguraikan kotoran hewan. *Aspergillus sp* Michell.: Menguraikan sampah. *Mucor sp* Fresen.: Menguraikan kotoran hewan. *Lycoperdon perlatum* Pers.: Menguraikan sisa tanaman. Jamur *Mikoriza sp* Marschner.: Berhubungan erat dengan akar tanaman dan membantu dalam penguraian bahan organik di tanah. Peran Jamur dalam Ekosistem: Jamur membantu mengembalikan nutrisi dari bahan organik mati ke tanah, menjaga kesuburan tanah dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Jamur membantu membersihkan lingkungan dari bahan organik yang membusuk, mencegah penumpukan sampah organik. Jamur berperan dalam penyimpanan karbon dalam tanah, membantu mengurangi dampak perubahan iklim.

Organisme tanah membantu dalam memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan ketersediaan nutrisi. Mulsa, seperti daun kering atau bahan organik lainnya, dapat membantu menjaga kelembaban tanah, menekan pertumbuhan gulma, dan memberikan nutrisi tambahan saat terurai. Sistem pertanian yang mengaitkan berbagai disiplin ilmu, yang mendukung terlaksananya Agroekologi yang mantap. Pendekatan pertanian yang menggabungkan berbagai komponen pertanian seperti: tanaman, ternak, perikanan, dan kehutanan dalam satu kesatuan yang saling berinteraksi dan mendukung. Meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, memaksimalkan hasil produksi, dan menciptakan pertanian yang berkelanjutan. Sistem ini menggabungkan berbagai kegiatan pertanian seperti: tanaman pangan, peternakan, perikanan, dan bahkan kehutanan dalam satu lahan atau wilayah. Berbagai komponen terjadi interaksi yang saling menguntungkan. Limbah ternak dapat diolah menjadi pupuk untuk tanaman, atau sisa pakan ternak dapat dimanfaatkan sebagai Memanfaatkan limbah dan sumber daya secara optimal, dapat mengurangi ketergantungan pada *input* eksternal seperti pupuk kimia dan pakan ternak pabrikan, sehingga biaya produksi dapat ditekan.

Sistem pertanian terpadu “*roundres*”, seperti di lahan kering. Sub-sistem tanaman pangan, perkebunan, perikanan dan peternakan. Model ini mirip dengan permainan *Rounders*, seperti terlukis pada Gambar 2 berikut. Pembukaan lahan kritis (Padang alang-alang) dibuat bersegi lima bagian yang masing-masing bagian merupakan kelompok. Di tengah lahan dibuat kolam Ikan dan di atasnya dibangun kandang peliharaan (*Gallus gallus domesticus* L.; *Capra aegagrus hircus* L.). Tahun I, pemagaran kelompok I, fungsi tempat berkeliarannya ternak dan penggalian lubang tanam untuk tanaman keras. Tahun II, bekas kotoran ternak digunakan untuk tanaman pangan atau tanaman keras. Pagar kelompok I dipindah ke kelompok II, kandang ternak tetap di tengah dan dibuat pintu (I, II sampai dengan V). (Kotoran ternak setiap tahun diangkat atau diambil). Selanjutnya

kelompok III, IV, V sama seperti cara kelompok I dan II (Dalam waktu 5 tahun seluruh lahan telah terpakai).



**Gambar 2. Sistem Pertanian “Rounders”**

**Keterangan :**

Usaha dan aktifitas kerja dalam Rotasi.

A pindah ke F, B pindah ke E, D pindah ke G.

I, II, III, IV, dan V = Kelompok.

## SIKLUS DAN ADAPTASI

### A. Siklus Pertukaran

Siklus BioGeoKimia, atau juga disebut siklus organik-anorganik, adalah aliran unsur-unsur atau senyawa kimia dari komponen abiotik (tanah, air, udara) ke komponen biotik (organisme hidup) dan kembali lagi ke komponen abiotik. Siklus melibatkan reaksi-reaksi kimia dalam lingkungan abiotik dan proses biologis dalam organisme hidup. Siklus pertukaran atau perubahan yang berlangsung secara terus menerus dari bahan-bahan antara komponen Biosfir yang hidup dan tak hidup. Siklus pertukaran hara, juga dikenal sebagai daur ulang ekologis, adalah proses perpindahan dan pertukaran materi organik dan anorganik kembali ke produksi materi dalam suatu ekosistem. Nutrisi bergerak dalam siklus, berbeda dengan aliran energi yang bersifat searah dan nonsiklik. Tanaman, melalui akar, menyerap nutrisi dari tanah, sementara bagian tanaman yang mati seperti daun, ranting, dan akar, serta eksudat akar, memberikan masukan bahan organik ke tanah. Unsur hara dalam tanah tersedia dalam berbagai bentuk, termasuk yang terlarut dalam air tanah dan yang terikat pada partikel tanah.

Nitrogen adalah bagian terpenting bagi tumbuh-tumbuhan sebagai pembentuk protein. Udara merupakan cadangan N utama dalam siklus N, karena di udara terdapat sekitar 78%, akan tetapi tidak dapat dimanfaatkan secara langsung, oleh karena itu harus dikonversikan ke dalam bentuk  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  atau  $\text{NH}_4^+$ . Konversi dilakukan oleh bakteri atau ganggang biru hijau, protein tumbuh-tumbuhan digunakan oleh binatang, juga akan diakumulasikan dalam tubuhnya berupa protein hewani dan setelah tumbuhan dan binatang mati atau bagian dari sisa-sisa protein masuk ke dalam tanah dengan proses *Amonifikasi* akan membentuk  $\text{NH}_3$ .

Amonia juga dapat berasal dari proses Vulkanik,  $\text{NH}_3$  dengan proses *Nitrifikasi* akan berbentuk  $\text{NO}_2^-$  dan berlanjut menjadi  $\text{NO}_3^-$ . Nitrat merupakan persenyawaan yang dapat diambil oleh tumbuh-tumbuhan, akan terjadi perombakan dengan proses *Denitrifikasi*, sehingga terbentuk kembali dan N kembali lagi ke atmosfer.

Nitrifikasi adalah proses biokimia yang terjadi secara alami, di mana bakteri mengubah  $\text{NH}_3$  menjadi  $\text{NO}_2^-$  dan kemudian menjadi  $\text{NO}_3^-$ . Proses ini penting dalam siklus nitrogen dan pengolahan air limbah. Nitrifikasi melibatkan dua tahap utama yang dikatalisis oleh bakteri nitrifikasi: Oksidasi  $\text{NH}_3$  ke  $\text{NO}_2^-$ . Bakteri seperti *Nitrosomonas* mengubah  $\text{NH}_3$  menjadi  $\text{NO}_2^-$ . Oksidasi  $\text{NO}_2^-$  ke  $\text{NO}_3^-$ . Bakteri seperti *Nitrobacter* mengubah  $\text{NO}_2^-$  menjadi  $\text{NO}_3^-$ .

Nitrifikasi memiliki peran penting dalam siklus  $\text{NO}_3^-$  yang dihasilkan dari nitrifikasi dapat diserap oleh tanaman sebagai nutrisi. Nitrifikasi membantu mengurangi kadar  $\text{NH}_3$  dalam air limbah, yang dapat beracun bagi kehidupan air dan menyebabkan eutrofikasi. Proses aerobik, sehingga membutuhkan oksigen. pH optimal untuk nitrifikasi umumnya antara 7-8. Bakteri nitrifikasi memiliki suhu optimal untuk pertumbuhan dan aktivitas. Ketersediaan nutrisi  $\text{CO}_2$  dan P juga mempengaruhi laju nitrifikasi. Beberapa senyawa kimia dapat menghambat proses nitrifikasi.

Amonifikasi adalah proses biologis yang mengubah nitrogen organik (dari sisa-sisa makhluk hidup, seperti protein dan asam amino) menjadi  $\text{NH}_3$  atau  $\text{NH}_4^+$ . Proses ini penting dalam siklus N, di mana mikroorganisme, terutama bakteri, menguraikan bahan organik dan melepaskan nitrogen dalam bentuk yang dapat digunakan kembali oleh tumbuhan. Amonifikasi adalah salah satu tahap kunci dalam siklus N, sebuah proses alami yang mengatur pergerakan N antara atmosfer, tanah, dan organisme hidup. Bakteri dan beberapa jenis jamur adalah agen utama dalam amonifikasi. Melepaskan enzim yang memecah senyawa  $\text{N}_2\text{O}$  menjadi  $\text{NH}_3$ .

Ketika tumbuhan atau hewan mati, sisa-sisa organik terurai oleh mikroorganisme. Proses ini melepaskan nitrogen dalam bentuk

amonias, yang kemudian dapat diserap kembali oleh tanaman. Amonifikasi memastikan bahwa N, yang merupakan unsur penting bagi kehidupan, dapat didaur ulang dan tersedia bagi organisme lain untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Denitrifikasi adalah proses biokimia di mana bakteri mereduksi nitrat menjadi gas nitrogen, yang kemudian dilepaskan ke atmosfer. Proses ini terjadi dalam kondisi anaerobik dan merupakan bagian penting dari siklus nitrogen. Lebih detail: Denitrifikasi melibatkan reduksi  $\text{NO}_3^-$  menjadi gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) oleh bakteri denitrifikasi. Dalam beberapa kasus, gas  $\text{N}_2\text{O}$  dapat terbentuk sebagai produk sampingan, proses ini membutuhkan kondisi tanpa oksigen untuk berlangsung. Bakteri denitrifikasi menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron alternatif dalam respirasi. Jenis bakteri yang berperan dalam proses denitrifikasi adalah *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paracoccus*, dan *Thiobacillus*. Denitrifikasi adalah bagian penting dari siklus N, membantu menjaga keseimbangan N di bumi. Proses ini mengembalikan N ke atmosfer setelah tersedia dalam bentuk  $\text{NO}_3^-$  di tanah atau air. Manfaatnya mencegah penumpukan  $\text{NO}_3^-$  yang berlebihan di tanah dan air, yang dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti "eutrofikasi" (peningkatan nutrisi yang berlebihan pada badan air). Memulihkan N ke atmosfer, memastikan ketersediaan N untuk organisme lain yang membutuhkan.

Nitrogen di atmosfer dapat kembali ke dalam tanah dengan proses fiksasi (Penambatan) listrik oleh hujan. Pupuk N dalam bentuk  $\text{NH}_4^+$  lebih sesuai digunakan untuk tanaman Padi dan untuk tanaman pohon, jika di dalam tanah dan lebih cenderung untuk diikat pada kompleks absorpsi. Dalam keadaan tanah berdrainase baik segera diubah menjadi  $\text{NO}_3^-$ , lebih peka terhadap pencucian dan bila kondisi drainase buruk ini direduksi dan dengan mudah hilang ke udara. Nitrogen dalam bentuk *Amida* pada umumnya terdapat pada: Urea, bentuk ini mudah larut dalam air, dalam tanah umumnya *Amida* segera diubah menjadi bentuk *Amonium karbonat* dan kemudian menjadi *Amoniak*. Perubahan biasanya

membutuhkan waktu dua sampai tiga hari maka Nitrogen mudah hilang dan tercuci (Sifat). Pemberian Urea yang terlalu banyak atau terlalu dekat dengan bagian akar atau bibit akan menjadi layu atau mati karena terjadinya *Plasmolisis*.

*Plasmolisis* adalah peristiwa terlepasnya protoplasma (bagian dalam sel yang hidup) dari dinding sel pada tumbuhan, yang disebabkan oleh hilangnya air dari sel akibat berada dalam lingkungan dengan konsentrasi zat terlarut yang tinggi (“*hipertonik*”). Sel mengalami dehidrasi dan sitoplasma menyusut, menjauhi dinding sel. *Plasmolisis* terjadi ketika sel tumbuhan ditempatkan dalam larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut lebih tinggi daripada cairan di dalam sel. Perbedaan konsentrasi, air akan keluar dari sel melalui proses osmosis untuk mencoba menyeimbangkan konsentrasi di dalam dan di luar sel. Keluarnya air menyebabkan sitoplasma menyusut dan terlepas dari dinding sel yang kaku. *Plasmolisis* dapat menyebabkan tumbuhan layu karena hilangnya tekanan turgor (tekanan yang mendorong cairan ke dinding sel). Jika sel yang terplasmolisis ditempatkan kembali dalam larutan yang lebih encer, air akan masuk kembali ke dalam sel, dan sitoplasma dapat kembali ke bentuk semula (*Deplasmolisis*).

### ***Siklus Kalsium***

Senyawa Kalsium sangat umum ditemukan dalam batuan bumi, beberapa dari senyawa ini mudah larut sehingga Kalsium juga terdapat dalam air. Organisme mengambil senyawa Kalsium yang larut ini pada waktu air masuk ke dalam tubuhnya misalnya pada saat minum. Tumbuhan dapat menyerap senyawa Kalsium dari tanah. Kalsium dalam tanah dapat berpindah-pindah dari konsumen tingkat I kemudian konsumen tingkat II. Setiap tahap Kalsium dapat dikembalikan ke tanah atau air oleh *Saprovora*. *Saprovora*, atau saprotrof, adalah organisme yang mendapatkan energi dari bahan organik yang mati dan membusuk. Istilah ini sering digunakan untuk menggambarkan bakteri dan jamur yang

berperan penting dalam penguraian materi organik dan siklus nutrisi dalam ekosistem. Menguraikan sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang mati, melepaskan nutrisi yang kemudian dapat diserap oleh organisme lain, termasuk tumbuhan. Dalam rantai makanan, saprovor berperan sebagai pengurai ("*decomposer*"). Tidak memakan organisme hidup seperti herbivora atau karnivora, melainkan mengonsumsi bahan organik yang sudah mati. Proses penguraian ini sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem, karena mengembalikan nutrisi ke tanah dan lingkungan.

Jenis bakteri yang bersifat saprotrof, membantu dalam penguraian bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Jamur, terutama jamur saprofit, juga berperan penting dalam penguraian bahan organik, termasuk kayu, daun, dan sisa-sisa hewan. Beberapa jenis hewan, seperti kumbang dan cacing tanah, juga memakan bahan organik yang membusuk, membantu dalam proses dekomposisi.

### ***Siklus Hidrologi***

Jumlah air yang meninggalkan permukaan tanah dan badan air dalam bentuk uap, pada waktu tertentu selalu sama dengan jumlah air yang turun dari atmosfer dalam bentuk *Presipitasi*. Air yang jatuh ke permukaan tanah, sebagian mengalir di permukaan tanah ("*run off*") menuju sungai atau danau dan laut, sebagian lagi akan merembes ke dalam tanah yang disebut *Infiltrasi*. Air *Infiltrasi* bergerak terus ke lapisan tanah yang lebih dalam dan kemudian berkumpul menjadi air tanah bebas ("*ground water*"). Aliran air tanah ("*interflow*") bergerak dalam *Akuifer* menuju sungai, danau dan laut. Dalam perjalanan dari atmosfer ke permukaan tanah, sungai, danau, laut maupun ke dalam tanah air dapat berubah wujud yaitu: Cair, padat, dan gas yang dikontrol oleh suhu.

### ***Siklus Karbon dan Oksigen***

Karbon tersimpan alam bentuk molekul  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$ . Karbon diikat tanaman dalam proses fotosintesa dan dihasilkan bahan

organik, bila bahan tersebut dioksidasi akan menghasilkan kembali CO<sub>2</sub>, dari proses fotosintesa di atas selalu dihasilkan bahan organik juga dihasilkan O<sub>2</sub>. Bahan organik hasil fotosintesa berpindah ke herbivora dan pemangsa (*Carnivora*) dan kembali ke cadangan melalui respirasi dan kegiatan bakteri. Sisa bahan organik yang tidak lapuk melalui proses geologi akan membentuk Gambut, Batu bara dan minyak bumi. Gambut dan batu bara mengandung Karbon terikat, yang besar kandungannya tergantung pada tingkat pelapukan. Bahan tambang ini akan menghasilkan Karbon ke udara bebas setelah dibakar.

### **Siklus Fosfor**

Fosfor sangat penting bagi tumbuh-tumbuhan bertindak sebagai penyusun protoplasma, dibutuhkan dalam proses fotosintesa, dalam pembentukan ATP pada Fotofosforilasi dan fosforilasi oksidatif. Unsur fosfor diabsorpsi tanaman dalam bentuk H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Pirofosfat, Metafosfat, Fosfor organik. Cadangan P: batuan Fosfat, air dan Quano, batuan P terlarut dalam air, sebagian hilang ke badan air dan sebagian lagi diabsorpsi tanaman. Tanaman yang dimakan hewan merupakan sumber P, bila hewan tersebut mati dimanfaatkan bakteri dalam proses pelapukan.

Fungsi Siklus Biogeokimia untuk menjaga dan memastikan ketersediaan unsur-unsur penting bagi kehidupan dan menjaga keseimbangan komponen biotik dan abiotik dalam ekosistem. Tanpa siklus biogeokimia, unsur-unsur seperti: C, N, dan P, tidak akan tersedia dalam bentuk yang dapat digunakan oleh makhluk hidup sehingga kehidupan di bumi akan terancam. Membantu dalam menjaga kualitas air, tanah, dan udara dengan memproses limbah dan menjaga keseimbangan unsur-unsur kimia.

Penerapan Siklus Biogeokimia: Tumbuhan menggunakan karbon dioksida dari atmosfer dan air dari tanah untuk menghasilkan makanan dan oksigen, melepaskan oksigen ke atmosfer. Makhluk hidup, termasuk tumbuhan dan hewan, melepaskan karbon dioksida

ke atmosfer melalui proses respirasi. Bakteri dan jamur pengurai menguraikan bahan organik mati, melepaskan unsur-unsur kimia kembali ke tanah dan air. Air bergerak melalui berbagai siklus seperti penguapan, kondensasi, dan presipitasi, membawa unsur-unsur kimia dari satu tempat ke tempat lain.

## **B. Adaptasi Tanaman**

Adaptasi tanaman adalah kemampuan tumbuhan untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya untuk bertahan hidup. Adaptasi ini bisa berupa perubahan fisik, fisiologis, atau perilaku. Lingkungan alami suatu tanaman adalah dinamis dan selalu berubah, hal tersebut kompleks dan sulit untuk dipahami. Kecepatan perubahan intensitas dan lamanya waktu serta nilai-nilai ekstrim merupakan aspek penting dari lingkungan.

### ***Teori Adaptasi***

Suatu organisme akan mengadakan reaksi terhadap pertumbuhan alam lingkungan yang diterimanya. Usaha untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan disebut: Adaptasi. Dalam rangka menyesuaikan diri tersebut, biasanya terjadi perubahan dalam kegiatan fisiologi dan dapat dilihat pada penyesuaian organ-organnya untuk kelangsungan proses metabolisme. Contohnya: Tanaman memanjat, akan mengubah dan menyesuaikan bentuk dan organnya seperti: Batang, akar dan daun-daun untuk memperoleh radiasi matahari lebih banyak akibatnya tanaman tersebut mencari tempat-tempat yang terbuka atau lebih tinggi dengan jalan memanjat atau melingkar pada apa saja yang memungkinkan. Terkait dengan adaptasi dikenal 2 (dua) faham yaitu: *Faham Teleologi* berpendapat bahwa adaptasi individu untuk menghadapi perubahan yang timbul akan mengubah struktur dan bentuknya tanpa memperhatikan faktor genotifnya. *Faham Antropomorfisme* berpendapat bahwa adaptasi pada

makhluk bukan manusia, seakan-akan mengambil sifat-sifat manusia.

Ada dua alternatif yang dapat dilakukan agar dalam pemindahan tanaman dari suatu daerah lain agar menjadi sukses yaitu: Mencari tanaman yang mempunyai toleransi sesuai dengan batas iklim dan tanah atau ekosistem di tempat mana tanaman itu ingin dikembangkan. Mengusahakan di tempat baru, adanya ekosistem yang sesuai dengan tempat asalnya.

Pada prinsipnya ada tiga tahap adaptasi tanaman yang dipindahkan ke tempat lain dari pusat asalnya, tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tahap *Aklimatisasi*, tanaman bergulat untuk dapat hidup di tempat baru dengan mengubah kemampuan fisiologi atau morfologi dalam menyesuaikan diri dengan faktor lingkungan dan faktor iklim. Setelah hal ini dicapai tanaman akan masuk ke dalam tahap kedua.
2. Tahap *Naturalisasi*, tanaman mampu menyesuaikan diri dengan faktor keliling dan berusaha lagi untuk menyempurnakan proses fisiologi ke arah kegiatan reproduksi. Tanaman sudah dapat berbuah, berbunga, berbiji dan hanya saja biji yang dihasilkan belum dapat tumbuh membentuk individu baru sebagai turunan.
3. Tahap *Domestikasi* adalah tahapan yang terakhir dari proses adaptasi tanaman telah sangat serasi dengan lingkungannya yang baru dan dapat memenuhi siklus hidupnya. Benih yang dihasilkan telah dapat dipergunakan memperbanyak dan mengembangkan keturunan.

Adaptasi tanaman adalah kemampuan tumbuhan untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya untuk bertahan hidup dan berkembang biak. Adaptasi ini bisa berupa perubahan fisik (morfologi), fisiologis, maupun perilaku.

1. Adaptasi tanaman dibagi menjadi dua yaitu: Adaptasi Morfologi yaitu: Kemampuan tanaman dalam menyesuaikan diri dengan keadaan lingkungan untuk mengadakan perubahan bentuk luarnya seperti: Bentuk kanopi, batang, jumlah pembuluh, susunan jaringan dan lain-lain.
2. Adaptasi Fisiologi yaitu: Kemampuan tanaman dalam menyesuaikan diri dengan keadaan lingkungan untuk mengadakan perubahan ke arah ketahanan pada lingkungan yang kritis sehingga dapat melampaui batas maksimal dan minimal toleransinya. Ketahanan tersebut terhadap hama dan penyakit, kekeringan dan sebagainya. Menyangkut proses fisiologi yaitu absorpsi, mineral hara, aktivitas enzim, pembatasan transpirasi, efisiensi asimilasi dan respirasi. Adaptasi tanaman merupakan proses yang kompleks dan penting untuk kelangsungan hidup tumbuhan di berbagai lingkungan. Dengan beradaptasi, tumbuhan dapat bertahan hidup, berkembang biak, dan menjaga keseimbangan ekosistem.

### C. Penggolongan Tanaman

1. *Hidrofit*: Tumbuhan yang dalam kehidupannya menghendaki lingkungan yang sangat basah dan berair. Ke dalam kategori ini ada dua jenis yaitu: *Aquatic plant*, dan *Bag plant*. Cirinya jaringan bunga karang, stomata banyak sekali pada atas daun, umumnya tidak mempunyai bulu akar.
2. *Mesofit*: Tumbuhan umumnya tumbuh di atas tanah. Cirinya tumbuh di darat, Stomata di bawah permukaan daun, rambut akar banyak dan panjang, volume akar maksimal pada puncak pertumbuhan.
3. *Xerofit*: Tumbuhan yang dapat hidup pada keadaan kering yang panjang dan lama, tanpa mengalami kerusakan. Cirinya ada peralatan fisiologis yang dapat menyimpan air pada saat ada hujan untuk persediaan pada masa-masa kering, memiliki akar yang panjang, sejauh 39 m (Mempunyai tekanan osmotik

yang sangat tinggi). Berdasarkan intensitas cahaya maka tumbuhan dapat diklasifikasikan atas dua golongan besar, *Sciophytes* yaitu: Tumbuh-tumbuhan yang tidak tahan terhadap intensitas cahaya yang tinggi dan lebih senang dengan keadaan yang terlindung. *Holiophytes* yaitu: Tumbuh-tumbuhan yang senang pada intensitas cahaya matahari yang tinggi.

Tanaman semusim adalah tanaman yang menyelesaikan seluruh siklus hidupnya dalam satu musim tanam, dan kemudian mati. Beberapa contoh tanaman semusim adalah: *Zea mays* L., *Oryza sativa* L., *Vigna radiata* L., *Arachis hypogaea* L., *Vigna unguiculata* L. Verdc. ), *Capsicum annuum* L. , *Solanum lycopersicum* L. , *Solanum melongena* L., *Brassica rapa* L., *Amaranthus dubius* L., *Brassica oleracea* L., *Solanum tuberosum* L. *Daucus carota* (Hoffm.) Schübl. & G. Marten.

Tanaman tahunan adalah tanaman yang mampu hidup lebih dari dua tahun dan tidak perlu ditanam ulang setiap tahun. Tanaman tahunan berbeda dengan tanaman semusim yang mati setelah satu musim. Contoh tanaman tahunan seperti: *Elaeis guineensis* Jacq., *Carica papaya* L., *Hevea brasiliensis* Mull. Arg, *Cocos nucifera* L, dan berbagai tanaman perkebunan lainnya. Tanaman hortikultura adalah tanaman yang dibudidayakan di kebun atau pekarangan, meliputi sayuran, buah-buahan, tanaman hias, dan tanaman obat-obatan. Hortikultura berasal dari bahasa Latin, "hortus" (kebun) dan "colere" (membudidayakan). Tanaman ini memiliki peran penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan, estetika, dan kesehatan masyarakat. Siklus hidup tanaman adalah rangkaian tahap yang dilalui tanaman mulai dari perkecambahan biji hingga menjadi dewasa dan bereproduksi, lalu kembali lagi ke tahap awal, yaitu penyebaran biji yang akan memulai siklus baru. Secara umum, siklus hidup tanaman melibatkan beberapa tahap utama: perkecambahan, pertumbuhan, pembungaan, reproduksi, dan penyebaran biji.

Tahapan dalam siklus hidup tanaman: Biji yang ditanam di tanah yang lembab dan hangat mulai tumbuh. Akar muncul dan menyerap air dan nutrisi, sementara tunas tumbuh ke atas, menuju cahaya matahari. Tanaman muda terus tumbuh, membentuk batang, daun, dan sistem akar yang lebih kuat. Daun melakukan fotosintesis untuk menghasilkan energi bagi tanaman. Setelah mencapai kedewasaan, beberapa jenis tanaman akan mulai berbunga. Organ reproduksi tanaman yang menghasilkan serbuk sari dan kepala putik terjadi, yang kemudian diikuti dengan pembuahan dan pembentukan biji di dalam buah.

# BAHAN TANAM

## A. Asal Bahan

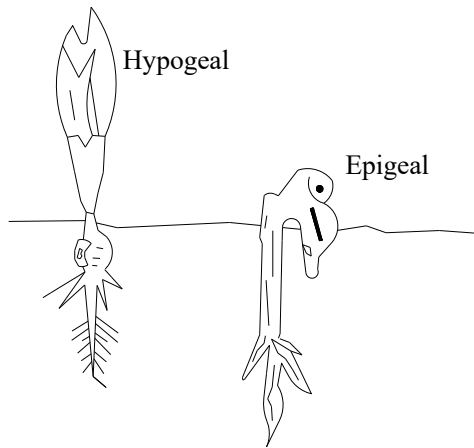
Bahan tanam adalah bagian dari tanaman yang digunakan untuk memperbanyak tanaman, baik secara generatif maupun vegetatif. Bahan tanam yang baik harus berasal dari tanaman induk yang sehat dan memiliki potensi produksi tinggi. Bahan tanam yang berkualitas tinggi merupakan awal dari keberhasilan suatu proses produksi pertanian. Bahan tanam berasal dari perbanyakan Generatif (*Sexual*) dan perbanyakan Vegetatif (*Asexual*)

Perbanyakan secara Generatif didahului oleh peristiwa penyerbukan. Penyerbukan terjadi dengan dua cara yaitu:

1. Penyerbukan *Sendiri* adalah pemindahan serbuk sari dari kepala sari (*Anther*) ke kepala putik (*Stigma*) dalam bunga yang sama atau pada bunga yang lain dalam pohon yang sama.
2. Penyerbukan *Silang* adalah pemindahan serbuk sari dari *Anther* ke *Stigma* dari satu bunga ke bunga yang lain pada pohon yang lain.

Proses selanjutnya setelah terjadi penyerbukan adalah pembuahan. Penguatan menghasilkan biji yang selanjutnya mengalami perkembangan pada tahap perkecambahan. Tahap perkecambahan merupakan aktivitas pertumbuhan yang sangat singkat pada suatu embrio menjadi tanaman muda. Setelah tanaman muda tahap selanjutnya adalah Fase "*juvenil*", yang merupakan tahapan berikutnya, setelah fase perkecambahan terlalui di dalam daur hidup tanaman. Suatu bahan tanam mempunyai kemampuan berkecambah, adapun tipe perkecambahan seperti pada Gambar 3 berikut ini. Tipe *Hypogeal*, dimana koteledon (Kulit kecambah) dan bagian yang tersisa dari benih tetap tertinggal di dalam tanah sewaktu

daun pertama muncul dari koleoptil. Contoh: *Zea mays* L. Tipe *Epigeal*, dimana koteledon muncul keatas permukaan tanah dan berkembang menyerupai daun yang mengandung *Clorofil*. Contoh: *Phaseolus vulgaris* L. dan *Beta vulgaris* L.



**Gambar 3. Tipe Perkecambahan**

### **B. Perbanyak Vegetatif (Asexual)**

Pembiakan Vegetatif atau yang lebih dikenal dengan pembiakan tidak kawin berlangsung dengan cara pelepasan organ vegetatif dari tumbuhan induknya, yang kemudian tumbuh menjadi individu baru. *Asexual* berlangsung tanpa perubahan kromosom, sehingga sifat yang diturunkan sama persis dengan sifat induknya. Perbanyak Vegetatif diantaranya dengan cara: Okulasi ("budding"). Okulasi adalah teknik perbanyak tanaman dengan cara menggabungkan mata tunas dari satu tanaman ke batang tanaman lain. Cangkok ("layering"). Cangkok: adalah metode perbanyak tanaman dengan cara membuat sayatan pada batang atau cabang tanaman induk, lalu bagian yang disayat dibungkus dengan media tanam (seperti tanah atau sabut kelapa) dan ditutup rapat dengan plastik atau bahan lain untuk merangsang pertumbuhan akar.

Setelah akar tumbuh cukup kuat, bagian tanaman yang dicangkok dipisahkan dari induknya dan ditanam di media tanam baru. Stek ("cutting"), Stek adalah metode perbanyakan tanaman dengan menggunakan potongan bagian tanaman seperti batang, daun, akar untuk ditanam dan tumbuh menjadi tanaman baru dengan mempertahankan sifat-sifat unggul dari tanaman induknya. Sambung ("grafting"), Penyambungan adalah teknik pada tanaman di mana dua bagian tanaman yang berbeda, yaitu batang atas ("entres") dan batang bawah ("stok"), digabungkan sehingga tumbuh menjadi satu tanaman utuh dengan sifat yang merupakan kombinasi dari keduanya.

Keuntungan jika memperbanyak tanaman dengan cara vegetatif antara lain: Dapat diperoleh tanaman baru yang mempunyai sifat persis sama dengan induknya. Waktu berbuah lebih cepat karena masa "juvenil" terlewati. Memungkinkan perubahan sifat tumbuh. Memungkinkan penggabungan dua sifat yang berbeda melalui Okulasi dan Sambung.

Kelemahan jika memperbanyak dengan cara vegetatif, antara lain: Sering mengandung penyakit yang berasal dari induknya. Sistem perakaran kurang kuat (Tidak ada akar tunjang). Tidak tahan simpan lama. Membutuhkan tempat penyimpanan yang luas. Membutuhkan biaya angkut yang lebih tinggi. Sulit menyediakan bibit yang benar-benar seragam. Membutuhkan perawatan yang intensif pada saat setelah tanam.

### **Bioteknologi**

Bioteknologi adalah cabang ilmu yang memanfaatkan organisme hidup, sistem biologis, atau proses biokimia untuk menghasilkan produk atau jasa yang bermanfaat bagi manusia. Mencakup penggunaan mikroorganisme, sel tumbuhan, sel hewan, dan bagian dari organisme tersebut untuk berbagai proses industri, pertanian, dan lingkungan. Secara sederhana, bioteknologi menggabungkan ilmu biologi dan teknologi untuk menciptakan atau memodifikasi

produk yang lebih baik dalam hal kualitas, kuantitas, dan waktu produksi.

Penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk mengubah atau memanipulasi tanaman, dengan tujuan meningkatkan hasil, daya tahan, dan kualitas tanaman, serta mengatasi berbagai masalah dalam pertanian. Teknologi untuk mendayakan organisme hidup atau bagian organisme untuk menghasilkan atau memodifikasi produk-produk tertentu, serta untuk perbaikan atau pemuliaan mikroorganisme tanaman dan hewan (OTA-USA, 1988). Bioteknologi terbagi menjadi dua yaitu: Bioteknologi tradisional; misalnya fermentasi Anggur, kompos dan lain-lain. Bioteknologi modern; misalnya rekayasa genetik (Teknologi DNA-Rekombinan), teknologi antibodi, teknologi Kultur sel dan jaringan ("*tissue culture*").

### **Kultur Jaringan**

Kultur jaringan dapat diartikan sebagai suatu teknik pembibitan tanaman yang dilakukan dalam kondisi "*aseptik*" dengan cara "*in vitro*", dengan menggunakan biakan berupa bagian terkecil dari tanaman yaitu: Sel, Jaringan, dan organ.

Prinsip dasar Totipotensi: Sel tumbuhan memiliki potensi untuk tumbuh menjadi tanaman utuh jika ditempatkan dalam kondisi yang tepat. Kultur jaringan dilakukan dalam kondisi steril untuk mencegah kontaminasi oleh mikroorganisme. Media tanam yang digunakan mengandung nutrisi, hormon pertumbuhan, dan zat pengatur tumbuh yang diperlukan untuk pertumbuhan eksplan. Media MS (*Murashige dan Skoog*) → NAA, IBA, *Bacto agar*, *Sucrose*. Macam Kultur jaringan adalah: Kultur Meristem, Pucuk, Embrio, *Anther*, *Pollen*, *Ovul*, *Callus*, Sel dan *Protoplast*.

Keuntungan Kultur Jaringan: Perbanyak cepat dan massal dapat menghasilkan banyak tanaman dalam waktu singkat. Ketersediaan bibit tidak tergantung pada musim atau kondisi lingkungan. Bibit yang dihasilkan memiliki sifat yang sama dengan induknya dan bebas dari hama penyakit. Hemat biaya transportasi karena

bibit yang kecil lebih mudah dikirim. Dapat digunakan untuk memperbanyak tanaman yang terancam punah.

Kekurangan Kultur Jaringan: Biaya mahal membutuhkan peralatan dan fasilitas khusus serta tenaga ahli. Membutuhkan kondisi lingkungan yang terkontrol, apabila tidak dilakukan dengan benar, dapat terjadi kontaminasi oleh mikroorganisme. Tumbuhan hasil kultur jaringan perlu beradaptasi dengan lingkungan sebelum ditanam di lapangan.

### **Tahapan Kultur Jaringan**

1. Memilih bagian tanaman yang di kultur (tunas muda, mata tunas, atau sel) dan mensterilkannya untuk menghilangkan mikroorganisme.
2. Meletakkan eksplan yang sudah disterilkan pada media tanam yang sesuai.
3. Membudidayakan eksplan dalam media tanam untuk memperbanyak jumlahnya.
4. Memindahkan eksplan yang telah berlipat ganda ke media tanam yang mendukung pertumbuhan akar.
5. Membiasakan tanaman hasil kultur jaringan dengan kondisi lingkungan di luar laboratorium (suhu, kelembapan, dan cahaya).

### **Rekayasa Genetik**

Adalah suatu teknik untuk mengidentifikasi dan mengisolasi gen tertentu dari sumber genetik, menggabungkan gen tersebut dengan vektor tertentu untuk mendapatkan *DNA-Rekombinan*, kemudian memindahkan atau memasukkan *DNA-Rekombinan* ke dalam sel atau jaringan tertentu sebagai penerima, sehingga diperoleh organisme ("*clone*") baru yang mampu mengekspresikan sifat yang di bawah oleh gen yang dipindahkan. *DNA-Rekombinan* adalah DNA yang dibentuk melalui penggabungan gen menjadi kombinasi baru. Proses memodifikasi gen suatu tanaman untuk

mengubah sifat-sifatnya, seperti meningkatkan ketahanan terhadap hama dan penyakit, meningkatkan hasil panen, atau memperbaiki nilai gizi.

### **Proses Rekayasa Genetika pada Tumbuhan**

1. Langkah pertama adalah mengidentifikasi gen yang mengontrol sifat yang diinginkan, lalu mengisolasinya dari sel tanaman atau organisme lain.
2. Gen yang diisolasi kemudian dikloning atau diperbanyak untuk menghasilkan banyak salinan gen.
3. Gen yang telah direkayasa dimasukkan ke dalam sel tanaman target menggunakan berbagai metode, seperti transformasi dengan bakteri *Agrobacterium tumefaciens* Beijerinck & van Delden., *H. J. Conn.*, transformasi menggunakan partikel (“gene gun”), atau *elektroporasi*.
4. Sel tanaman yang telah ditransformasi kemudian ditumbuhkan menjadi tanaman utuh melalui proses kultur jaringan.
5. Tanaman yang dihasilkan dievaluasi untuk memastikan bahwa sifat yang diinginkan telah berhasil ditambahkan dan kemudian dapat digunakan dalam pemuliaan tanaman untuk menciptakan varietas baru.

### **C. Pemuliaan Tanaman**

Pemuliaan tanaman adalah ilmu dan praktik untuk memperbaiki sifat-sifat genetik tanaman. Tujuannya adalah untuk menghasilkan tanaman yang lebih unggul dalam hal kualitas, kuantitas, dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang berbeda. Pemuliaan tanaman melibatkan berbagai metode, termasuk seleksi, persilangan, dan penggunaan bioteknologi untuk menciptakan varietas baru.

Tujuan Pemuliaan Tanaman: Menghasilkan tanaman dengan produktivitas yang lebih tinggi, memperbaiki kualitas hasil dan meningkatkan nilai gizi, rasa, warna, atau ukuran buah atau biji.

Meningkatkan ketahanan terhadap hama, penyakit dan gulma, mengurangi penggunaan pestisida dan meningkatkan hasil panen yang stabil. Meningkatkan ketahanan terhadap kondisi ekstrem dan membantu tanaman bertahan dalam kekeringan, salinitas, atau suhu tinggi maupun rendah. Mempercepat masa panen dan memperbaiki sifat-sifat khusus: Seperti warna bunga, aroma buah, atau kandungan nutrisi tertentu.

Metode pemuliaan tanaman dengan Seleksi: yaitu memilih tanaman dengan sifat-sifat unggul dari populasi yang ada. Persilangan (Hibridisasi): menggabungkan sifat-sifat unggul dari dua tanaman berbeda melalui perkawinan. Bioteknologi: Menggunakan teknik-teknik rekayasa genetika untuk memasukkan gen dari satu organisme ke organisme lain.

Pemuliaan tanaman sangat penting artinya dalam produksi tanaman karena melalui temuan varietas atau klon baru, maka tidak hanya hasil panen dapat meningkat tetapi juga kualitas hasil dapat diperbaiki. Selain itu dengan ditemukannya varietas baru yang tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan yang kurang optimal telah memberikan keuntungan tersendiri karena rendahnya *input* produksi yang diperlukan.

### ***Pengujian dan Pengesahan Varietas***

Semakin banyaknya penemuan varietas-varietas baru dan semakin tingginya tingkat persaingan antara para pemulia tanaman, maka diperlukan adanya legalitas bagi setiap varietas baru yang ditemukan. Legalitas mencakup suatu proses pengujian untuk mengevaluasi, apakah benar-benar varietas baru lebih baik dari pada varietas yang telah ada. Tahap uji dari segi: Kekhususan (Bahwa setiap varietas baru, secara morfologi harus berbeda dengan varietas yang telah ada). Keseragaman (Menyangkut bahan tanam benih dan pertumbuhan serta hasil yang diperoleh dari setiap individu tanaman). Stabilitas hasil (Konsistensi hasil dari tahun ke tahun). Tahap uji Varietas baru (VUB) dari segi daya hasil yang biasanya

pengujian lapang untuk membandingkan pertumbuhan dan hasil panen varietas baru dengan varietas yang telah ada. VUB dikatakan unggul, apabila hasil panen lebih baik dari varietas yang telah ada, selain keunggulan yang lainnya: Kualitas hasil, tahan terhadap hama penyakit tumbuhan, serta pada kondisi lain yang kurang menguntungkan. VUB adalah varietas tanaman yang memiliki sifat-sifat unggul, seperti umur panen genjah, toleran terhadap cekaman lingkungan.

### ***Kriteria Varietas Unggul Baru***

Kriteria dalam memilih varietas unggul baru meliputi: Daya hasil, kualitas, ketahanan terhadap Hama Penyakit dan Gulma, daya adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang kurang baik. Daya hasil merupakan kriteria pertama dan utama dalam seleksi varietas, meskipun hasil panen di lapang pada kenyataannya bervariasi dari tempat ke tempat lain. Pengujian daya hasil varietas baru, biasanya dibandingkan dengan varietas kontrol (Pembanding) diberi skor: 100. Varietas baru dikatakan lebih unggul bila memberikan hasil sekitar 12-15% lebih tinggi dibanding kontrol. Terkait keperluan perdagangan, konsumen sering mementingkan kualitas daripada kuantitas. Kualitas hasil dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Umumnya sulit mendapatkan varietas baru yang unggul, baik dari segi kualitas maupun kuantitas sekaligus. Pemilihan varietas yang tahan terhadap hama penyakit tumbuhan merupakan strategi yang jitu dalam usaha pengendalian, meskipun pada kenyataannya belum cukup ampuh, bila tidak dibarengi dengan usaha pengendalian yang lain. Sejumlah sifat tanaman perlu diperhatikan dalam kaitannya dengan kemampuan adaptasi suatu varietas terhadap kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan untuk menciptakan dan memilih varietas yang cocok ditanam di suatu daerah. Kriteria di atas merupakan ciri dari bahan tanam (Benih atau bibit) yang bermutu tinggi, karena bahan tanam yang bermutu

tinggi sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil yang tinggi baik dari segi kualitas maupun kuantitas.

Balai Pengawasan Sertifikasi Benih, bertugas untuk memberikan sertifikasi benih yang berkualitas. Bahan tanam yang berkualitas adalah bahan tanam yang mempunyai: Viabilitas tinggi, sehat, murni dan asli. Viabilitas meliputi daya kecambah, kecepatan tumbuh atau berkecambah dan kekuatan berkecambah. Daya kecambah benih adalah kemampuan (%) benih berkecambah pada kondisi optimum. Kecepatan kecambah adalah suatu waktu yang diperlukan benih atau bibit untuk berkecambah. Kekuatan kecambah adalah kemampuan benih untuk berkecambah pada kondisi lapang. Sehat, artinya tidak mengandung kotoran. Murni artinya tidak tercampur oleh benih lain. Asli artinya tidak mengalami perubahan sifat genetik karena perkawinan silang dengan varietas lain atau karena pengaruh faktor luar ("*mutasigen*"). Mutasi gen adalah perubahan permanen pada urutan DNA yang membentuk gen. Perubahan ini dapat terjadi secara alami atau disebabkan oleh faktor lingkungan seperti radiasi atau bahan kimia. Mutasi gen dapat memengaruhi fungsi gen dan menyebabkan berbagai dampak, mulai dari tidak berdampak hingga menyebabkan penyakit genetik.

DNA adalah molekul yang membawa informasi genetik dalam sel. Gen adalah bagian dari DNA yang mengandung instruksi untuk membuat protein. Mutasi gen terjadi ketika ada perubahan pada urutan basa nitrogen dalam DNA (A, T, C, G) yang membentuk gen. Perubahan ini bisa berupa penambahan, pengurangan, atau penggantian basa. Mutasi dapat terjadi secara alami akibat kesalahan saat replikasi DNA atau karena faktor lingkungan seperti radiasi, bahan kimia, atau virus. Mutasi gen dapat memiliki berbagai dampak, termasuk menyebabkan perubahan yang signifikan pada fungsi protein atau sifat organisme.

Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian (BRMP) merupakan lembaga strategis yang berperan penting dalam mendorong transformasi sektor pertanian melalui inovasi, perakitan teknologi, dan

modernisasi. BRMP lahir dari transformasi Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP) melalui Peraturan Presiden Nomor 192 Tahun 2024 tentang Kementerian Pertanian yang memiliki tugas menyelenggarakan perakitan dan modernisasi pertanian. Dalam melaksanakan tugas Kementerian menyelenggarakan fungsi antara lain sebagai berikut: 1). Perumusan, penetapan, dan pelaksanaan kebijakan di bidang penyediaan prasarana dan sarana pertanian, peningkatan produksi komoditas pertanian, keamanan pangan, pascapanen, serta hilirisasi dan pemasaran hasil pertanian; 2). Pelaksanaan bimbingan teknis dan supervisi atas pelaksanaan urusan di bidang penyediaan prasarana dan sarana pertanian, peningkatan produksi komoditas pertanian, keamanan pangan, pascapanen, serta hilirisasi dan pemasaran hasil pertanian; dan 3). Koordinasi pelaksanaan tugas, pembinaan, dan pemberian dukungan administrasi kepada seluruh unsur organisasi di lingkungan Kementerian.

Bagian Ketiga Direktorat Jenderal Lahan dan Irigasi Pertanian Pasal 13, Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 12, Direktorat Jenderal Lahan dan Irigasi Pertanian menyelenggarakan fungsi: a). Perumusan kebijakan di bidang pemetaan lahan dan irigasi tersier pertanian, perlindungan dan konservasi lahan pertanian, penyediaan dan optimasi lahan pertanian, pencetakan sawah, pengembangan dan pengelolaan irigasi tersier untuk pertanian, serta konservasi dan pengembangan sumber air pertanian sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan; b). Pelaksanaan kebijakan di bidang pemetaan lahan dan irigasi tersier pertanian, perlindungan dan konservasi lahan pertanian, penyediaan dan optimasi lahan pertanian, pencetakan sawah, pengembangan dan pengelolaan irigasi tersier untuk pertanian, serta konservasi dan pengembangan sumber air pertanian sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan. Bagian Keempat Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian Pasal 16, Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 15, Direktorat Jenderal Prasa-

rana dan Sarana Pertanian menyelenggarakan fungsi: a). Perumusan kebijakan di bidang penyediaan alat mesin pertanian, pupuk, pestisida, dan fasilitasi pembiayaan pertanian; b). Pelaksanaan kebijakan di bidang penyediaan alat mesin pertanian, pupuk, pestisida, dan fasilitasi pembiayaan pertanian; c). Penyusunan norma, standar, prosedur, dan kriteria di bidang penyediaan alat mesin pertanian, pupuk, pestisida, dan fasilitasi pembiayaan pertanian.

Bagian Kelima Direktorat Jenderal Tanaman Pangan Pasal 19. Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 18, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan menyelenggarakan fungsi: a). Perumusan kebijakan di bidang perbenihan, budi daya, perlindungan, keamanan pangan, dan pascapanen, serta hilirisasi dan pemasaran hasil tanaman pangan; b). Pelaksanaan kebijakan di bidang perbenihan, budi daya, perlindungan, keamanan pangan, dan pascapanen, serta hilirisasi dan pemasaran hasil tanaman pangan; c). penyusunan norma, standar, prosedur, dan kriteria di bidang perbenihan, budi daya, perlindungan, keamanan pangan, dan pascapanen, serta hilirisasi dan pemasaran hasil tanaman pangan.

Bagian Keenam Direktorat Jenderal Hortikultura Pasal 22. Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 21, Direktorat Jenderal Hortikultura menyelenggarakan fungsi: a). Perumusan kebijakan di bidang perbenihan, budi daya, perlindungan, keamanan pangan, dan pascapanen, serta hilirisasi dan pemasaran hasil hortikultura; b). Pelaksanaan kebijakan di bidang perbenihan, budi daya, perlindungan, keamanan pangan, dan pascapanen, serta hilirisasi dan pemasaran hasil hortikultura.

Bagian Ketujuh Direktorat Jenderal Perkebunan Pasal 25 Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 24, Direktorat Jenderal Perkebunan menyelenggarakan fungsi: a). perumusan kebijakan di bidang perbenihan, budi daya, perlindungan, keamanan pangan, pascapanen, hilirisasi dan pemasaran hasil perkebunan, serta pembinaan usaha perkebunan berkelanjutan; b). Pelaksanaan kebijakan di bidang perbenihan, budi daya, perlindungan, keamanan

pangan, pascapanen, hilirisasi dan pemasaran hasil perkebunan, serta pembinaan usaha perkebunan berkelanjutan. Bagian Kesepuluh Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian. Pasal 34 Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Pasal 33, Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian menyelenggarakan fungsi: a). Penyusunan kebijakan teknis rencana dan program, perekayasa, perakitan, pengujian, dan penyebarluasan, serta penerapan pertanian modern; b). Pelaksanaan kebijakan teknis di bidang perekayasa, perakitan, pengujian, dan penyebarluasan, serta penerapan pertanian modern.

Berdasarkan Permentan Nomor 02 Tahun 2025 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pertanian, BRMP terdiri dari Sekretariat Badan dan 4 Pusat Perakitan dan Modernisasi. Organisasi Unit Pelaksana Teknis BRMP diatur dalam Permentan Nomor 10 Tahun 2025 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Lingkup Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian. Tugas utama BRMP adalah melakukan perakitan dan modernisasi berbagai aspek pertanian, termasuk Teknologi, Alat dan mesin pertanian (Alsintan), serta Bioteknologi sumber daya genetik (Biogen). BRMP berperan dalam penyusunan kebijakan teknis, pelaksanaan pengujian, dan penyebarluasan informasi terkait pertanian modern. BRMP hadir untuk mendorong transformasi sektor pertanian melalui inovasi, teknologi, dan modernisasi, serta berupaya mewujudkan pertanian yang cerdas, berkelanjutan, dan berbasis teknologi.

Tujuan BRMP:

1. Meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian.
2. Mewujudkan pertanian yang adaptif terhadap perubahan iklim dan dinamika pasar global.
3. Mendukung ketahanan pangan nasional.
4. Mendorong pertanian yang lebih cerdas, berkelanjutan, dan berbasis teknologi.

## **Pemasakan Tanaman**

Pemasakan tanaman dan panen merupakan tahap akhir dalam proses produksi di lapang adalah cara dan waktu panen yang tepat agar kualitas dan kuantitas hasil panen yang tinggi benar-benar dapat kita peroleh. Banyak terjadi penurunan hasil panen baik secara kualitas dan maupun kuantitas sebagai akibat daripada kesalahan panen yang dilakukan. Saat panen yang tepat tidak hanya tergantung pada jenis tanaman, varietas, dan tujuan penanaman akan tetapi juga sangat tergantung pada kondisi iklim. Cara panen pada sistem produksi tanaman yang modern dilakukan secara mekanis dengan menggunakan mesin-mesin karena tenaga manusia nilainya mahal. Kehilangan hasil panen dapat terjadi sebelum panen sebagai akibat dari serangan Hama Penyakit dan Gulma tanaman, cuaca yang tidak menguntungkan atau waktu panen yang terlambat.

Proses akhir dalam siklus hidup tanaman, di mana organ-organ tanaman, terutama buah atau biji, mencapai kematangan fisiologis, melibatkan perubahan pada warna, tekstur, dan kandungan nutrisi dari organ tersebut, serta perubahan pada daun dan batang tanaman. Selama pemasakan terjadi perubahan warna: Pigmen hijau "*clorofil*" tanaman mulai berkurang, dan pigmen lain, "*carotenoid*" (kuning, oranye) atau "*antosianin*" (merah, ungu) mulai muncul. Perubahan kandungan nutrisi seperti: Kadar gula, pati, protein, dan lemak dalam organ tanaman berubah seiring dengan pematangan. Perubahan pada daun dan batang mulai menguning dan mengering, dan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan melambat.

## POPULASI DAN INTERAKSI

### A. Ciri Biologi dan Sifat

Populasi adalah organisme sejenis yang hidup berasosiasi, sehingga merupakan suatu ikatan *group* kecil di tengah lingkungan biologis lainnya. Populasi berasal dari kata *Populus* yang berarti rakyat atau penduduk. Komuniti ialah suatu agregasi atau kumpulan organisme yang mempunyai hubungan timbal balik sesamanya dan terhadap lingkungan dimana mereka hidup. Komuniti berasal dari kata *Communis* yang berarti bertambah dalam masyarakat. Komuniti tumbuh-tumbuhan merupakan satuan fungsional yang bersifat fleksibel, sebab anggota komunitas yang berupa populasi mempunyai kebebasan sendiri-sendiri dan sewaktu-waktu hingga batas-batas tertentu, mudah bertukar oleh sebab itulah maka sifat-sifat dan ciri-ciri populasi dan komunitas sangat dipengaruhi oleh individu yang menyusunnya.

Populasi menurut Odum (1971), setiap populasi akan memiliki ciri-ciri khas yaitu:

1. Punya kepadatan (“*density*”): Kerapatan.
2. Punya risalah perubahan-perubahan karena adanya:
  - Natalitas* : Angka kelahiran.
  - Mortalitas* : Angka kematian.
  - Emigrasi* : Keluarnya individu ke dalam batas lingkungan populasi.
  - Imigrasi* : Masuknya individu secara periodik setelah keluarnya dari lingkungan populasi.
3. Punya potensi biotik tertentu yang terkait kepadatan abiotik yang tidak terkait kepadatan.

4. Sebagai anggota dari suatu komunitas, maka populasi mempunyai sejarah kehidupan mulai dari timbul sampai pada diferensiasi serta mempertahankan diri untuk selanjutnya.

Kerapatan atau kepadatan atau *Density* adalah: suatu yang menunjukkan hubungan antara jumlah individu dengan ruang yang ditempati pada satuan waktu tertentu. Organisme yang hidup di darat satuannya:  $m^2/Ha$ , untuk organisme di air:  $m^3/l$ . Kepadatan populasi ditentukan oleh berbagai faktor: Energi dan produktivitas lingkungan. *Trophic level* organisme yang menyusunnya. Besar atau kecilnya metabolisme. *Homeostatic mechanism* (Mekanisme keseimbangan).

## **B. Lingkungan Biotik**

Lingkungan biotik tumbuhan adalah komponen lingkungan yang terdiri dari semua makhluk hidup, termasuk tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Tumbuhan, sebagai produsen utama dalam ekosistem, berperan penting dalam siklus energi dan nutrisi. Tumbuhan menyediakan sumber makanan utama bagi banyak organisme lain, termasuk manusia. Melalui fotosintesis, tumbuhan menghasilkan  $O_2$  yang penting untuk pernapasan hampir semua makhluk hidup. Tumbuhan menyediakan habitat bagi berbagai jenis hewan dan mikroorganisme. Tumbuhan membantu mengatur suhu, kelembaban, dan siklus air di lingkungan. Tumbuhan berperan dalam siklus nutrisi, seperti siklus N dan C. Tumbuhan mempunyai hubungan yang rapat terutama dalam sistem kehidupan antar organisme, menurut Odum (1971) hubungan antar organisme tersebut dalam komunitas dapat berupa:

### **Netralisme**

Dalam hubungan antara dua atau lebih spesies tumbuhan yang hidup di habitat yang sama, tetapi tidak saling mempengaruhi satu sama lain. Hubungan keberadaan satu tumbuhan tidak memberikan

dampak positif maupun negatif pada tumbuhan lain. Hubungan dimana tidak ada satu pihak pun di dalam gabungan tersebut terkena pengaruh. Contoh: *Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume., tidak merugikan pohon yang ditumpangangi.

### **Mutualisme**

Simbiosis mutualisme pada tumbuhan adalah hubungan saling menguntungkan antara dua atau lebih jenis tumbuhan, atau antara tumbuhan dan organisme lain seperti hewan. Dalam hubungan ini, kedua pihak yang terlibat mendapatkan manfaat dari interaksi tersebut. Simbiosis mutualisme pada tumbuhan: Bunga dan hewan penyerbuk (*Apoidea sp. Latreille.*, *Appias libythea Fabricius.*, *Trochilidae sp Vigers.*, *Chiroptera sp Blumenbach.*) memiliki hubungan mutualisme. Bunga menyediakan nektar dan serbuk sari sebagai makanan bagi hewan, dan hewan membantu bunga dalam proses penyerbukan, yaitu pemindahan serbuk sari ke kepala putik untuk pembuahan. Contohnya, *Trochilidae sp Vigers.*, dengan bunga yang memiliki bentuk paruh yang sesuai, atau lebah yang membantu penyerbukan bunga sambil mencari nektar. Bakteri *Rhizobium* yang hidup di akar tanaman kacang-kacangan (“legume”) membantu tanaman mengikat N dari udara. N adalah unsur penting untuk pertumbuhan tanaman, sebagai imbalannya, bakteri mendapatkan tempat tinggal dan nutrisi dari tanaman. Lumut kerak adalah simbiosis antara jamur dan alga. Jamur menyediakan tempat berlindung dan menyerap air serta mineral, sementara alga melakukan fotosintesis dan menghasilkan makanan untuk jamur. *Nepenthes ampullaria* L. menyediakan tempat perlindungan bagi kelelawar, dan kotoran kelelawar menjadi sumber nutrisi bagi tanaman. Bunga *Rafflesia arnoldii* R.Br. ex Thomson bis., mengeluarkan bau busuk yang menarik lalat.

### **Protokooperasi**

Bentuk interaksi simbiosis mutualisme di mana kedua organisme mendapat manfaat, tetapi interaksi tersebut bukanlah suatu keha-

rusan untuk kelangsungan hidup. Penyerbukan bunga menghasilkan nektar dan serbuk sari untuk menarik hewan seperti: *Apoidea sp. Latreille.*, *Appias libythea Fabricius*. Hewan mendapatkan makanan, sementara tumbuhan terbantu dalam proses reproduksi. Tumbuhan menghasilkan buah yang menarik bagi hewan. Hewan memakan buah dan menyebarkan biji ke tempat lain, membantu tumbuhan memperluas jangkauan. Beberapa tumbuhan memiliki struktur atau mengeluarkan zat kimia yang dapat melindungi mereka dari herbivora, sementara hewan yang dilindungi tersebut dapat membantu menyebarkan biji tumbuhan.

### **Komensalisme**

*Komensalisme* pada tumbuhan adalah hubungan timbal balik antara dua tumbuhan di mana satu tumbuhan diuntungkan sementara tumbuhan lain tidak dirugikan maupun diuntungkan. Contohnya adalah *Phalaenopsis amabilis (L) Blume.* yang tumbuh menempel pada pohon. Anggrek mendapatkan tempat tinggal dan cahaya matahari, sementara pohon inang tidak terpengaruh. Pohon inang tidak dirugikan karena anggrek tidak mengambil nutrisi dari pohon. Paku tanduk rusa tumbuh menempel pada pohon untuk mendapatkan cahaya matahari. Pohon inang tidak terpengaruh secara negatif. *Lianas sp Rhett Budller.*, tanaman merambat, tumbuh membelit pohon untuk mencapai cahaya matahari. Pohon inang tidak dirugikan. Tanaman *Piper betle L.* merambat pada pohon untuk mendapatkan tempat tumbuh dan cahaya matahari. Pohon inang tidak terpengaruh.

### **Kompetisi**

Kompetisi pada tumbuhan adalah interaksi antar tumbuhan yang saling memperebutkan sumber daya alam yang terbatas seperti air, cahaya, dan nutrisi, yang dapat berdampak negatif pada pertumbuhan dan hasil tanaman. Kompetisi bisa terjadi antar tumbuhan sejenis atau antar tumbuhan berbeda jenis. Kompetisi

Intraspesifik: Terjadi antar individu dari spesies yang sama, misalnya persaingan antar tanaman jagung dalam satu baris untuk mendapatkan sinar matahari dan air. Kompetisi Interspesifik: Terjadi antar individu dari spesies yang berbeda, misalnya persaingan antara tanaman jagung dan gulma untuk mendapatkan nutrisi dalam tanah. Tanaman yang tumbuh lebih tinggi dapat menghalangi cahaya matahari mencapai tanaman yang lebih rendah, sehingga tanaman yang lebih rendah akan mengalami penurunan pertumbuhan. Tumbuhan dengan sistem perakaran yang lebih luas dan kuat dapat menyerap lebih banyak air, meninggalkan lebih sedikit air untuk tanaman lain di sekitarnya. Tanaman yang membutuhkan nutrisi yang sama akan bersaing untuk mendapatkan nutrisi dari tanah.

### **Amensalisme**

Simbiosis amensalisme pada tumbuhan terjadi ketika satu tumbuhan mengeluarkan zat yang menghambat atau merugikan tumbuhan lain di sekitarnya, sementara tumbuhan yang mengeluarkan zat tersebut tidak mendapatkan keuntungan atau kerugian. Contohnya adalah: *Juglans sp L.* yang mengeluarkan zat beracun (“*juglone*”) yang menghambat pertumbuhan tanaman lain di sekitarnya, Gulma yang tumbuh di antara tanaman padi menghalangi akses sinar matahari dan nutrisi bagi padi, namun gulma tersebut tidak dirugikan, Jamur *Penicillium* yang menghasilkan antibiotik yang dapat membunuh bakteri, namun jamur tersebut tidak mendapatkan keuntungan langsung dari kematian bakteri tersebut.

### **Parasitisme dan Predatisme**

Parasitisme pada tumbuhan adalah hubungan antar dua tumbuhan dimana satu tumbuhan (parasit) mengambil makanan dari tumbuhan lain (inang) sehingga merugikan tumbuhan inang. Tumbuhan parasit, seperti benalu dan tali putri, hidup menempel pada tumbuhan lain dan menyerap nutrisi dari inangnya. Contoh

Parasitisme pada Tumbuhan: *Loranthus sp Jack.*, adalah tumbuhan parasit yang umum ditemukan pada berbagai jenis pohon. Menempel pada batang atau cabang pohon inang dan menyerap sari makanan yang dihasilkan oleh pohon tersebut, menyebabkan pertumbuhan pohon inang terhambat. *Cuscuta europaea L.* adalah tumbuhan parasit yang memiliki batang tipis berwarna kuning atau coklat yang melilit tumbuhan inang, menyerap nutrisi dari tumbuhan inang. Bunga *Rafflesia arnoldii R.Br. ex Thomson bis.* yang terkenal, yang juga dikenal sebagai padma raksasa, merupakan parasit pada tumbuhan merambat dari jenis *Tetrastigma*, bunga mendapatkan nutrisi dari inangnya untuk tumbuh dan berkembang. *Aphidoidea sp. Latreille.* adalah hama yang sering ditemukan pada berbagai jenis tanaman, menghisap cairan tumbuhan sehingga dapat merugikan pertumbuhan tanaman.

Dampak Parasitisme pada Tumbuhan: Tumbuhan inang mengalami perlambatan pertumbuhan karena nutrisi yang seharusnya digunakan untuk pertumbuhan diambil oleh parasit. Infeksi parasit dapat menyebabkan daun tanaman menjadi kuning, layu, dan bahkan rontok. Parasit dapat membawa penyakit pada tumbuhan inang, memperburuk kondisi tanaman, infeksi parasit dapat menyebabkan kematian pada tanaman inang, terutama jika tanaman inang lemah atau terinfeksi penyakit. Jenis Parasitisme pada Tumbuhan: Parasit yang hidup di luar tubuh tumbuhan inang, seperti benalu yang menempel pada batang atau cabang pohon. Parasit yang hidup di dalam tubuh tumbuhan inang, seperti beberapa jenis jamur yang menyerang jaringan tanaman.

### **C. Lingkungan Abiotik**

Lingkungan abiotik tumbuhan adalah semua faktor fisik dan kimia non-hidup yang mempengaruhi kehidupan tumbuhan. Ini mencakup unsur-unsur seperti: air, cahaya matahari, suhu, tanah, udara (termasuk komposisi gas seperti: O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>), kelembapan, dan nutrisi dalam tanah. Faktor-faktor ini sangat penting untuk

pertumbuhan, perkembangan, dan kelangsungan hidup tumbuhan. Lingkungan abiotik sering juga diistilahkan dengan lingkungan fisik. Pada prinsipnya lingkungan abiotik dapat dibagi atas lima faktor: Faktor Suhu, Faktor Air, Faktor Cahaya, Faktor Tanah, Faktor Atmosfer.

### **Faktor Suhu**

Suhu lingkungan sangat berpengaruh terhadap tumbuhan. Suhu optimum memungkinkan tumbuhan tumbuh dan berkembang dengan baik, sementara suhu ekstrem (terlalu tinggi atau terlalu rendah) dapat menghambat atau bahkan merusak tumbuhan.

Suhu mempengaruhi laju fotosintesis. Suhu optimum akan meningkatkan laju fotosintesis, sedangkan suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat. Suhu juga mempengaruhi laju respirasi. Suhu tinggi dapat meningkatkan respirasi, yang pada akhirnya dapat mengurangi ketersediaan energi untuk pertumbuhan. Pada suhu rendah, tanaman bisa mengalami kerusakan sel akibat pembentukan kristal es, laju fotosintesis menurun, dan pertumbuhan terhambat. Suhu tinggi dapat menyebabkan transpirasi berlebihan, kekurangan air, dan kerusakan pada jaringan tanaman. Memahami suhu optimal untuk tanaman tertentu, dapat mengatur lingkungan tumbuh untuk memaksimalkan hasil panen. Adaptasi tanaman terhadap suhu ekstrem juga penting untuk menghadapi perubahan iklim.

Suhu merupakan faktor Ekologi yang sangat menentukan dan mempengaruhi kehidupan organisme, termasuk tumbuh-tumbuhan. Suhu adalah ukuran energi kinetis rata-rata dari pergerakan molekul. Panas adalah energi total dari pergerakan molekul suatu benda. Suhu merupakan batasan secara kualitatif, sedangkan panas secara kuantitatif.

## **Faktor Air**

Tumbuh-tumbuhan tidak dapat hidup tanpa air, karena air merupakan matriks dalam kehidupan. Pentingnya air bagi tumbuh-tumbuhan dapat diperhatikan hal-hal di bawah ini:

1. Bagian dari Protoplasma biasanya air membentuk 85-90 % dari berat keseluruhan bagian hijau tumbuh-tumbuhan.
2. *Reagen* yang penting dalam proses fotosintesa dan dalam proses hidrolitik seperti perubahan Pati menjadi Gula.
3. Pelarut dari garam-garam, gas-gas, dan material yang bergerak ke dalam tumbuhan, melindungi dinding sel dan jaringan *Xilem* serta menjamin kesinambungannya.
4. Sesuatu yang esensial untuk menjamin *Turgiditas*, pertumbuhan sel, stabilitas pembentukan daun, proses membuka dan menutupnya stomata dan kelangsungan gerak struktur tumbuhan.

Menghayati peranan serta kegunaan air lebih lanjut dalam Ekologi perlu diperhatikan siklus untuk kelangsungan hidrologi dan kelembaban atmosfer. Keberlangsungan hidrologi diperlukan empat prinsip pokok yaitu: Evaporasi: Sumber utama uap air di atmosfer adalah air yang diuapkan ke udara dari lautan. Transportasi: Pengangkutan uap dari atmosfer di atas lautan ke daratan, atau juga daerah dingin ke daerah panas mutlak harus ada. Kondensasi: Uap air diubah menjadi cairan apabila temperatur udara di bawah titik embun. Presipitasi: Uap air yang berupa awan, melalui proses pendinginan dan penggabungan partikel-partikel air sampai batas tertentu akan jatuh ke permukaan bumi menghasilkan hujan, bentuk-bentuk lainnya dari presipitasi.

## **Faktor Cahaya**

Cahaya sangat vital untuk kehidupan organisme di alam, disebabkan karena cahaya merupakan sumber pokok dari energi. Cahaya adalah: Pancaran-pancaran halus dari energi radiasi dalam bentuk

*Spectrum electromagnetic* dengan panjang gelombang antara 390-760 m $\mu$ . Sinar dengan panjang gelombang < 390 m $\mu$  disebut *Ultraviolet*, sedangkan sinar dengan panjang gelombang >760 m $\mu$  disebut *Infra Merah*. Cahaya yang dapat dilihat berkisar antara 400-750 m $\mu$  terbagi atas enam bagian besar yaitu: Merah: Panjang gelombang 750-626 m $\mu$ , Orange/Jingga: Panjang gelombang 626-595 m $\mu$ , Kuning: Panjang gelombang 595-574 m $\mu$ , Hijau: Panjang gelombang 574-490 m $\mu$ , Biru: Panjang gelombang 490-435 m $\mu$ , Violet/Ungu: Panjang gelombang 435-400 m $\mu$ .

Intensitas cahaya adalah: angka yang menunjukkan kekuatan cahaya atau jumlah cahaya yang diterima dengan ukuran lilin standart. Satuannya: *Lux (L)*, *Meter Candle (m.c)*, *Food Candle (f.c)*. Kualitas cahaya adalah: Mutu cahaya yang diterima dan dinyatakan dengan panjang gelombang (Merah sampai Violet atau Ungu). Intensitas cahaya yang diterima oleh permukaan bumi tergantung kepada konstanta matahari, jarak bumi dengan matahari dan absorpsi serta difusi cahaya oleh atmosfer.

### **Faktor Tanah**

Tanah adalah faktor pokok dari lingkungan fisik yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan penyebaran tumbuh-tumbuhan. Faktor tanah dalam penelaahan Ekologi disebut faktor Edafik. Pengertian tanah adalah: Bagian dari bumi yang efektif berpengaruh terhadap kehidupan tumbuh-tumbuhan. Berdasarkan keadaan tanah ada lima golongan tumbuh-tumbuhan yaitu:

1. *Oxylophytes*

Tumbuhan *oxylophytes* adalah jenis tumbuhan yang mampu tumbuh di tanah asam, dengan pH rendah. Memiliki adaptasi khusus untuk bertahan hidup di lingkungan dengan kondisi tanah yang tidak menguntungkan bagi banyak tanaman. Ciri-ciri Tumbuhan *Oxylophytes*: adalah kemampuannya untuk tumbuh subur di tanah yang memiliki pH rendah, yang cenderung asam. Untuk bisa bertahan di tanah asam, *oxylophytes* memiliki adaptasi

khusus, baik pada akar, batang, daun, maupun sistem fisiologis lainnya.

## 2. *Halophytes*

*Halophytes* adalah tumbuhan yang mampu bertahan hidup dan menyelesaikan siklus hidupnya di lingkungan yang memiliki kadar garam tinggi, biasanya minimal 200-500 mM. Memiliki adaptasi khusus untuk mengatasi lingkungan salin yang bisa mematikan bagi tanaman lain. Ciri-ciri *Halophytes*: memiliki kelenjar garam khusus yang mengeluarkan kelebihan garam dari tubuhnya. Beberapa jenis *halophytes* memiliki daun yang tebal dan berdaging untuk menyimpan air dan mengurangi kehilangan air akibat salinitas. Tumbuhan halofit, seperti bakau memiliki akar yang tumbuh di atas permukaan tanah untuk mendapatkan oksigen karena akarnya terendam air. Mampu mengatur penyerapan garam oleh akarnya, mencegah penumpukan garam berlebih dalam sel, dapat mengakumulasi zat organik terlarut di dalam sitoplasmanya untuk menjaga keseimbangan air dalam sel. Memiliki potensi air yang sangat rendah pada cairan selnya, memungkinkan mereka menyerap air dari lingkungan yang sangat asin.

## 3. *Psammophytes*

*Psammophytes* adalah tumbuhan yang tumbuh di tanah berpasir dan sering kali tidak stabil, seperti di pantai, gurun, dan bukit pasir. Dianggap sebagai *ekstremofil* karena mampu bertahan hidup di lingkungan yang menantang. Ciri-ciri *Psammophytes*: Tumbuh di tanah berpasir, baik di pantai, gurun, maupun bukit pasir. Memiliki adaptasi khusus untuk bertahan hidup di lingkungan berpasir, seperti akar yang kuat untuk menahan pasir dan daun yang berkurang atau tidak ada sama sekali untuk mengurangi penguapan. Berperan penting dalam stabilisasi tanah berpasir dan dinamika nutrisi tanah.

#### 4. *Lithophytes*

*Lithophytes* adalah jenis tumbuhan yang tumbuh di atas permukaan batu atau batuan, bukan di dalam tanah. Memiliki kemampuan unik untuk bertahan hidup dan mendapatkan nutrisi dari air hujan, serpihan organik, dan unsur hara yang terdapat di lingkungan sekitar batu. *Lithophytes* telah beradaptasi untuk hidup di lingkungan yang keras dan minim nutrisi. Memiliki mekanisme khusus untuk menempel pada batu dan menyerap air serta nutrisi dari air hujan, serpihan organik, dan bahkan dari sisa-sisa sel mereka sendiri yang mati. *Lithophytes* dapat diklasifikasikan menjadi “*epilitik*” (tumbuh di permukaan batu) dan “*endolitik*” (tumbuh di celah-celah batu). *Lithophytes* juga dapat bersifat “*obligat*” (tumbuh hanya pada batu) atau “*fakultatif*” (tumbuh pada batu dan substrat lainnya. *Dendrobium sp J. J. Sm.*, *Paphiopedilum glaucophyllum J. J. Sm.*, *Bromeliad tillandsia L.*, berbagai jenis *Bromeliad tillandsia L.*, *Marchantiophyta haplomitriosida Stotler & Crandall-Stotler*. *Lithophytes* berperan penting dalam ekosistem, terutama di daerah yang tandus, sebagai pionir yang membantu membuka jalan bagi tumbuhan lain, membantu dalam proses penyebaran dan pelapukan batuan.

#### 5. *Chasmophytes*

*Chasmophytes* adalah tumbuhan yang hidup pada celah-celah batu atau batuan. Beradaptasi untuk tumbuh di lingkungan yang memiliki sedikit tanah dan air, memanfaatkan retakan dan celah pada permukaan batu sebagai tempat tumbuh. *Chasmophytes* ditemukan tumbuh di berbagai jenis batuan, seperti batu kapur, batu pasir, atau granit. Memiliki adaptasi khusus untuk bertahan hidup di lingkungan yang kering dan keras, termasuk akar yang kuat untuk menembus celah batu dan kemampuan menyimpan air.

## **Faktor Atmosfer**

Atmosfer berfungsi untuk melindungi permukaan planet dan menjaga ekosistem udaranya. Terdiri dari beberapa lapisan, seperti: troposfer, stratosfer, mesosfer, termosfer, dan eksosfer. Tersusun dari gas N (78%) dan O<sub>2</sub> (21%), sisanya (1%) terdiri dari berbagai gas: Ar (0,9%), CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, serta sejumlah kecil gas mulia seperti: Ne, He, Kr, dan Xe, serta gas lain seperti: CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, dan O<sub>3</sub>.

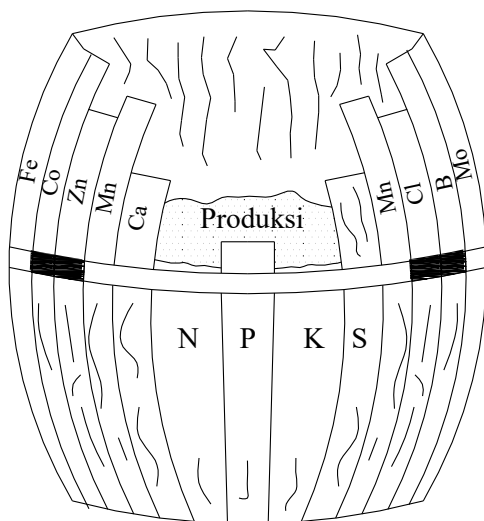
Fungsi utama atmosfer adalah melindungi bumi dari radiasi UV matahari yang berbahaya, menjaga suhu bumi agar tidak terlalu ekstrem, serta memungkinkan terjadinya siklus air dan cuaca. Membantu menjaga suhu bumi agar tidak terlalu panas atau terlalu dingin. Berperan dalam siklus air, pembentukan awan, dan berbagai fenomena cuaca. Keberadaan lapisan ozon (O<sub>3</sub>) di stratosfer yang menyerap sebagian besar radiasi UV berbahaya, seperti UV-B, sebelum mencapai permukaan bumi, sehingga melindungi kehidupan di planet dari kerusakan. Sinar matahari memecah molekul O<sub>2</sub> menjadi atom-atom oksigen bebas. Atom-atom oksigen ini kemudian berikatan dengan molekul O<sub>2</sub> lainnya membentuk O<sub>3</sub>.

# RESPON HARA

## A. Hukum Leibig

Hukum Leibig menyatakan bahwa laju pertumbuhan tanaman diatur oleh adanya faktor yang berada dalam jumlah minimum dan besar kecilnya laju pertumbuhan ditentukan oleh peningkatan dan penurunan faktor yang berada dalam jumlah minimum tersebut seperti pada Gambar 4.

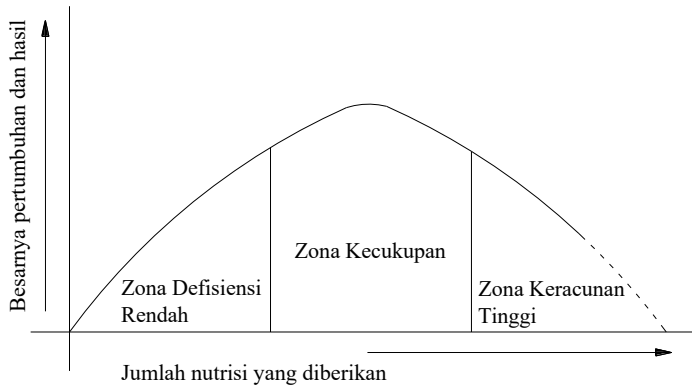
KONSEP GENTONG



Gambar 4. Hukum Minimum Leibig

Konsepnya digambarkan dalam bentuk Gentong, tampak pada gambar tersebut bahwa untuk mencapai kemungkinan hasil maksimum tidak boleh terjadi nutrisi apa pun yang menjadi faktor pembatas. Contoh: Apabila ditambah pupuk N, P, K maka selanjutnya S akan menjadi faktor pembatas (N, P, K disumbat, maka S menjadi bocor). Faktor minimum penyebab kebocoran belum

disumbat, maka belum optimal. Berdasarkan fakta tersebut masih diperlukan identifikasi secara kuantitatif besarnya pupuk N, P, K yang cukup dan rendahnya unsur S. Jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



**Gambar 5. Kurva Hasil Tanaman Secara Umum**

Dalam kurva tersebut, digambarkan bahwa nutrisi tanaman yang mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman berada pada zona defisiensi, zone cukup atau zone keracunan (Graham, 1975). Mitscherlich menerangkan: “the law of diminishing returns” (Hukum peningkatan hasil yang makin berkurang). Mengembangkan model pertumbuhan tanaman yang mengquantifikasi hubungan antara hasil panen dan ketersediaan unsur hara dalam tanah. Digunakan untuk menentukan tingkat hara penting untuk tanaman dan mengoptimalkan penggunaan pupuk.

$$Y = A (1 - B^{-CX})$$

**Dimana :**

Y = Hasil aktual (Kg.Ha<sup>-1</sup>).

A = Hasil maksimum (Kg.Ha<sup>-1</sup>), dimana nutrisi tidak menghambat pertumbuhan.

B = Respons maksimum akibat penambahan nutrisi.

C = Koefisien yang menggambarkan kurva respons.

X = Besarnya faktor luar yang ditambahkan (Kg.Ha<sup>-1</sup>).

Uraian lebih rinci tentang hukum Mitcherlich diberikan oleh Mengel dan Kirkby (1987) bahwa salah satu kelemahan rumus Mitcherlich adalah sifatnya yang *Asimptotik*, sedangkan kenyataan produksi bobot kering tanaman dapat menurun bila faktor produksi diberikan berlebihan karena tanaman mengalami keracunan.

Hubungan kuantitatif antara faktor produksi dan produksi bobot kering lebih baik dipresentasikan, menurut hubungan Kwadratratik sebagai berikut :

$$Y_i = a_i + b_i x_i + c_i x_i^2$$

Kurva Kuadratratik dapat dibedakan status hara dalam lima kategori: Sangat kurang, Kurang, Optimal, Cukup, Berlebihan. Pada status sangat kurang tanaman akan menunjukkan gejala Defisiensi (Kekahatan), pada status kurang (Memberikan respons positif terhadap penambahan unsur hara yang bersangkutan, kondisi demikian disebut: “*hidden hunger*” (Kelaparan tersembunyi). Kekurangan nutrisi tanaman di alam yang perlu diperhatikan dalam pemupukan terletak pada masalah: Kesuburan alam tanah yang bersangkutan rendah, Nutrisi hilang karena tercuci, Erosi tanah, Fiksasi nutrisi dalam bentuk yang tidak tersedia untuk tanaman dan Nutrisi diangkut dalam hasil panen atau bentuk lain.

### **B. Serapan Unsur Hara**

Akar tanaman menyerap unsur hara dalam bentuk ion yang berada dalam larutan tanah. Mekanisme pemindahan ion dari larutan tanah ke perakaran tanaman ada tiga macam: Gerak Massa, Difusi, Intersepsi.

#### **Gerak Massa**

Air akan bergerak melewati permukaan akar hingga terjadi kontak langsung antara molekul-molekul air dengan permukaan

akar tanaman dan akan diserap untuk menggantikan molekul air yang ditranspirasi melalui tajuk tanaman. Air mengandung ion-ion melarut dan juga akan mengadakan kontak langsung dengan permukaan akar tanaman. Proses perpindahan ion-ion bersama gerak massa dinamakan: Aliran massa. Persentase kebutuhan hara yang disuplai melalui gerak massa tergantung: Kebutuhan tanaman, Konsentrasi hara dalam larutan tanah, Jumlah air yang hilang melalui transpirasi, Volume air efektif bergerak sebagai respons gradien potensial yang mengadakan kontak langsung dengan akar tanaman. Kontribusi gerak massa terhadap jumlah unsur hara yang diserap oleh tanaman biasanya didasarkan pada konsentrasi unsur hara yang bersangkutan dan jumlah air yang hilang lewat transpirasi persatuan berat jaringan tanaman seperti pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.

### **Difusi**

Pergerakan partikel atom, ion atau molekul dalam larutan dari yang mempunyai konsentrasi yang lebih tinggi ke daerah yang mempunyai konsentrasi lebih rendah.

$$dQ/dt = DAP (C_1 - C_2/L)$$

### **Dimana :**

$dQ/dt$  = Kecepatan difusi ke permukaan akar tanaman.

$D$  = Koefisiensi difusi dari spesies unsur dalam larutan air tanah (air) ( $Q$ ).

$A$  = Penampang melintang areal yang dianggap mewakili permukaan serapan total akar.

$P$  = Fraksi volume tanah yang diisi oleh air, termasuk Tortuositas.

$C_1$  = Konsentrasi unsur hara dalam larutan tanah pada jarak  $L$  dari permukaan akar tanaman.

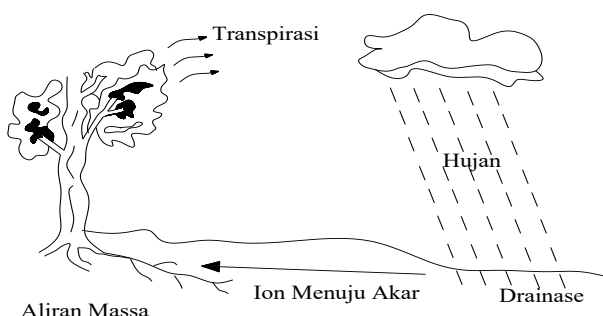
$C_2$  = Konsentrasi unsur hara pada permukaan akar.

$L$  = Jarak dari permukaan akar tanaman dimana faktor  $P$  menandakan fraksi total volume tanaman yang diisi air.

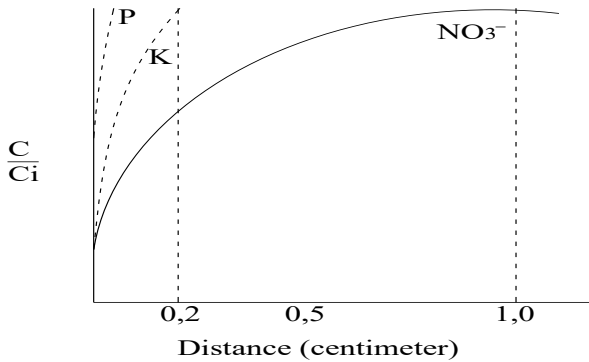
Kecepatan difusi akan tergantung pada kandungan air dalam tanah, tanah bertekstur halus terjadi difusi lebih cepat dibandingkan tanah bertekstur kasar. Besarnya Gradien Konsentrasi  $(C_1 - C_2)/L$  merupakan tenaga penggerak difusi. Apabila  $C_1$  adalah konsentrasi unsur dalam larutan tanah dan  $C_2$  adalah konsentrasi unsur pada larutan akar, maka kecepatan difusi akan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi  $C_1$  dengan menurunnya atau rendahnya konsentrasi  $C_2$  pada  $L$  yang sama.

### **Intersepsi**

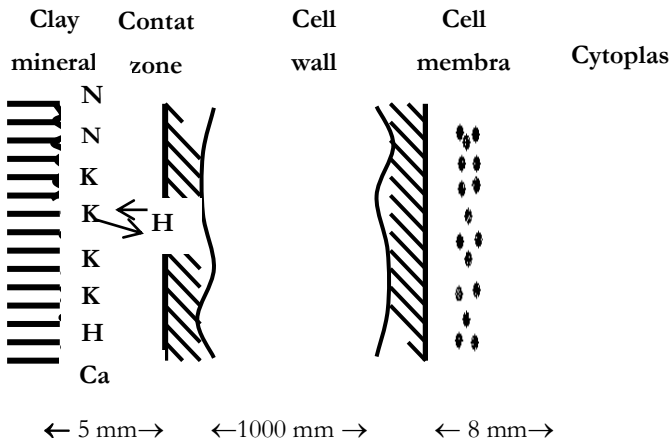
Akar tanaman menjelajahi solum tanah, menempati ruang yang ada unsur hara tersedia. Selama perkembangannya akar tanaman akan bertemu dengan ion-ion yang ada pada permukaan jerapan, sehingga berlangsung perpindahan ion dari kompleks jerapan ke permukaan akar tanaman. Perkiraan besarnya kontribusi intersepsi ditentukan berdasarkan asumsi: Jumlah maksimum hara yang diintersepsi merupakan bentuk yang tersedia. Akar tanaman rata-rata menempati 1% volume total tanah. Kurang lebih 50% dari volume total tanah adalah ruang pori, karenanya akar tanaman akan menempati 2% dari ruang pori.



**Gambar 6. Pergerakan Aliran Massa**



**Gambar 7. Kurva Daya Jelajah Ion**



**Gambar 8. Pertukaran Kontak Akar**

Nutrisi dalam bentuk Kation:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ . Bentuk Anion:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}_2\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{HMoO}_4^-$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ . Bentuk Molekul:  $\text{HBO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ,  $\text{BO}_3^{3-}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{O}^2$ ,  $\text{OH}^-$ . Bentuk Gas:  $\text{CO}_2$ .

### **Mekanisme Serapan**

Unsur hara yang diserap oleh akar tanaman dari larutan tanah dalam bentuk ion. Proses masuknya unsur hara dari larutan tanah

yang mengandung ion-ion ke dalam akar tanaman disebut: Serapan ion. Akar yang tumbuh di dalam pori-pori tanah melakukan kontak dengan ion di dalam larutan tanah pada kompleks pertukaran atau kompleks jerapan tanah. Dalam keadaan pengambilan ion yang terjadi dengan cara pertukaran kation. Hal ini dimungkinkan terjadi karena permukaan akar, juga mempunyai kompleks pertukaran ion yaitu: Teori Pertukaran Kontak, Teori Pertukaran Asam Karbonat, Teori Keseimbangan *Donnan*.

### **Teori Pertukaran Kontak**

Salah satu mekanisme penyerapan unsur hara oleh tanaman melalui kontak langsung antara permukaan akar dan partikel tanah. Dalam teori ini, ion-ion hara yang teradsorpsi pada permukaan partikel tanah atau misel tanah, tidak terikat erat dan dapat bergerak dalam volume ruang yang kecil, serta dapat dipertukarkan secara elektrostatis dengan ion-ion yang ada pada permukaan akar. Mekanisme Pertukaran Kontak: Akar tanaman tumbuh memanjang dan menerobos partikel-partikel tanah, sehingga terjadi kontak langsung antara permukaan akar dengan hara yang ada di dalam larutan tanah atau bagian tanah lainnya. Ion-ion hara yang teradsorpsi pada permukaan akar dan partikel tanah dapat dipertukarkan secara elektrostatis. Ion  $K^+$  dari larutan tanah dapat dipertukarkan dengan ion  $H^+$  yang teradsorpsi pada permukaan akar. Ion-ion yang telah dipertukarkan kemudian dipindahkan ke dalam sel akar melalui proses difusi. Teori ini menjelaskan bagaimana unsur hara dapat diserap oleh tanaman meskipun tidak selalu berada dalam fase larutan. Pertukaran kontak merupakan mekanisme penting dalam penyerapan  $Ca^+$  dan  $Mg^{2+}$ , serta menjadi salah satu jalur utama penyerapan unsur hara lainnya, juga membantu menjelaskan mekanisme penyerapan nutrisi oleh tanaman melalui kontak langsung antara akar dan partikel tanah, terutama pada kondisi dimana aliran massa atau difusi tidak dominan.

### **Teori Pertukaran Asam Karbonat**

Menjelaskan bagaimana tanaman menyerap nutrisi dari tanah. Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang dilepaskan oleh akar tanaman saat respirasi bereaksi dengan air di tanah membentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Asam karbonat ini kemudian terdisosiasi menjadi ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) dan ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Ion hidrogen kemudian dapat menukarkan kation yang terikat pada partikel tanah, melepaskan nutrisi seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , dan  $\text{K}^+$  ke dalam larutan tanah, sehingga mudah diserap oleh akar tanaman.

Mekanisme Akar tanaman melepaskan  $\text{CO}_2$  sebagai produk sampingan dari respirasi.  $\text{CO}_2$  yang dilepaskan bereaksi dengan air di sekitar akar membentuk asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Asam karbonat adalah asam lemah yang terdisosiasi sebagian menjadi ion  $\text{H}^+$  dan ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ). Ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) yang dihasilkan kemudian menukarkan kation yang terikat pada partikel tanah (misalnya,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ). Kation yang dilepaskan dari partikel tanah masuk ke dalam larutan tanah dan tersedia untuk diserap oleh akar tanaman. Akar tanaman menyerap nutrisi (kation) yang terlarut dalam larutan tanah.

### **Teori Kesetimbangan Donnan**

Dikenal kesetimbangan Gibbs-Donnan, menjelaskan bagaimana distribusi ion-ion dalam larutan yang dipisahkan oleh membran semipermeabel (membran yang hanya bisa dilewati oleh ion-ion tertentu) dapat terpengaruh oleh keberadaan ion-ion yang tidak bisa melewati membran tersebut (ion tetap “*immobile*”). Intinya, adanya ion-ion yang tidak bisa melewati membran menyebabkan perbedaan konsentrasi ion-ion yang bisa melewati membran di kedua sisi *membrane*. Membran ini hanya membiarkan ion-ion tertentu (ion “*permeable*”) untuk melewatinya, sementara ion-ion lain (ion non-permeabel atau tetap) tidak bisa. Ion-ion memiliki muatan, tetapi tidak dapat melewati membran. Contohnya protein dalam sel yang bermuatan, karena ion tetap tidak bisa keluar dari

satu sisi membran, ion-ion yang dapat melewati membran akan terdistribusi secara tidak merata untuk menjaga netralitas listrik di kedua sisi membran.

### **Transportasi Unsur Hara**

Masuknya unsur hara dari larutan tanah ke Epidermis kemudian ditransportasikan ke Sitoplasma antar sel-sel penyusun jaringan akar. Masuknya unsur hara ke Epidermis dapat melalui dua cara:

1. Melalui ruang bebas hambatan yang ada diantara dinding sel-sel Epidermis. Proses masuknya unsur hara ke ruang bebas hambatan secara non osmotik yaitu dengan difusi dan pertukaran kontak.
2. Melalui *Plasmalema* yaitu ion secara pasif dan ion secara aktif. Bulu-bulu akar ke sel-sel Epidermis, maka ditransportasikan masuk ke Protoplasma antar sel-sel penyusun jaringan akar yang lain yaitu Korteks–Endodermis-Perisikel-*Xylem* (*Simplast*).

Transportasi dari Epidermis ke Korteks mengikuti transportasi *Apoplast*, sedangkan sampai Perisikel ada halangan Pita Kaspari yang terdapat dalam Endodermis. Terutama dinding sel yang mengalami *Subernisasi*, oleh karena itu transportasi pada saat melalui Pita Kaspari adalah *Simplast*, setelah itu dari Perisikel ke *Xylem* ("*apoplast*").

### **Unsur Hara Essensial**

Unsur tersebut mutlak dibutuhkan, apabila kurang menunjukkan defisiensi dan fungsinya tidak dapat digantikan oleh unsur lainnya. Unsur hara Makro (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S). Unsur hara Mikro (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Cl). Ketersediaan unsur Hara Essensial dalam tanah: Lansung tersedia dalam bentuk ion ("*kation/anion*") yang berada dalam kompleks jerapan atau absorpsi. Tersedia moderat, tidak melarut dalam air tanah, kecuali yang berbentuk *Khelat*, Tidak tersedia, Berada dalam bentuk mineral primer.

### **C. Penggunaan Pupuk**

Pupuk adalah bahan yang ditambahkan pada media tumbuh tanaman (tanah, media tanam) untuk menyediakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman agar tumbuh optimal. Pupuk dikategorikan berdasarkan asalnya (alam dan buatan), kandungannya (tunggal dan majemuk), dan bentuk fisiknya (padat dan cair).

Berdasarkan asalnya: Pupuk alam: Berasal dari bahan alami, seperti pupuk kandang, pupuk kompos, pupuk hijau, dan pupuk kandang. Pupuk buatan/kimia: Diproduksi melalui proses kimia dan fisika di pabrik, contohnya Urea, NPK, TSP, dan ZA. Berdasarkan kandungannya: Pupuk tunggal mengandung satu jenis unsur hara, misalnya pupuk urea (N), pupuk SP-36 (P), dan pupuk KCl (K). Pupuk majemuk mengandung lebih dari satu unsur hara: NPK. Berdasarkan bentuk fisik: Pupuk berbentuk padat: butiran, granul, atau tablet. Berbentuk cairan berupa POC. Pupuk Organik berupa Pupuk Kandang berasal dari kotoran hewan ternak, kaya akan unsur hara. Pupuk Kompos dihasilkan dari dekomposisi bahan organik dan Pupuk Hijau dihasilkan dari tanaman hijau yang ditanam khusus untuk pupuk. Pupuk Bokashi merupakan pupuk organik yang difermentasi.

Upaya untuk memperoleh hasil tanam yang baik tanaman harus dipupuk dengan benar. Umumnya terdapat macam cara penggunaan pupuk, yaitu: Ditaburkan secara merata di atas tanah (*Broadcast*), Ditempatkan di dalam lubang (*Larikan*): Secara tunggal di samping tanaman (*Local or Hill*); Secara larikan diantara barisan tanaman (*Band Placement*); Secara keliling tanaman (*Band Placement*) dan Disemprotkan melalui daun (*Foliar spray*).

#### **Pupuk An-Organik**

Nitrogen relatif lebih mudah bergerak atau mobil dalam tanah oleh karena itu mempunyai kecepatan mencapai permukaan akar dan mudah hilang akibat pencucian ataupun menguap ke udara. Masalah penggunaan N terutama di daerah tropis yang mempunyai

suhu dan kelembaban tinggi serta iklim basah seperti Indonesia, mempunyai keefisienan rendah. Hal ini disebabkan karena hilangnya N meningkat dengan makin banyaknya pemberian pupuk N ke tanah. Pupuk N tidak diberikan sekaligus, tetapi diberikan bertingkat menurut fase pertumbuhan tanaman. Pupuk P yang larut dalam air lebih respons bila diberikan dalam larikan pertama pada tanah-tanah yang miskin P. Pupuk P sangat dianjurkan sebagai pupuk dasar, digunakan sebelum tanam. Keuntungan pemberian pupuk seawal mungkin dalam pertumbuhan akan mendorong pertumbuhan akar permulaan yang akan memberikan tanaman berdaya serap hara lebih baik. Efektivitas yang tinggi dari pupuk P sangat dipengaruhi oleh ukuran, jarak dan waktu pemberian. Segi praktis yang perlu diperhatikan dalam penggunaan pupuk K adalah: Dosis pupuk, Frekuensi penggunaan, Penempatan, Bentuk dari pupuk, Pengaruh garam dari pupuk. Pupuk K dapat digunakan sebagai pupuk dasar, ditempatkan secara jalur atau dicampur dengan biji, disebar pada permukaan tanah, dicampur dengan tanah saat pengolahan tanah. Pupuk S tidak dianjurkan pada tanah dalam keadaan *an-aerob*, karena kemungkinan terbentuknya Sulfida yang dapat meracuni tanaman. Urea-Sulfur dapat digunakan secara langsung atau beberapa bulan sejak masa pertumbuhan, Sulfur mudah hilang akibat pencucian.

### **Pupuk Daun**

Pupuk daun sangat dipengaruhi oleh: Konsentrasi bahan larutan, lamanya kontak dengan daun, temperatur, arah angin dan CO<sub>2</sub>.

### **Pupuk Majemuk**

Penggunaan pupuk majemuk pada umumnya sama dengan pupuk tunggal. Keuntungan dari penggunaannya dengan satu kali pemberian telah terpenuhi tiga atau lebih unsur pupuk, di samping menghemat tenaga kerja dan biaya. Kesukarannya adalah tidak sesuai antara kebutuhan tanaman dengan kandungan pupuk.

## Pupuk Mikro

Unsur mikro sebagai pupuk dapat melalui tanah dalam kadar tertentu ke dalam pupuk makro atau melalui daun (Penyemprotan).

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 209/Kpts/SR/3/2018. Tentang Persyaratan Minimal Pupuk An-Organik. Ini berarti keputusan tersebut menetapkan standar teknis yang harus dipenuhi oleh pupuk anorganik agar dapat beredar dan digunakan secara sah di Indonesia. Secara lebih rinci, keputusan ini mengatur: Komposisi dan kandungan unsur hara: persyaratan mengenai kandungan unsur hara yang harus ada dalam pupuk anorganik, baik pupuk tunggal maupun pupuk majemuk. Proses uji mutu dan efektivitas pupuk anorganik untuk memastikan bahwa pupuk yang beredar benar-benar memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Menjadi dasar dalam proses pendaftaran pupuk anorganik di Kementerian Pertanian, tertuang pada Tabel 3 di bawah.

**Tabel 3.** Persyaratan Teknis Minimal (PTM) Pupuk An-organik

### 1. PTM Hara Makro

Jenis Hara	Pupuk Makro Tunggal		Pupuk Makro Majemuk	
	Padat	Cair	Padat	Cair
Hara Makro Primer:				
- Total Nitrogen	SNI**	min 20%	- Total (N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O) min 30%, masing-masing unsur min 6%	- Total (N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O) min 30%, masing-masing unsur min 6%
- Total Fosfor (sebagai P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	SNI**	min 8%	- Total (N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) atau (N+K <sub>2</sub> O) atau (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O) min 20%, masing-masing unsur min 6%	- Total (N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) atau (N+K <sub>2</sub> O) atau (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O) min 8%, masing-masing unsur min 2%
- Total Kalium (sebagai K <sub>2</sub> O)	SNI**	min 15%	- Total N atau P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> atau K <sub>2</sub> O min 10%	- Total N atau P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> atau K <sub>2</sub> O min 4%

Hara Makro Sekunder:				
- Sulfur (sebagai S)	min 75%	min 20%	min 9%	min 3%
- Kalsium sebagai CaO)	min 40%	min 15%	min 15%	min 5%
- Magnesium (sebagai MgO)	min 25%	min 6%	min 9%	min 2%
Silika (sebagai SiO <sub>2</sub> )	min 10%			
Silika Gel (sebagai SiO <sub>2</sub> )	min 60%	min 5%	min 6%	min 4%
Kadar Air:	maks 1%***			
	maks 5%****	-	maks 1%***	-
		-	maks 5%****	-
Logam *****	Berat:			
- As	maks 100 ppm			
- Hg	maks 10 ppm			
- Cd	maks 100 ppm			
- Pb	maks 500 ppm			

### Keterangan:

\*) Pupuk majemuk adalah pupuk yang mengandung minimal 2 (dua) unsur hara dan terdiri atas :

- Makro primer;
- Makro sekunder;
- Makro primer + makro sekunder;
- Makro primer + silika;
- Makro sekunder + silika; atau
- Makro primer + makro sekunder + silika.

\*\*) Pupuk yang tidak atau belum diatur dalam SNI dan Permentan, maka perlu rekomendasi dari Tim Teknis.

\*\*\*) Berlaku untuk pupuk padat yang mengandung Nitrogen.

\*\*\*\*) Berlaku untuk pupuk padat lainnya.

\*\*\*\*\*) Syarat tambahan logam berat: Ni < 0,4%; Cr < 4% untuk pupuk padat yang mengandung silika.

## 2. PTM Hara Mikro

Jenis Hara	Pupuk Mikro Tunggal		Pupuk Mikro Majemuk	
	Padat	Cair	Padat	Cair
Hara Mikro:				
- Seng (Zn)	SKI**	min 2%	Minimal	Minimal
- Boron (B)	SKI**	min 2%	terdiri atas 2 (dua) unsur	terdiri atas 2 (dua) unsur
- Tembaga (Cu)	SKI**	min 2%		
- Mangan (Mn)	SKI**	min 2%	Total ≥ 5%	Total ≥ 2%
- Molibden (Mo)	SKI**	min 2%		
- Kobal (Co)	SKI**	min 2%	1 (satu) unsur	1 (satu) unsur
- Besi (Fe)	SKI**	min 2%	minimal 1%	minimal 1%
Kadar Air:	maks 2%	-	maks 2%	-
Logam Berat:				
- As	maks 25 ppm	maks 5 ppm	maks 25 ppm	maks 5 ppm
- Hg	maks 2,5 ppm	maks 0,2 ppm	maks 2,5 ppm	maks 0,2 ppm
- Cd	maks 2,5 ppm	maks 0,2 ppm	maks 2,5 ppm	maks 0,2 ppm
- Pb	maks 25 ppm	maks 1 ppm	maks 25 ppm	maks 1 ppm
	maks 125 ppm	maks 5 ppm	maks 125 ppm	maks 5 ppm
	maks 125 ppm	maks 5 ppm	maks 125 ppm	maks 5 ppm

### Keterangan:

\*) Pupuk mikro majemuk adalah pupuk yang terdiri atas minimal 2 (dua) unsur hara mikro.

\*\*\*) SKI: Standar Kimia Industri, kecuali pupuk hara mikro yang sudah mempunyai SNI: (seng sulfat teknis, pupuk borat, tembaga sulfat teknis (terusi))

### Pupuk Organik

Pupuk Hijau adalah bagian tanaman yang masih hidup yang diberikan pada tanaman tergolong *Legumes* dan non-*Legumes* (*Crotalaria juncea*, *Crotalaria casaramoensis*, *Lepodeza colopogonium sp*, *Glycine max*, *Sisbania sp*).

### Kompos

Kompos adalah bahan organik yang telah mengalami proses dekomposisi atau pelapukan, biasanya melalui bantuan mikroor-

ganisme, menjadi bentuk yang lebih stabil dan kaya nutrisi. Kompos digunakan sebagai pupuk organik untuk meningkatkan kesuburan tanah dan membantu pertumbuhan tanaman.

Berbagai bahan organik, seperti sisa tanaman (daun, batang, ranting), sampah dapur organik (kulit buah, sayuran), kotoran hewan, dan bahan organik lainnya. Proses pengomposan melibatkan dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme (bakteri dan jamur) yang mengubah bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Manfaat daripada kompos dapat, Meningkatkan kesuburan tanah dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Memperbaiki struktur tanah, meningkatkan porositas, aerasi, dan kemampuan tanah menyimpan air. Mengurangi penggunaan pupuk kimia dan membantu menjaga kesehatan lingkungan. Memperbaiki kesehatan akar tanaman dan membantu tanaman tumbuh lebih baik.

Limbah pertanian yang telah dijadikan kompos perlu dikembalikan ke lahan pertanian karena mengandung unsur hara, di samping keuntungan: Menambah daya resistensi air dan tanah, Menambah KTK, Mengurangi bahaya pencucian unsur hara ("*leaching*"), Menambah kadar N, P, S.

### **Pupuk Kandang**

Berasal dari sisa (Kotoran hewan). Nilai pupuk kandang ditentukan oleh kandungan unsur hara dan tingkat pelapukannya, sehingga nilainya dipengaruhi oleh: Macam makanan dan sistem pemeliharaan, Kandungan bahan lain, Alas kandang, Kesehatan dan umur hewan, Jenis hewan, Metode pengolahan. Keuntungan dari pemberian pupuk dapat memperbaiki kesuburan fisika tanah melalui perubahan struktur dan permeabilitas tanah. Dapat memperbaiki kesuburan kimia tanah karena mengandung N, P, K, Ca, Mg, dan Cl, Meningkatkan kegiatan mikroorganisme dan menghasilkan hormon (*Auxin, GA, CYTO*).

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 mengatur tentang Persyaratan

Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah. Keputusan ini menetapkan standar dan persyaratan yang harus dipenuhi oleh pupuk organik, hayati, dan pembenh tanah agar dapat beredar dan digunakan dalam kegiatan pertanian.

Persyaratan Teknis Minimal: Keputusan ini merinci persyaratan teknis minimal yang harus dipenuhi oleh pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenh tanah. Persyaratan ini meliputi definisi, syarat mutu, dan parameter lain yang terkait dengan kandungan hara, keamanan, dan efektivitas produk. Ruang lingkup keputusan ini mencakup definisi dan persyaratan mutu untuk pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenh tanah. Tujuan dari keputusan ini adalah untuk menjamin ketersediaan pupuk organik, hayati, dan pembenh tanah yang berkualitas dan aman bagi tanaman, tanah, dan lingkungan. Keputusan ini berlaku untuk produsen, distributor, dan pengguna pupuk organik, hayati, dan pembenh tanah.

Pupuk Organik: Didefinisikan sebagai pupuk yang berasal dari bahan organik (tanaman atau hewan) yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dan digunakan untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Pupuk Hayati: Didefinisikan sebagai pupuk yang mengandung mikroorganisme yang dapat memberikan manfaat bagi tanaman, seperti meningkatkan kesuburan tanah dan membantu penyerapan unsur hara. Pembenh Tanah: Didefinisikan sebagai bahan yang ditambahkan ke dalam tanah untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, namun bukan pupuk.

Pupuk organik menyediakan nutrisi bagi tanaman dan meningkatkan kualitas tanah, termasuk meningkatkan kandungan bahan organi. Pupuk hayati mengandung mikroorganisme yang dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan menguraikan bahan organik dan menyediakan nutrisi yang lebih mudah diserap tanaman, serta menekan pertumbuhan organisme patogen. Pembenh tanah,

memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, meningkatkan aerasi, KTK, dan kemampuan tanah menahan air.

**Tabel 4.** Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik

**A.** Pupuk Organik Padat

No.	Parameter	Satuan	Standar Mutu	
			Murni	Diperkaya Mikroba
1.	C-organik	%	minimum 15	minimum 15
2.	C/N	-	≤25	≤25
3.	Kadar Air	% (w/w)	8-20	10-25
4.	Hara makro (N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O)	%	minimum 2	
5.	Hara Mikro			
	Fe total	ppm	maksimum	maksimum
	Fe tersedia	ppm	15.000	15.000
	Zn	ppm	maksimum 500 maksimum 5000	maksimum 500 maksimum 5000
6.	Ph	-	4-9	4-9
7.	<i>E.Coli</i>	cfu/g atau MPN/g	<1 x 10 <sup>2</sup>	<1 x 10 <sup>2</sup>
	<i>Salmonella sp</i>	cfu/g atau MPN/g	<1 x 10 <sup>2</sup>	<1 x 10 <sup>2</sup>
8.	Mikroba Fungsional**	cfu/g	-	≥1 x 10 <sup>5</sup>
9.	Logam berat			
	As	ppm	maksimum 10	maksimum 10
	Hg	ppm	maksimum 1	maksimum 1
	Pb	ppm	maksimum 50	maksimum 50
	Cd	ppm	maksimum 2	maksimum 2
	Cr	ppm	maksimum 180	maksimum 180
	Ni	ppm	maksimum 50	maksimum 50
10.	Ukuran butir 4,75 mm***	2- %	minimum 75	minimum 75
11.	Bahan ikutan (plastik, kaca, kerikil)	%	maksimum 2	maksimum 2

12.	Unsur/senyawa lain ****	ppm	maksimum 2000	maksimum 2000
	Na	ppm	maksimum 2000	maksimum 2000
	Cl			

**Keterangan:**

- \*) Dalam prosesnya tidak boleh menambahkan bahan kimia sintetis.
- \*\*\*) Mikroba fungsional sesuai klaim genusnya dan jumlah genus masing-masing  $\geq 1 \times 10^5$  cfu/g
- \*\*\*\*) Khusus untuk pupuk organik granul.
- \*\*\*\*\*) Khusus untuk pupuk organik hasil ekstraksi rumput laut. Semua persyaratan diatas kecuali kadar air, dihitung atas dasar berat kering (adbk).

**Pupuk Organik Cair\***

No.	Parameter	Satuan	Standar Mutu
1.	C-organik	% (w/v)	minimum 10
2.	Hara makro (N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O)	% (w/v)	2-6
3.	N-Organik	% (w/v)	minimum 0,5
4.	Hara Mikro**		
	Fe total	ppm	90-900
	Mn total	ppm	25-500
	Cu total	ppm	25-500
	Zn total	ppm	25-500
	B total	ppm	12-250
	Mo total	ppm	2-10
5.	pH	-	4-9
6.	<i>E.Coli</i>	cfu/ml atau MPN/ml	$<1 \times 10^2$
	<i>Salmonella sp</i>	cfu/ml atau MPN/ml	$<1 \times 10^2$

7.	Logam berat		
	As	ppm	maksimum 5,0
	Hg	ppm	maksimum 0,2
	Pb	ppm	maksimum 5,0
	Cd	ppm	maksimum 1,0
	Cr	ppm	maksimum 40
	Ni	ppm	maksimum 10
8.	Unsur/senyawa		
	lain ****	ppm	maksimum 2000
	Na	ppm	maksimum 2000
	Cl		

**Keterangan:**

- \* ) Dalam prosesnya tidak boleh menambahkan bahan kimia sintetis.
- \*\* ) Minimum 3 (tiga) unsur.
- \*\*\* ) Khusus untuk pupuk organik cair hasil ekstraksi rumput laut dan produk laut lainnya.

Kebutuhan tanaman akan hara dan cadangan hara tersedia dalam tanah adalah dua hal sangat penting untuk dipertimbangkan dalam rangka penerapan pemberian Pupuk dan Kapur di lapang. Perhitungan pupuk tanaman melibatkan beberapa langkah untuk memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup, tetapi tidak berlebihan, termasuk menentukan kebutuhan pupuk berdasarkan jenis tanaman, luas lahan, dan rekomendasi dosis pupuk. Perhitungan ini juga mempertimbangkan kandungan hara dalam pupuk yang digunakan.

Langkah-langkah Perhitungan Kebutuhan Pupuk Tunggal, Pupuk Majemuk, Pupuk Kadang Sapi, Kapur Pertanian:

1. Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan hara yang berbeda. Misalnya, *Zea mays* L., *Oryza sativa* L., *Capsicum annum* L. memiliki kebutuhan pupuk yang berbeda-beda. Luas lahan yang akan dipupuk perlu diukur, dalam m<sup>2</sup> atau ha. Pemupukan untuk pertumbuhan vegetatif (daun dan batang), generatif (bunga dan buah), atau pemeliharaan.

2. Pilih Pupuk Tunggal: Urea, SP-36, KCl, Pupuk Majemuk (NPK): Mengandung kombinasi unsur hara N, P, dan K dalam berbagai rasio.
3. Hitung Kebutuhan Pupuk: Berdasarkan Rekomendasi pemupukan yang ada, dari Dinas Pertanian setempat atau Hasil Penelitian.
4. Berdasarkan Kandungan Hara: Kandungan hara dalam pupuk dan kebutuhan tanaman. Jika rekomendasi pupuk N, 100 kg/ha dan pupuk yang digunakan adalah Urea (46% N), maka kebutuhan Urea adalah  $100 \text{ kg}/0.46 = 217.4 \text{ kg/ha}$ . Jika luas lahan 1000 m<sup>2</sup> dan rekomendasi pupuk Urea adalah 50 gram per meter persegi, maka total pupuk yang dibutuhkan adalah  $50 \text{ gram/m}^2 * 1000 \text{ m}^2 = 50.000 \text{ gram}$  atau 50 kg.
5. Perhitungan Pupuk Majemuk NPK: memiliki lahan seluas 1 hektar (10.000 m<sup>2</sup>) dan ingin menggunakan pupuk NPK 16-16-16 dengan rekomendasi dosis 200 kg/ha, maka perhitungannya adalah: Kandungan N: 16% dari 200 kg = 32 kg N/ha. Kandungan P: 16% dari 200 kg = 32 kg P/ha. Kandungan K: 16% dari 200 kg = 32 kg K/ha. Jadi, untuk 1 hektar lahan, membutuhkan 200 kg pupuk NPK 16-16-16 yang mengandung 32 kg N, 32 kg P, dan 32 kg K.
6. Dosis umum Pupuk Kandang Sapi adalah 20-30 ton per hektar. Untuk menghitung kebutuhan pupuk kandang, Anda perlu mengetahui luas lahan yang akan dipupuk dan dosis pupuk yang direkomendasikan per satuan luas (misalnya, ton. ha<sup>-1</sup>). Hitung kebutuhan pupuk: luas lahan dalam m<sup>2</sup>: Kalikan luas lahan dengan dosis pupuk per m<sup>2</sup>. luas lahan dalam ha: Kalikan luas lahan (dalam ha) dengan dosis pupuk per ha. Konversi satuan sesuaikan satuan jika dosis pupuk dinyatakan dalam satuan yang berbeda (misalnya, dari kg ke ton atau sebaliknya). Memiliki lahan seluas 500 m<sup>2</sup> dan rekomendasi dosis pupuk kandang sapi adalah 25 ton per hektar. Luas lahan: 500 m<sup>2</sup>, Dosis pupuk: 25 ton/ha, Konversi

luas lahan ke hektar:  $500 \text{ m}^2 = 0.05 \text{ ha}$ . Kebutuhan pupuk:  $0.05 \text{ ha} * 25 \text{ ton/ha} = 1.25 \text{ ton}$ , Jadi membutuhkan 1.25 ton pupuk kandang sapi untuk lahan seluas  $500 \text{ m}^2$ .

7. Kebutuhan Kapur bertujuan untuk menentukan jumlah Kapur yang diperlukan untuk mencapai pH tanah yang diinginkan, biasanya untuk menetralkan keasaman tanah atau meningkatkan kesuburan. Perhitungan ini melibatkan beberapa faktor seperti pH tanah saat ini, pH yang diinginkan, dan jenis tanah. Metode Perhitungan Kebutuhan Kapur: Berdasarkan pH Tanah. Kebutuhan kapur (ton/ha) = (pH target – pH saat ini) × faktor tekstur tanah. Faktor tekstur tanah berbeda-beda tergantung jenis tanah (misalnya, tanah liat, lempung berpasir, gambut). Contoh: Jika pH tanah saat ini 4,8 ( $\text{CaCl}_2$ ) dan pH target 5,5 ( $\text{CaCl}_2$ ) pada tanah lempung berpasir, kebutuhan kapur sekitar 2,1 ton per hektar. Berdasarkan Aluminium yang Dapat Ditukar (Al~dd): Metode ini mengukur kandungan Al yang dapat ditukar dalam tanah, yang berkontribusi pada keasaman tanah. Setiap 1 me Al~dd/100g tanah biasanya memerlukan sekitar 1,5 ton  $\text{CaCO}_3$ /ha. Contoh: Jika hasil analisis tanah menunjukkan 1,46 me Al~dd, maka kebutuhan  $\text{CaCO}_3$  adalah  $1,5 \times 1,46 = 2,19 \text{ ton/ha}$ . Berdasarkan Uji Laboratorium: Metode Woodruff, SMP, Adams-Evans, dan Mehlich, digunakan untuk menentukan kebutuhan kapur berdasarkan karakteristik tanah tertentu. Metode ini membantu memperkirakan jumlah kapur yang dibutuhkan untuk mencapai pH target, terutama pada tanah dengan kondisi khusus. Misalnya, metode Mehlich digunakan untuk memprediksi kebutuhan kapur untuk menetralkan Al yang dapat dipertukarkan. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan: Jenis Tanah: Tekstur dan kandungan bahan organik tanah mempengaruhi kebutuhan kapur. pH tanah saat ini, pH tanah yang berbeda memerlukan jumlah kapur yang berbeda untuk mencapai pH target. pH target: Target

pH yang diinginkan akan mempengaruhi perhitungan kebutuhan kapur. Jenis Kapur: Jenis kapur yang digunakan memiliki daya netralisasi yang berbeda. Kedalaman Tanah: Perhitungan perlu mempertimbangkan kedalaman lapisan tanah yang akan dikapur. KTK= CEC tanah juga dapat mempengaruhi kebutuhan kapur.

**Tabel 5.** Kriteria Penilaian Hasil Analisa Tanah

Parameter Tanah*	Nilai				
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
C (%)	<1	1-2	2-3	3-5	>5
N (%)	<0,1	0,1-0,2	0,21-0,5	0,51-0,75	>0,75
C/N	<5	5-10	11-15	16-25	>25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> HCl 25% (mg/100g)	<15	15-20	21-40	41-60	>60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Bray (ppm P)	<4	5-7	8-10	11-15	>15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Olsen (ppm P)	<5	5-10	11-15	16-20	>20
K <sub>2</sub> O HCl 25% (mg/100g)	<10	10-20	21-40	41-60	>60
KTK/CEC (me/100 g tanah)	<5	5-16	17-24	25-40	>40
Susunan kation					
Ca (me/100 g tanah)	<2	2-5	6-10	11-20	>20
Mg (me/100 g tanah)	<0,3	0,4-1	1,1-2,0	2,1-8,0	>8
K (me/100 g tanah)	<0,1	0,1-0,3	0,4-0,5	0,6-1,0	>1
Na (me/100 g tanah)	<0,1	0,1-0,3	0,4-0,7	61-80	>1
Kejenuhan Basa (%)	<20	20-40	41-60	20-40	>80
Kejenuhan Alumunium (%)	<5	5-10	10-20	20-40	>40

Cadangan mineral (%)	<5	5-10	11-20	3-4	>40
Salinitas/DHL (dS/m)	<1	1-2	2-3	10-15	>4
Persentase natrium dapat tukar/ESP (%)	<2	2-3	5-10		>15

Parameter tanah pada lahan sawah*	Nilai		
	Rendah	Sedang	Tinggi
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> HCl 25% (mg/100g)	<20	20-40	>40
K <sub>2</sub> O HCl 25% (mg/100g)	<20	20-40	>40

	Sangat Masam	Masam	Agak Masam	Netral	Agak alkalis	Alkalis
pH H <sub>2</sub> O	<4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	6,6-7,5	7,6-8,5	>8,5

Unsur DPTA*	Mikro Defisiensi	Marginal	Cukup
Zn (ppm)	0,5	0,5-1,0	1,0
Fe (ppm)	2,5	2,5-4,5	4,5
Mn (ppm)	1,0	-	1,0
Cu (ppm)	0,2	-	0,2

Unsur makro & mikro Morgan*	Nilai				
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Ca (ppm)	71	107	143	286	572
Mg (ppm)	2	4	6	23	60
K (ppm)	8	12	21	36	58
Mn (ppm)	1	1	3	9	23
Al (ppm)	1	3	8	21	40
Fe (ppm)	1	3	5	19	53
P (ppm)	1	2	3	9	13
NH <sub>4</sub> (ppm)	2	2	3	8	21

NO <sub>3</sub> (ppm)	1	2	4	10	20
SO <sub>4</sub> (ppm)	20	40	100	250	400
Cl (ppm)	30	50	100	325	600

\*Penilaian ini hanya didasarkan pada sifat umum secara empiris

Parameter Tanah**	Nilai				
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
K <sub>2</sub> O HCl (mg/100g)	<5	5-10	11-20	>20	40

\*Penilaian ini didasarkan pada respon tanaman dan digunakan untuk pemetaan status hara P dan K tanah sawah

**Tabel 6.** Perhitungan Kebutuhan Pupuk dan Kapur

Jenis Analisa	Satuan	Hasil Analisa
pH H <sub>2</sub> O (1 : 2,5)	-	5,4
pH KCl (1 : 2,5)	-	4,1
C – Organik	(%)	1,7
N – Total	(%)	0,10
P - Bray I	(ppm)	4,50
K ~ dd	(me/100g)	0,10
Na ~ dd	(me/100g)	0,17
Ca ~ dd	(me/100g)	0,31
Mg ~ dd	(me/100g)	0,05
KTK	(me/100g)	7,00
Al ~ dd	(me/100g)	1,79
H ~ dd	(me/100g)	0,53
Tekstur	(%)	
Pasir	(%)	64,96
Debu	(%)	24,00
Liat	(%)	11,04

Penentuan takaran pupuk berdasarkan hasil analisa tanah, pupuk yang digunakan:

1. Pupuk Urea: 75 kg/ha
2. Pupuk TSP dengan perlakuan yaitu:
  - a. 50 kg/ha
  - b. 75 kg/ha
  - c. 100 kg/ha
  - d. 125 kg/ha
3. Pupuk KCl: 75 kg/ha

Luas petakan = 2 m x 1,5 m = 3,0 m<sup>2</sup>. Jarak tanam = 40 cm x 20cm = 800 cm<sup>2</sup> (0,08 m<sup>2</sup>). Kedalaman olah = 20 cm (0,20 m). Berat jenis= 1,0. Berat tanah 1 ha = 100 m x 100 m x 0,20 m x 1,0 = 2,0 x 10<sup>6</sup> kg/ha. Berat tanah perpetak = 200 cm x 150 cm x 20 cm x 1 gr/cm<sup>3</sup> = 600.000 gr/petak. = 600 kg/petak.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah populasi per ha} &= \frac{10.000 \text{ m}^2}{0,08 \text{ m}^2} \\ &= 125.000 \text{ tanaman} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah populasi per petak} = \frac{3,0 \text{ m}^2}{0,08 \text{ m}^2} = 40 \text{ tanaman}$$

1. Pupuk Urea: 75 kg/ha. N-Total: 0,10%. N-Total yang dapat diambil hanya 1% dari kadar N yang tersedia.

$$\text{N tersedia} = \frac{1}{100} \times \frac{0,1}{100} \times 2,0 \times 10^6 \text{ kg / ha} = 1 \times 0,1 \times 2,0 \times 10^2$$

$$\text{kg/ha} = 20 \text{ kg N/ha} = \frac{100}{46} \times 2,0 \text{ kg / ha} = 43,5 \text{ kg Urea/ha}$$

Kebutuhan Urea yang perlu diberikan adalah:

$$= 75 - 43,5 \text{ kg Urea/ha}$$

$$= 31,5 \text{ kg Urea/ha}$$

Urea diberikan 2 (dua) kali yaitu:

$$\text{a) } 1/3 \text{ saat tanam} = 1/3 \times 31,5 \text{ kg/ha} = 10,5 \text{ kg/ha}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan per petak} &= \frac{600}{2,0 \times 10^6} \times 10,5 \text{ kg / ha} \\ &= 3,15 \text{ g/petak} \end{aligned}$$

b)  $2/3$  tiga mst =  $2/3 \times 31,5 \text{ kg/ha} = 21,0 \text{ kg/ha}$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan per petak} &= \frac{600}{2,0 \times 10^6} \times 21,0 \text{ kg/ha} \\ &= 6,30 \text{ g/petak} \end{aligned}$$

2. Pupuk TSP (Sebagai perlakuan). P - Bray I: 4,5 ppm. P - Bray I yang diabsorpsi tanaman hanya 35% dari kadar P tersedia. P tersedia = 4,5 ppm setara  $4,5 \text{ mg/kg} = 4,5 \text{ mg/kg} \times 2,0 \times 10^6 \text{ kg/ha} \times 0,35 = 3,06 \times 10^6 \text{ mg/kg} = 3,06 \text{ kg P/ha}$

$$\begin{aligned} &= \frac{100}{46} \times 3,06 \text{ kg TSP / ha} \\ &= 6,65 \text{ kg TSP/ha} \end{aligned}$$

a) TSP:  $50 \text{ kg/ha} = 50 - 6,65 \text{ kg} = 43,35 \text{ kg/ha}$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan per petak} &= \frac{600}{2,0 \times 10^6} \times 43,35 \text{ kg / ha} \\ &= 0,013005 \text{ kg/ha} \\ &= 13,005 \text{ g/petak} \end{aligned}$$

b) TSP:  $75 \text{ kg/ha} = 75 - 6,65 \text{ kg/ha} = 68,35 \text{ kg/ha}$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan TSP per petak} &= \frac{600}{2,0 \times 10^6} \times 68,35 \text{ kg / ha} \\ &= 0,020505 \text{ kg/ha} \\ &= 20,505 \text{ g/petak} \end{aligned}$$

c) TSP:  $100 \text{ kg/ha} = 100 - 6,65 \text{ kg/ha} = 93,35 \text{ kg/ha}$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan TSP per petak} &= \frac{600}{2,0 \times 10^6} \times 93,35 \text{ kg / ha} \\ &= 28,450 \text{ g/petak} \end{aligned}$$

d) TSP:  $125 \text{ kg/ha} = 125 - 6,65 \text{ kg/ha} = 118,35 \text{ kg/ha}$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan per petak} &= \frac{600}{2,0 \times 10^6} \times 118,35 \text{ kg / ha} \\ &= 35,505 \text{ g/petak} \end{aligned}$$

3. Pupuk KCl: 75 kg/ha. K - dd = 0,1 me/100 g. K tertukar yang dapat diabsorpsi tanah hanya 10% dari kadar K tertukar.

$$1 \text{ me K} = 60 \text{ mg} = 0,1 \times 60 \text{ mg}/100 \text{ g} = 6 \text{ mg}/100 \text{ g}$$

$$\text{K tertukar} = \frac{10}{100} \times \frac{6 \text{ mg}}{100} \times 2,0 \times 10^6 = 0,20 \times 10^4 \times 6 \text{ mg}$$

$$= 1,20 \text{ kg K/ha}$$

$$= \frac{100}{60} \times 1,20 \text{ kg KCL/ha}$$

$$= 2,0 \text{ kg KCl/ha}$$

Kebutuhan KCl yang perlu diberikan

$$= 75 - 2,0 \text{ kg/ha}$$

$$= 73 \text{ kg/ha}$$

$$\text{Kebutuhan KCl per petak} = \frac{600}{2,0 \times 10^6} \times 73 \text{ kg/ha}$$

$$= 0,0219 \text{ kg/ha}$$

$$= 21,9 \text{ g/petak}$$

### **Kebutuhan Kapur Pertanian (Dolomit)**

Dolomit =  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Berat Molekul  $\text{CaCO}_3 = 100$  Berat Molekul  $\text{MgCO}_3 = 84$

$$\frac{\text{CaCO}_3}{2} + \frac{\text{MgCO}_3}{2} = \frac{100}{2} + \frac{84}{2} = 92 \text{ me CaMg}(\text{CO}_3)_2$$

Luas tanah 1 ha = 100 m x 100 m = 10.000 m<sup>2</sup> (1 x 10<sup>8</sup> cm<sup>2</sup>). Berat tanah = 1 x 10<sup>8</sup> cm x 1,0 g/cm x 20 cm = 2,0 x 10<sup>9</sup> g/ha.

Menaikan pH tanah = 6,0 maka kebutuhan kapur (ton/ha) = 2,0 x

Al ~ dd atau 2,0 ton  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ /ha tiap me Al ~ dd/100g. Al ~

dd hasil analisa = 1,79 me/100g. 1 me setara dengan 1 mg. Setiap

100 g tanah = 92 mg x 2,0 x 10<sup>9</sup> g/10<sup>2</sup> g = 92 x 2,0 x 10<sup>7</sup> mg/ha  $\text{CaMg}$

$(\text{CO}_3)_2 = 184 \times 2,0 \times 10^7 \text{ mg/ha CaMg}(\text{CO}_3)_2 = 184 \times 10 \text{ kg Dolomit/ha} =$

1840 kg Dolomit/ha. Karena pH ingin dinaikan menjadi = 6,0 Maka

:1840 kg Dolomit/ha x 2,0 x 1,79 = 6587,2 kg Dolomit/ha. Diketahui

bahwa %  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = 95\% = 182,1 \text{ kg CaCO}_3$  murni,

$$\text{Jadi} = \frac{100}{95} \times \frac{100}{182,1} \times 6587,2 \text{ kg dolomit/ha} = 3807,74 \text{ kg Dolomit/ha.}$$

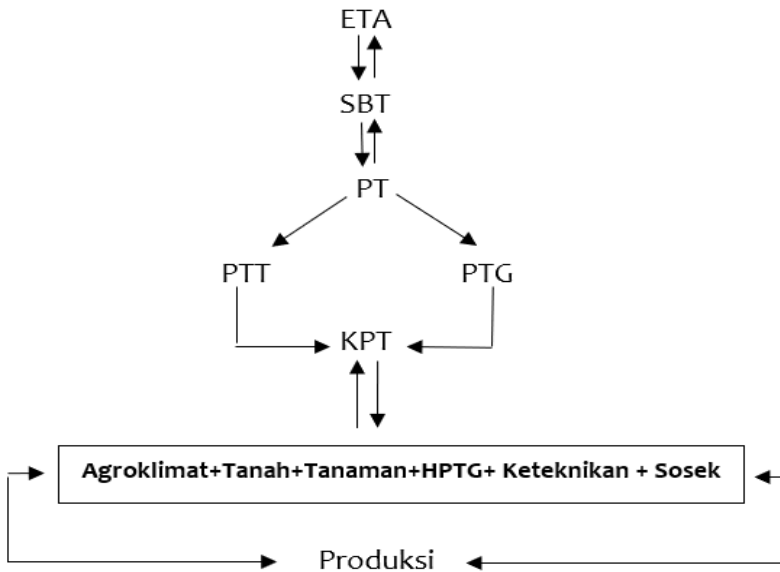
$$\text{Kebutuhan Dolomit per petak} = \frac{600}{2,0 \times 10^6} \times 3807,74 \text{ kg/ha} = 1,142322$$

kg/ha=1142,322 g Dolomit/petak.

# **POLA TANAM**

## **A. Jenis Model Tanam**

Setiap sistem budidaya tanaman dengan berbagai alternatif sistem pola tanamnya, digerakkan ke arah sasaran yang ingin dicapai bersama yaitu produksi yang secara Agronomis dapat memperoleh hasil maksimum, ekonomis dan Ekologis. Pola tanam merupakan faktor penentu yang sangat penting dari sistem produksi. Pola tanam yang baik harus dapat memanfaatkan dan mengintegrasikan komponen-komponen seperti: Lahan, iklim, air, jenis dan varietas tanaman, masukan-masukan, teknik budidaya, pasar, dan sebagainya seperti tertera pada Gambar 9. Sistem pengairan dan pola curah hujan sangat mempengaruhi daripada bentuk-bentuk pola tanam yang dapat dikembangkan. Pola tanam ini dibagi atas dua kelompok: Pola Tanam Tunggal dimana dalam satu tahun dilakukan penanaman satu kali dan secara Monokultur. Pola Tanam Ganda dimana dalam satu tahun pada lahan yang sama ditanami dua atau lebih tanaman dari jenis yang sama atau berbeda, baik ditanam secara bersamaan maupun dalam waktu yang berbeda.



**Gambar 9. Kaitan Pola Tanam**

**Keterangan :**

- ETA = Ekosistem Tanaman Agronomi.
- SBT = Sistem Budidaya Tanaman.
- PT = Pola Tanam.
- PTT = Pola Tanam Tunggal (*Sole cropping/Monoculture*).
- PTG = Pola Tanam Ganda (*Multiple cropping/Polyculture*).
- KPT = Komponen Pola Tanam.

**Ekosistem Tanaman Agronomi (ETA)**

Ekosistem tanaman agronomi adalah sistem kompleks yang melibatkan interaksi antara tanaman, tanah, air, iklim, dan organisme lain di lingkungan pertanian, dengan tujuan untuk memaksimalkan hasil panen dan keberlanjutan pertanian. Agronomi mempelajari bagaimana mengelola faktor-faktor ini untuk menciptakan kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman dan produksi pangan.

Tanaman merupakan komponen utama, dan agronomi mempelajari berbagai aspek, termasuk pemilihan varietas unggul, pemuliaan tanaman, fisiologi tanaman, dan pengelolaan hama dan penyakit.

Tanah adalah media tempat tanaman tumbuh, dan agronomi mempelajari cara mengelola kesuburan tanah, konservasi tanah, dan penggunaan bahan organik untuk meningkatkan produktivitas. Ketersediaan dan pengelolaan air sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Sistem irigasi yang efisien dan teknik konservasi air. Faktor iklim seperti suhu, curah hujan, dan cahaya matahari mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Mikroorganisme tanah, hama, dan penyakit merupakan bagian dari ekosistem

### ***Sistem Budidaya Tanaman (SBT) Tanaman Padi***

Lahan sawah pengairan, tadah hujan, sawah lebak atau rawa, pasang surut, gambut pedalaman, lahan kering tegalan, lahan kering perladangan, lahan kering tanaman tahunan, lahan kering tanaman pakan.

1. Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) adalah pendekatan yang mengintegrasikan pengelolaan lahan, air, tanaman, dan iklim secara terpadu dan berkelanjutan. Tujuannya adalah meningkatkan produktivitas padi, kelestarian lingkungan, dan pendapatan petani. PTT mencakup berbagai aspek, seperti penggunaan benih unggul, pemupukan berimbang, pengendalian hama dan penyakit yang terpadu, serta pengelolaan air yang efisien.
2. *System of Rice Intensification (SRI)*: SRI merupakan sistem budidaya padi yang menekankan pada pengelolaan sumber daya secara optimal, seperti penggunaan benih yang sedikit, pengurangan penggunaan air, pupuk kimia, dan pestisida. SRI juga melibatkan pemberdayaan petani dan kearifan lokal dalam pengelolaan lahan dan tanaman.
3. Sistem Tanam Hazton: Metode Hazton melibatkan penanaman padi dengan menggunakan bibit yang lebih banyak (20-30 bibit per lubang tanam) dan bibit yang sudah berumur lebih tua (27-35 hari setelah sebar). Tujuannya adalah untuk mening-

katkan hasil panen dengan memanfaatkan potensi tanaman secara maksimal.

4. Sistem Tanam Jarwo Super: Sistem Jarwo (jarak tanam jajar legowo) merupakan sistem tanam yang mengatur jarak tanam padi dengan memberikan lorong kosong di antara beberapa barisan tanaman. Sistem Jarwo Super merupakan pengembangan dari sistem Jarwo, dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi lahan.
5. Sistem Tanam Benih Langsung (TABELA) adalah sistem tanam padi tanpa melalui persemaian dan pemindahan bibit. Benih padi ditanam langsung di lahan pertanaman, baik dalam larikan maupun secara tebar merata.
6. Sistem Budidaya Mina Padi: Mina padi adalah sistem budidaya padi yang mengintegrasikan tanaman padi dan ikan air tawar dalam satu lahan. Sistem ini saling menguntungkan, dimana ikan dapat memberikan nutrisi bagi padi dan memperbaiki struktur tanah, sedangkan padi memberikan lingkungan yang cocok bagi ikan.
7. Sistem Budidaya Salibu: Sistem Salibu merupakan budidaya padi yang memanfaatkan tunas dari tanaman padi yang sudah dipanen (sisa batang) untuk ditanam kembali. Teknik ini dapat meningkatkan Indeks Pertanaman (IP) dan mengurangi biaya produksi.
8. Budidaya Padi di Lahan Rawa (RAISA): RAISA merupakan sistem budidaya padi yang dirancang khusus untuk lahan rawa. Sistem ini memperhatikan pengelolaan air mikro, penggunaan pupuk hayati, ameliorasi lahan, pemupukan berimbang, dan pemanfaatan alat dan mesin pertanian.
9. Budidaya Padi Organik: Budidaya padi organik menekankan pada penggunaan pupuk organik dan pengendalian hama dan penyakit secara alami. Tujuannya adalah menghasilkan padi yang sehat dan ramah lingkungan.

10. Budidaya Padi Huma: Huma adalah sistem budidaya padi yang dilakukan di ladang kering tanpa irigasi. Teknik ini umumnya digunakan oleh masyarakat adat di wilayah dengan ekosistem hutan.

### **Komponen Pola Tanam (KPT)**

Agroklimat (Kebutuhan air tanaman, curah hujan, pengairan, kelembaban, penyinaran waktu tanam, waktu panen). Tanah (Hara tanah, pH, pupuk, bahan organik, mikroba). Tanaman (*Alelopath*, gulma, morfologi dan fisiologi tanaman, varietas, benih, adaptasi). Hama, Penyakit dan Gulma (Jenis hama, Penyakit dan Gulma, obat, pengendalian dan sebagainya). Keteknikan (Alat-alat pertanian, persiapan lahan, cara tanam, jarak tanam, pasca panen). Sosek (Sosial, budaya, ekonomi, penyuluhan, kelembagaan pemasaran dan sebagainya).

### **B. Ragam Pola Tanam**

Pola tanam campuran, dikenal sebagai Polikultur, adalah sistem pertanian di mana beberapa jenis tanaman dibudidayakan pada lahan yang sama dalam waktu yang sama atau berbeda. Jenis tanaman dapat saling menguntungkan, tanaman dengan akar dalam dapat membantu menjaga struktur tanah, sementara tanaman dengan akar dangkal dapat menyerap nutrisi dari lapisan atas tanah. Menanam berbagai jenis tanaman, dapat mengurangi risiko kerugian akibat serangan hama atau penyakit tertentu pada satu jenis tanaman. Pola tanam campuran dapat menghasilkan berbagai jenis tanaman dengan kandungan gizi yang berbeda, sehingga dapat meningkatkan keanekaragaman gizi bagi konsumen.

### ***Pola tanam campuran (Mixed cropping)***

Pola tanam campuran adalah sistem pertanian di mana beberapa jenis tanaman ditanam bersamaan dalam satu lahan membentuk keanekaragaman ekosistem alami. Beberapa jenis tanaman ditanam

dengan jarak tanam yang tidak teratur pada sebidang tanah yang sama, waktu yang sama dalam satu tahun.

### ***Pola tanam tumpang sari (Inter cropping)***

Pola tanam tumpangsari adalah sistem budidaya di mana dua atau lebih jenis tanaman ditanam secara bersamaan dalam satu lahan yang sama. Ditanam dengan jarak tanam yang beraturan, dengan baris yang berselang-seling untuk tiap jenis tanaman pada suatu areal tanam biasanya tanaman semusim.

### ***Pola tanam tumpang sari beda umur (Inter planting)***

Pola tanam tumpangsari beda umur adalah sistem bercocok tanam di mana dua atau lebih jenis tanaman ditanam pada waktu yang berbeda dalam satu lahan yang sama. Jenis tanaman yang berumur lebih genjah ditanam berbaris diantara jenis tanaman lain yang berumur lebih dalam areal tertentu.

### ***Pola tanam sisipan (Relay planting)***

Pola tanam sisipan adalah sistem budidaya di mana satu atau lebih jenis tanaman ditanam di antara tanaman utama, baik secara bersamaan maupun berbeda waktu, dengan tujuan meningkatkan pemanfaatan lahan dan hasil panen. Penyisipan tanaman yang berikut pada tanaman yang lebih dahulu pada sebidang tanah yang sama sebelum tanaman yang dulu dipanen.

### ***Pola tanam sela (Inter culture)***

Pola tanam sela adalah sistem budidaya pertanian di mana dua atau lebih jenis tanaman ditanam bersamaan di lahan yang sama, baik secara bersamaan maupun tumpang tindih selama sebagian atau seluruh siklus hidupnya. Tanaman sela biasanya terdiri dari tanaman semusim atau tanaman muda sebagai tanaman sementara dan tanaman tahunan sebagai tanaman pokok.

### **Pola tanam beruntun/rotasi (*Sequtial cropping*)**

Pola tanam rotasi adalah sistem pertanian di mana berbagai jenis tanaman ditanam secara bergantian pada lahan yang sama dalam urutan waktu tertentu, bukan menanam tanaman yang sama secara terus menerus untuk meningkatkan kesehatan tanah, mengurangi hama dan penyakit, serta meningkatkan hasil panen. Tanaman ditanam secara bergilir berganti dengan tanaman *Legume* untuk mengikat  $N_2$  bebas.

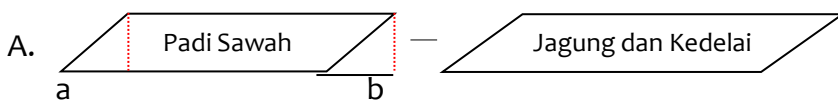
### **Pola tanam tingkatan tajuk (*Multi storey cropping*)**

Pola tanam tingkatan tajuk, atau sering disebut juga pola tanam berlapis, adalah sistem bercocok tanam yang meniru struktur hutan alami, di mana berbagai jenis tanaman dengan tinggi dan bentuk tajuk berbeda ditanam bersama dalam satu lahan. Memanfaatkan ruang vertikal lahan secara optimal dan menciptakan ekosistem yang lebih seimbang. Tanaman semusim ditanam di bawah tanaman yang berbatang mempunyai kanopi dan perakaran yang berbeda pada bidang tanah yang sama sehingga bentuknya bertingkat dan mendekati ekosistem hutan.

### **Pola tanam berlorong (*Alley cropping*)**

Pola tanam berlorong adalah sistem budidaya di mana tanaman pangan ditanam di antara barisan tanaman pagar biasanya tanaman legum. Tanaman pagar ini berfungsi untuk mencegah erosi, menyediakan pupuk hijau, dan meningkatkan kesuburan tanah. *Leguminose* yang berbentuk pohon contoh: *Leucaena leucocephala* Zarate., *Albizia chinensis* (Osbeck) Merr., *Sesbania grandiflora* (L.) Pers. dan sebagainya.

### **Ragam Pola Tanam**





**Gambar 10. Hubungan Alternatif Pola Tanam**

**Keterangan :**

- = Beruntun/bergilir.
- + =Tumpang sari.
- A = Priode tanam.
- b = Priode panen.

**C. Tujuan Pola Tanam**

Tujuan utama pola tanam adalah untuk meniru keanekaragaman ekosistem alami dan menghindari praktik monokultur (penanaman satu jenis tanaman):

1. Tujuan pola tanam campuran (Tumpang sari), untuk dapat meningkatkan sumberdaya alam secara optimal, seperti: Hara, cahaya matahari, dan air atau untuk memperoleh interaksi positif dari iklim mikro serta serangan hama dan penyakit.
2. Tujuan pola tanam sisipan, agar cahaya matahari dapat diterima lebih oleh tanaman yang belum dipanen, pertimbangan lain adalah: Faktor waktu, yaitu daerah dengan musim hujan pendek. Memanfaatkan sisa-sisa kesuburan dan kelembaban dari tanaman yang pertama, sehingga masukan pemupukan sedikit atau tanaman tidak kekurangan air.
3. Tujuan pola tanam sela dan rotasi (Beruntun/bergilir), mencegah hama dan penyakit sebagai penutup tanah.

4. Tujuan pola tanam tingkatan tajuk, memanfaatkan sumberdaya air, hara, sinar matahari secara maksimum dan untuk keseimbangan lingkungan.
5. Tujuan pola tanam berlorong, mencegah erosi, meningkatkan pakan ternak, meningkatkan kesuburan tanah.

### ***Keuntungan Pola Tanam Ganda***

Produktivitas lahan lebih tinggi, mengurangi resiko kegagalan, penganeekaragaman jenis komoditi yang diusahakan, memperkecil kekurangan pangan, peningkatan dan penyebaran tenaga kerja, pemanfaatan masukan-masukan seperti: Benih, pupuk dan obat-obatan lebih efektif dan efisien, hasil hijauan untuk ternak lebih banyak, pengendalian erosi lebih efektif, penutupan tanah oleh tanaman lebih intensif.

### ***Kerugian Pola Tanam Ganda***

Mekanisasi lebih sulit dilaksanakan, beberapa hama seperti: Tikus meningkat, kualitas maupun kuantitas produksi per komoditi condong menurun karena persaingan, apalagi kalau tidak disertai dengan masukan-masukan yang memadai

### ***Pengendalian Hama, Penyakit dan Gulma***

Hama, Penyakit dan Gulma merupakan faktor lingkungan yang sangat menentukan tingkat kualitas dan kuantitas hasil tanaman. Di daerah tropis kerugian hasil sebagai akibat serangan hama, penyakit tanaman, pada umumnya lebih besar dari pada daerah sub-tropis, karena kondisi iklim di daerah tropis yang lembab dan panas sangat menguntungkan bagi perkembangan dan penyebaran penyakit. Dalam sistem produksi pertanian, sebaiknya diupayakan sedemikian rupa melalui paket teknologi yang digunakan agar hama, penyakit tanaman tidak berkembang di lahan. Pencegahan hama, penyakit dan Gulma tanaman lebih baik dari pada pemberantasan, bahkan lebih ekonomis dan ramah terhadap lingkungan.

## **Hama Tanaman**

Hama tanaman dapat didefinisikan sebagai binatang yang memakan tanaman dan secara ekonomis dapat merugikan. Beberapa hama yang penting termasuk ke dalam ordo: *Hemiptera*, *Thysanoptera* (Serangga) yang lain dari *Gastropoda* (Nematoda, Mamalia dan Aves). Insekta atau serangga merupakan hama yang mudah berpindah-pindah dan mempunyai daya adaptasi tinggi terhadap lingkungan baru. Serangga merusak tanaman dengan cara memakan bagian tanaman, menghisap cairan dalam jaringan tanaman, memamah dan menusuk serta menopang dan bertelur pada tanaman. Pengendalian hama harus dilakukan sedini mungkin sebelum populasi hama mencapai tingkat yang secara ekonomis merugikan.

## **Cara Pengendalian Hama**

Penggunaan varietas resisten; Kultur teknis/teknik budidaya; Secara kimiawi/Pestisida yaitu *Insektisida*, *Acarisida*, *Nematisida*, *Molusida*, *Rodentisida*; Cara biologi, PHT dan Sanitasi.

## **Penyakit Tanaman**

Penyakit tanaman disebabkan oleh: Virus, bakteri, dan cendawan. Ketiganya menunjukkan ciri-ciri dan sifat yang spesifik terhadap tanaman. Virus merupakan organisme yang non-mobil, masuk ke sel tanaman melalui perantara serangga atau manusia. Penyebaran virus yang melalui serangga adalah “mites” dan “nemathoda”.

## **Cara Pengendalian Penyakit**

Penggunaan varietas resisten; Kultur teknis; Cara Legislatif (Undang-undang: Sertifikasi Benih) dan Kimiawi (*Fungisida*).

Faktor yang mempengaruhi perkembangan penyakit pada tanaman adalah:

1. Kelembaban yang tinggi cocok untuk perkembangan spora cendawan.

2. Jaringan tanaman dapat berubah dengan bertambahnya umur tanaman.
3. Status nutrisi. Penambahan N, berpengaruh positif terhadap infeksi penyakit dan penambahan K akan meningkatkan ketahanan terhadap penyakit.

## **Gulma**

Tumbuhan pengganggu dengan tanaman dapat berupa: Tumbuhan yang tumbuh tidak pada tempatnya; Tumbuhan yang memberikan nilai negatif; Tumbuhan yang tumbuh tidak diinginkan. Sifat Gulma mempunyai daya adaptasinya besar, daya saingnya kuat terhadap tanaman budidaya, berkembang lebih cepat, masa dormansinya luas.

## **Jenis Gulma**

Berdasarkan asal Gulma: *Obligat* berasosiasi dengan tanaman yang diusahakan selalu merugikan. *Fakultatif* pada alam bebas dan pada tanaman pertanian. Berdasarkan koteledon: Monokotil, Dikotil. Berdasarkan habitat: *Xerofit*, *Hydrofit*, *Mesofit*. Berdasarkan pertumbuhan: *Erectus* (Gulma yang berdiri tegak pada permukaan tanah), *Creeping* (Gulma yang menjalar), *Spiral* (Gulma yang melingkar dan biasanya berbahaya). Berdasarkan daur hidup: Semusim, Dua musim, Tahunan.

## **Pengendalian Gulma**

Pengendalian gulma adalah upaya untuk membatasi pertumbuhan gulma agar tanaman utama dapat tumbuh optimal dan memberikan hasil yang baik. Pengendalian gulma bisa dilakukan dengan berbagai cara, baik secara manual, mekanis, maupun kimiawi, serta dengan metode kultur teknis dan pengendalian hayati.

Berikut adalah beberapa metode pengendalian gulma:

1. Mekanik (Membabat, mencabut, pengerjaan tanah, penggenangan, dibakar, dan ditutup Mulsa).
2. Kompetisi (Mengatur tanaman yang tepat sehingga tanaman tidak tersaingi dalam hal air, hara, dan oksigen).
3. Rotasi tanaman (Pergiliran tanaman).
4. Biologis (Menggunakan *Predator* dan *fungi*).
5. Kimia (Menggunakan bahan-bahan kimia (*Herbisida: Dalapon, 2,4 D amine, Paraquat, Paracol, Roundup* dan lainnya)).

Penerapan pestisida nabati yang bahan aktifnya berasal dari tumbuhan atau bahan organik lainnya yang berfungsi untuk mengendalikan hama dan penyakit serta gulma tanaman. Senyawa bioaktif yang terdapat pada tumbuhan yang dapat mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Senyawa-senyawa ini termasuk dalam kelompok metabolit sekunder seperti *alkaloid*, *terpenoid*, dan *fenolik*. Bahan aktif pestisida nabati: *Azadirachtin*, ditemukan dalam daun *Azadirachta indica* A. Juss., bahan ini mengganggu pertumbuhan dan perkembangan hama. *Piretrin*, senyawa aktif dalam bunga *Pyrethrum cinerariaefolium* Trev., dapat melumpuhkan serangga. Nikotin, terdapat pada *Nicotiana tobacum* L., bersifat racun kontak bagi hama. *Flavonoid* merupakan senyawa yang banyak terdapat pada berbagai jenis tumbuhan, memiliki efek sebagai anti-oksidan, anti-inflamasi, juga dapat mengganggu fungsi sel bakteri. *Tinospora cordifolia* (Thunb.) Miers. mengandung *Saponin* yang dapat mengganggu sistem pencernaan hama. Senyawa lain seperti: *Annona muricata* L., *Allium sativum* L.; *Alpinia galanga* (L) Willd, dan lainnya juga mengandung berbagai senyawa bioaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai pestisida nabati.

Pestisida nabati bekerja dengan berbagai cara, sebagai: Racun kontak, membunuh hama melalui kontak langsung dengan tubuh hama. Racun perut, meracuni hama melalui sistem pencernaan. “*Antifeedant*” menghalangi hama untuk memakan tanaman. Pengganggu pertumbuhan dan perkembangan hama, termasuk

proses pergantian kulit. Anti-reproduksi, mengganggu kemampuan hama untuk berkembang biak. Penolak (“*Repellent*”), membuat tanaman tidak disukai oleh hama.

Bahan-bahan untuk membuat pestisida nabati biasanya mudah ditemukan di sekitar dan harganya relatif murah. Menjadi solusi untuk mengatasi kesulitan mendapatkan dan mahalnya pestisida kimia dan keuntungannya ramah lingkungan dan lebih mudah terurai dan aman bagi kesehatan.

### ***Metabolisme Sekunder Tanaman***

Adalah jalur dan molekul kimia yang tidak penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara langsung, tetapi penting untuk kelangsungan hidup tanaman dalam lingkungannya. Senyawa metabolit sekunder membantu tanaman bertahan dari kondisi lingkungan yang merugikan, seperti: kekeringan, hama, dan penyakit. Metabolisme yang dihasilkan sebagian besar hasilnya dimanfaatkan oleh makhluk lain seperti: Manusia dan hewan serta hanya sebagian kecil digunakan oleh tanaman dalam bentuk Hormon seperti: *Auxin*, *Cytokinin*, *Gibberellin*, *Etilen* dan *ABA*. Metabolisme Sekunder secara umum terbagi menjadi lima katagori yaitu: *Terpenoid*, *Resin*, *Oleoresin*, *Karatenoid* dan *Karet*.

### ***Hormon***

Hormon adalah suatu substansi yang dihasilkan di suatu bagian pada suatu makhluk kemudian dipindahkan ke bagian lain dan di situ dalam jumlah yang sangat sedikit berpengaruh khas terhadap proses fisiologis.

Kesimpangsiuran istilah dalam pengertian Hormon telah diputuskan seperti di bawah ini:

1. *Plant Regulator* adalah: Persenyawaan organik lain dari *Nutrients* yang dalam jumlah kecil merangsang, menghambat atau merubah sesuatu proses fisiologis dalam tanaman.

2. *Plant Hormone* adalah: *Regulator* terbentuk dalam tanaman yang pada konsentrasi rendah mengatur proses fisiologis. *Hormone* umumnya bergerak dalam tanaman dari tempat produksi ke tempat bereaksi.
3. *Growth Regulator: Growth Substances* (Zat pengatur tumbuhan) adalah: *Regulator* yang berpengaruh terhadap pertumbuhan.
4. *Growth Hormone* (Hormon tumbuh) adalah: Hormon yang mengatur pertumbuhan.
5. *Flowering Regulators* adalah: *Regulator* yang berpengaruh terhadap pembuahan.
6. *Flowering Hormones* (Hormon pembuahan) adalah: Hormon yang merangsang pembentuk bunga atau merangsang pertumbuhannya.

### **Zat Pengatur Tumbuh**

Adalah senyawa organik selain hara yang dalam jumlah kecil mampu memacu, menghambat, dan mengubah proses fisiologis. Zat pengatur tumbuh dapat diproduksi oleh manusia dan dibuat dipabrik (“*exsogenous*”).

### **Auxin**

Auksin adalah hormon tumbuhan yang memiliki berbagai fungsi penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fungsi utamanya adalah merangsang pemanjangan sel, terutama pada batang dan akar, serta mempengaruhi pembentukan akar, pembungaan, dan perkembangan buah. Selain itu, auksin juga berperan dalam proses tropisme (respons terhadap rangsangan lingkungan), dominansi apikal, dan absisi (rontoknya daun dan buah).

### **Fungsi Auksin:**

1. Berperan dalam proses pemanjangan sel dengan cara mengubah plastisitas dinding sel, sehingga memungkinkan sel untuk meregang dan tumbuh.

2. Berperan dalam pembentukan akar adventif (akar yang tumbuh dari bagian selain akar utama) dan juga memengaruhi pertumbuhan akar lateral (akar samping) dan serabut akar.
3. Dihasilkan di ujung tunas (titik tumbuh) dapat menghambat pertumbuhan tunas lateral (cabang) di bagian bawahnya, suatu fenomena yang dikenal sebagai dominansi apikal.
4. Terlibat dalam proses pembungaan dan perkembangan buah, termasuk pembentukan buah tanpa biji (*partenokarpi*).
5. Berperan dalam *fitotropisme* (pertumbuhan membengkok ke arah cahaya) dan *geotropisme* (pertumbuhan membengkok mengikuti gravitasi).
6. Merangsang aktivitas kambium (jaringan pembentuk xylem dan floem) dan mempengaruhi diferensiasi sel-sel pembuluh, yang penting untuk transportasi air dan nutrisi.
7. Mencegah rontoknya daun, bunga, dan buah dengan menghambat pembentukan asam absisat (hormon yang terkait dengan penuaan dan rontok).
8. Sering digunakan dalam kultur jaringan tanaman untuk menginduksi pembentukan akar pada eksplan (bagian tanaman yang ditanam).
9. Berperan dalam pertumbuhan sekunder, yaitu penebalan batang dan akar pada tumbuhan berkayu. Contoh: IAA, NAA, IBA, IPA, 2,4 D.

### **Cytokinin**

Sitokinin adalah hormon tumbuhan yang berperan dalam berbagai proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fungsi utamanya meliputi merangsang pembelahan sel (sitokinesis), pembentukan tunas, dan menghambat penuaan daun serta buah. Selain itu, sitokinin juga berperan dalam diferensiasi sel, membantu membentuk organ tanaman dengan fungsi spesifik.

### **Fungsi Sitokinin:**

1. Sitokinin berperan penting dalam pembelahan sel, terutama pada jaringan meristem yang aktif membelah seperti ujung akar dan tunas.
2. Mendukung pertumbuhan tunas baru dan cabang, membantu tanaman membentuk tajuk yang lebih lebat.
3. Terlibat dalam proses diferensiasi sel, yang memungkinkan sel-sel muda membentuk organ dengan fungsi tertentu, seperti daun, akar, dan bunga.
4. Memperlambat proses penuaan daun dan buah dengan menjaga stabilitas protein dan klorofil, serta mencegah penguningan.
5. Dalam kultur jaringan, sitokinin dapat digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan akar dan tunas, dengan konsentrasi yang berbeda menghasilkan efek yang berbeda pula.
6. Bekerja bersama hormon tumbuhan lain seperti auksin untuk mengatur berbagai aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman.
7. Membantu tanaman beradaptasi dengan kondisi stres seperti kekeringan.
8. Berperan dalam pembentukan dan perkembangan kloroplas, organel tempat terjadinya fotosintesis.
9. Berkontribusi pada organisasi dan fungsi organel sel, termasuk kloroplas dan mitokondria. Contoh: *Zeatin*, *Kinetin*, *Benzyl Adenin (BA)*.

### **Gibberelin**

Giberelin adalah hormon tumbuhan yang berperan penting dalam berbagai proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fungsi utamanya meliputi pemanjangan batang dan daun, pemecahan dormansi biji, pembungaan, pembentukan buah, serta memengaruhi pertumbuhan akar.

### **Fungsi Giberelin:**

1. Memicu pemanjangan sel dan pembelahan sel, terutama pada area meristem interkalar, yang menyebabkan batang dan daun tumbuh lebih panjang.
2. Membantu memecahkan dormansi biji, memungkinkan biji berkecambah meskipun dalam kondisi yang kurang ideal.
3. Berperan dalam memicu pembungaan pada beberapa jenis tanaman, terutama pada tanaman yang membutuhkan rangsangan cahaya untuk berbunga.
4. Berperan dalam pembentukan buah, termasuk memperbesar ukuran buah dan memengaruhi perkembangan buah tanpa biji (partenokarpi).
5. Dapat memengaruhi pertumbuhan akar pada konsentrasi tertentu.
6. Memecahkan dormansi tunas pada tanaman tertentu, memungkinkan pertumbuhan tunas baru dan percabangan.
7. Bekerja sama dengan hormon lain seperti etilen dalam proses pematangan buah, terutama pada buah klimaterik. Contoh: GA, Big-Gro, Gib-Tabs, Gibrel, Gibsol.

### **Etylene**

Etilen adalah hormon tumbuhan berbentuk gas yang memiliki berbagai fungsi penting, terutama dalam proses pematangan buah, penuaan, dan pertumbuhan tanaman.

### **Fungsi Etilen:**

1. Berperan penting dalam pematangan buah, terutama buah klimaterik seperti: *Musa sp L.*, *Solanum lycopersicum L.*, *Persea americana* Mill. Etilen memicu perubahan warna, tekstur, dan rasa pada buah saat matang.
2. Terlibat dalam proses penuaan (*senescence*) pada tanaman, termasuk pelayuan bunga, pengguguran daun dan buah, serta pematangan buah.

3. Memengaruhi pertumbuhan akar, batang, dan daun, serta berperan dalam perkecambahan pada beberapa jenis tanaman.
4. Membantu tanaman merespons stres biotik (infeksi) dan abiotik (kekeringan, suhu ekstrem).
5. Berperan dalam perubahan warna buah menjadi lebih cerah atau menarik saat matang.
6. Dapat memicu gugurnya daun pada tanaman.
7. Bersama hormon auksin dapat mendorong pembentukan akar pada stek atau bagian tanaman yang dipotong. Contoh: *Karbit, Etrek, Etephon*.

### **ABA (Abscisic acid)**

Asam absisat (ABA) adalah hormon tumbuhan yang berperan penting dalam mengatur pertumbuhan, perkembangan, dan respons tanaman terhadap berbagai jenis stres, seperti kekeringan dan kekurangan air.

#### **Fungsi ABA:**

1. Menghambat perkecambahan biji dan memicu dormansi, memastikan bahwa biji hanya berkecambah ketika kondisi lingkungan mendukung.
2. Berperan dalam penutupan stomata untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi, terutama saat kondisi kering atau kekurangan air.
3. Membantu tanaman bertahan dari berbagai jenis stres lingkungan, seperti kekeringan, salinitas, dan suhu ekstrem.
4. Mempengaruhi keseimbangan pertumbuhan akar dan tunas, serta berperan dalam perkembangan organ tanaman.
5. Memicu penuaan daun dan absisi (pengguguran daun atau bagian tanaman).
6. Berinteraksi dengan hormon lain seperti auksin, giberelin, dan sitokinin untuk mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Contoh: *Amo 1618, Cycocel*.

# BIOFERTILIZER

## A. Pemanfaatan Biofertilizer

*Biofertilizer* atau pupuk hayati, adalah produk biologi yang mengandung mikroorganisme hidup yang bermanfaat bagi tanaman dan tanah. Mikroorganisme ini, seperti bakteri, jamur, dan alga, membantu meningkatkan kesuburan tanah, ketersediaan nutrisi bagi tanaman, dan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Nilai penting mengenai *biofertilizer*: Meningkatkan ketersediaan nutrisi dan membantu tanaman menyerap nutrisi seperti; N, P, dan K dari lingkungan. Mikroorganisme dalam *biofertilizer* dapat meningkatkan struktur tanah, mengurangi penyakit tanaman, dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme menguntungkan lainnya. *Biofertilizer* merupakan pupuk alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan pupuk kimia, karena mengurangi ketergantungan pada pupuk sintesis dan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Biofertilizer dapat diaplikasikan melalui berbagai cara, seperti: pada benih, akar, tanah, atau melalui penyemprotan daun. Pupuk hayati yang mengandung mikroorganisme hidup yang bermanfaat bagi tanaman. Mikroorganisme ini, ketika diaplikasikan pada benih, permukaan tanaman, atau tanah, dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman, sehingga mendorong pertumbuhan dan hasil panen. *Biofertilizer* bekerja dengan cara mikroorganisme yang ada di dalamnya membantu tanaman dalam menyerap nutrisi yang dibutuhkan. Beberapa jenis mikroorganisme yang umum digunakan dalam *biofertilizer* adalah Bakteri Penambat N, Bakteri Pelarut P, dan jamur Mikoriza.

Produk siap pakai yang mengandung mikroorganisme penting dalam pertanian dalam keadaan hidup. Bentuk pupuk organik modern yang mengandung mikroorganisme bermanfaat. Metode

untuk menentukan implikasi *biofertilizer* dapat berbeda untuk berbagai jenis tanaman. Mikroorganisme memulai kolonisasi pada atau di sekitar akar setelah memberikan perawatan tanah, benih, atau akar dengan *Biofertilizer* dan merangsang pertumbuhan tanaman dari tanaman target. Komponen yang disekresikan, yaitu eksudat akar dari akar tanaman, mendorong kolonisasi mikroorganisme yang mahir di rizosfer. *Biofertilizer* juga ditentukan sebagai *bioinokulan* atau *inokulan* mikroba untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam tanah dan memperbaiki sejumlah tantangan yang ditimbulkan oleh penggunaan pupuk kimia intensif.

Mikroba seperti bakteri, fungi, dan *mikoriza*, termasuk ke dalam; *Lactobacillus Beijerick.*, *Azotobacter pseudomonas Beijerick.*, bakteri fotosintetik, *Trichoderma glomus gigaspora* Person. Melalui fiksasi N, pelarutan P, K, dan Zn; sekresi ZPT, hormon dan vitamin, dan biodegradasi bahan organik, menjaga lingkungan tanah tetap kaya akan unsur hara makro dan mikro. Selain meningkatkan penyerapan unsur hara, juga menjalankan tugas fisiologis tanaman lainnya, seperti meningkatkan penyerapan air dan laju fotosintesis tanaman. Pupuk hayati berperan sebagai pengendali hayati penyakit karena menunjukkan sifat antagonis terhadap berbagai patogen tanaman tular tanah *Rhizoctonia*, *Pythium*, dan nematoda parasit. Fungsi-fungsi pupuk hayati ini dapat berperan konstruktif dalam produktivitas tanaman serta keberlanjutan tanah. Cara kerja setiap pupuk hayati dapat berbeda karena formulasi dan fungsi *strain* mikroba yang digunakan berubah. Efek pupuk hayati lebih tahan lama dibandingkan pupuk kimia karena pelepasan nutrisi yang lambat melalui aktivitas mikroba, aman dan layak secara ekonomi bagi petani, serta menyediakan ruang lingkup yang luas untuk penelitian dalam pertanian organik. Pupuk hayati merupakan sumber nutrisi terbarukan untuk menjaga kesehatan tanah, menjadikannya komponen penting dari sistem pengelolaan nutrisi terpadu untuk produktivitas pertanian berkelanjutan dan lingkungan yang ramah lingkungan.

Manfaat dari pada *Biofertilizer* adalah meningkatkan ketersediaan hara tanaman menyerap nutrisi yang sebelumnya tidak tersedia. Meningkatkan pertumbuhan tanaman: Merangsang pertumbuhan akar, batang, dan daun, serta meningkatkan hasil panen. Memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kesuburan tanah. Mengurangi ketergantungan penggunaan pupuk kimia yang berlebihan, yang dapat merusak lingkungan. *Biofertilizer* dapat diaplikasikan melalui berbagai cara, seperti disemprotkan pada daun, diaplikasikan pada benih sebelum ditanam, atau diaplikasikan langsung pada tanah di sekitar akar tanaman.

*Strain* unggul mikroba merujuk pada jenis mikroorganisme (bakteri, fungi) yang telah ditingkatkan kemampuannya dalam menghasilkan suatu produk tertentu, seperti enzim, antibiotik, atau bahan bakar hayati, dibandingkan dengan *strain* aslinya. Peningkatan ini dicapai melalui berbagai metode pemuliaan atau rekayasa genetika, sehingga *strain* unggul memiliki produktivitas, stabilitas, dan efisiensi yang lebih baik dalam proses bioproduksi. Secara lebih rinci, *strain* unggul mikroba memiliki karakteristik berikut: Mampu menghasilkan produk yang diinginkan dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan *strain* aslinya. Mampu mempertahankan performanya dalam kondisi produksi yang berbeda-beda (suhu, pH, nutrisi). Menggunakan substrat dengan lebih efektif dan menghasilkan produk samping yang minimal. Mampu menghasilkan produk yang diinginkan secara selektif, tanpa kontaminasi produk samping yang tidak diinginkan. Peningkatan *strain* mikroba menjadi *strain* unggul merupakan bagian penting dalam bioteknologi modern, terutama dalam industri yang membutuhkan produksi massal produk mikrobial.

Mikroba laten adalah mikroorganisme (bakteri, virus) yang berada dalam keadaan tidak aktif atau dorman di dalam tubuh inang, tetapi tetap ada dan berpotensi menjadi aktif kembali di masa depan. Keadaan dorman menyebabkan mikroba laten tidak aktif dan tidak menyebabkan kerusakan atau gejala pada inang saat mereka dalam keadaan laten. Meskipun tidak aktif, mikroba

laten dapat menjadi aktif kembali dan menyebabkan penyakit jika ada faktor yang memicu.

Pemanfaatan *Strain* unggul baik berupa sel hidup atau dalam bentuk *Latent* dari mikroba penambat Nitrogen, mikroba Pelarut Fosfat, *Rhizobium*, *Mikoriza*, *Effective Mikroorganism (EM4)* dan lainnya untuk mempercepat tersedianya hara bagi tanaman.

Bakteri *Rhizobium sp* adalah kelompok bakteri tanah yang bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan (legum) dan berperan penting dalam siklus N. Hidup di dalam bintil akar tanaman legum dan mampu mengubah N dari atmosfer menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman, suatu proses yang disebut fiksasi N. Bakteri *Rhizobium sp*. membentuk hubungan simbiosis dengan tanaman legum, seperti kedelai, kacang tanah, dan *alfalfa*. Peran utama *Rhizobium* adalah melakukan fiksasi N, yaitu mengubah nitrogen dari atmosfer ( $N_2$ ) menjadi amonia ( $NH_3$ ), yang kemudian dapat digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhan. Hidup di dalam bintil akar tanaman legum, yang merupakan struktur khusus yang terbentuk sebagai hasil dari interaksi antara bakteri dan akar tanaman. Fiksasi nitrogen, bakteri *Rhizobium* membantu menyediakan nutrisi nitrogen yang penting bagi tanaman legum, sehingga meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen. *Rhizobium* sering digunakan sebagai *inokulan* dalam pupuk hayati untuk meningkatkan kesuburan tanah dan hasil tanaman legum. Bintil akar pada tanaman *leguminosa* adalah struktur yang terbentuk pada akar tanaman tersebut akibat simbiosis dengan bakteri *Rhizobium*. Bintil akar ini berperan penting dalam membantu tanaman mengikat N dari udara, yang kemudian diubah menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman.

Proses pembentukan bintil akar: Tanaman *leguminosa* mengeluarkan zat-zat kimia, seperti hormon dan senyawa organik, yang menarik bakteri *Rhizobium* di sekitar akar. Bakteri *Rhizobium* kemudian menginfeksi akar melalui rambut-rambut akar dan membentuk saluran infeksi. Di dalam akar, bakteri menginduksi pembelahan

sel yang tidak normal, membentuk bintil akar. Bintil akar menjadi tempat tinggal bagi *Rhizobium*, yang kemudian mulai melakukan fiksasi N, mengubah N dari udara menjadi amonia yang dapat digunakan oleh tanaman.

Bintil akar yang efektif biasanya berwarna merah muda atau merah kecoklatan karena adanya “*laghemoglobin*”, protein yang membantu transportasi oksigen dalam bintil. Ukuran bintil akar yang efektif cenderung lebih besar dan terletak di akar utama. Jumlah bintil akar yang efektif dapat menunjukkan kemampuan tanaman dalam mengikat N.

Terdapat berbagai jenis bakteri *Rhizobium* yang berbeda-beda dalam kemampuannya untuk bersimbiosis dengan berbagai jenis tanaman legum. Bakteri *Rhizobium* dikenal berbagai jenis yaitu: *Rhizobium leguminosarum* Frank., *Rhizobium phaseoli* Dangeard., *Rhizobium trifolii* Martinez-Romeo., *Rhizobium meliloti* Dangerd-Young., *Rhizobium tropici* Martinez-Romeo., *Rhizobium lantis* Harun-Rashid., *Rhizobium japonicum* Kirchner. *Rhizobium leguminosarum* Frank.: Spesies ini dikenal karena kemampuannya membentuk bintil akar pada berbagai jenis tanaman legum, *Rhizobium phaseoli*: Berasosiasi dengan (*Phaseolus vulgaris* L.) termasuk *Lathyrus oleraceus* Lam., *Vigna unguiculata* L. Verdc., *Vicia lens* (L.) Coss & Germ. *Rhizobium trifolii* Martinez-Romeo.: Berasosiasi dengan (*Trifolium spp.* L.). *Rhizobium meliloti* Dangerd-Young.: Spesies ini berasosiasi dengan tanaman legum dari genus *Medicago carstiensis* L., *Medicago sativa* L. dan memiliki kemampuan mengikat N yang tinggi. *Rhizobium tropici* Martinez-Romeo.: Spesies ini mampu bertahan pada kondisi tanah yang relatif asam dan memiliki kemampuan untuk membentuk bintil akar pada tanaman seperti kacang-kacangan tropis. *Rhizobium lantis* Harun-Rashid.: Berasosiasi dengan (*Lens culinaris* L. Coss & Germ.). *Rhizobium japonicum* Kirchner.: Spesies ini bersimbiosis dengan tanaman *Glycine max* Merr. dan memiliki peran penting.

Pengikatan atau fiksasi N<sub>2</sub> dari udara oleh simbiosis tanaman Leguminose dengan bakteri *Rhizobium* merupakan terminal dari

suatu rangkaian proses yang kompleks meliputi: Multifikasi dari bakteri di daerah perakaran; Penempelan dari bakteri di daerah perakaran; Pembengkakan dan percabangan akar; Penarikan bakteri yang sesuai oleh tanaman inang; Pembentukan benang infeksi; Pembentukan *Nodul*; Pembentukan *Bakterionid*; *Sintesa Nitrogenase* dan *Leghaemoglobin*. Bintil akar efektif memiliki *Leghaemoglobin* yang berwarna merah. Di dalamnya terdapat enzim Nitrogenase yang mengandung *Molybdenum* yang terbentuk oleh kegiatan *Bakterional* yang merupakan dua komponen yang memegang peran pada proses fiksasi  $N_2$ .

## **B. Bakteri Pelarut Fosfat**

Bakteri pelarut Fosfat adalah bakteri-bakteri yang melarutkan senyawa P anorganik menjadi P yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Permasalahan utama dari ketidakterediaan P bagi tanaman pada tanah-tanah Masam terutama disebabkan karena P dalam tanah dengan cepat bereaksi dengan ion-ion Fe, Al dan Mn membentuk ikatan  $Fe\sim P$ ,  $Al\sim P$  dan  $Mn\sim P$  yang bersifat *Immobile* sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman. Imobilisasi unsur P (dalam konteks ilmu tanah mengacu pada proses perubahan bentuk P dari bentuk yang tersedia bagi tanaman (anorganik) menjadi bentuk yang tidak tersedia (organik) yang terikat dalam senyawa organik, seperti yang terdapat pada mikroorganisme atau bahan organik dalam tanah. Proses ini terjadi melalui aktivitas mikroorganisme tanah yang mengambil P anorganik dan mengubahnya menjadi senyawa organik yang terikat dalam biomassa.

Fosfor adalah unsur hara penting bagi tanaman, dan ketersediaannya dalam tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Mikroorganisme memainkan peran kunci dalam imobilisasi P. Penyerapan P anorganik dari tanah untuk pertumbuhan dan aktivitas, kemudian P tersebut terikat dalam biomassa mikroorganisme. Imobilisasi P penting karena dapat mengurangi ketersediaan P bagi tanaman dalam jangka pendek, terutama jika

rasio C/P dalam tanah tinggi. Pada saat yang sama, imobilisasi membantu membangun cadangan P organik dalam tanah yang dapat dilepaskan kembali ke bentuk tersedia melalui proses mineralisasi. Kebalikan dari imobilisasi adalah mineralisasi, yaitu proses pelepasan P dari bentuk organik menjadi bentuk anorganik yang tersedia bagi tanaman. Pemahaman tentang imobilisasi dan mineralisasi P penting dalam pengelolaan tanah, terutama dalam pengelolaan pupuk dan sisa-sisa tanaman untuk memastikan ketersediaan P yang optimal bagi tanaman.

Salah satu alternatif untuk meningkatkan ketersediaan residu P dengan menggunakan jasad renik Pelarut Fosfat. Jumlah bakteri pelarut Fosfat dalam katagori aktif di dalam tanah berkisar  $10^4$ - $10^6$  sel dalam setiap gram tanah. Bakteri pelarut Fosfat diketahui mereduksi pH substrat dengan mengekresikan sejumlah Asam Organik seperti: Asam-asam *Format*, *Asetat*, *Propionat*, *Laktonat*, *Glikonat*, *Fumarat* dan *Suksinat*. Diantara asam-asam ini akan membentuk khelat atau menjadi persenyawaan kompleks dengan kation-kation seperti:  $Ca^{2+}$   $Al^{3+}$  dan  $Fe^{3+}$  yang mengakibatkan terlepasnya gugusan Ortofosfat sehingga terjadi pelarutan Fosfat. Selain melarutkan Fosfat juga dapat memproduksi zat pengatur tumbuh, vitamin B 12, *Riboflavin*, *Pantotenat* dan *Biotin*.

Jenis-jenis bakteri pelarut Fosfat seperti: *Bacillus megaterium* de Bary; Gupta., *Bacillus circulans* Jordan., *Bacillus subtilis* Ehrenberg., *Bacillus mycoides* Flugge., *Bacillus mesenteries* Trevisan., *Bacillus flourscens* Flugge-Migula, *Pseudomonas putida* Trevisan., *Escherichia freundii* Braak., *Escherichia intermedia*, *Xanthomonas spp* Dowson., *Flavobacterium spp* Bergey., *Nitrosomonas spp* Winogradsky. dan *Thiobacillus thioxida* Kelly & Wood.

Bakteri Pelarut Fosfat adalah mikroorganisme yang mampu mengubah fosfat anorganik yang tidak tersedia menjadi bentuk yang larut, sehingga dapat diserap oleh tanaman. Melepaskan asam organik seperti asam *sitrat*, *oksalat*, *suksinat*, *tartarat*, dan *malat* ke dalam rizosfer (daerah sekitar akar tanaman) untuk melarutkan

P. Membantu meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman, yang merupakan nutrisi penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

*Pseudomonas*: Ditemukan pada berbagai jenis tanah dan dikenal memiliki kemampuan melarutkan fosfat yang baik. *Bacillus*: banyak ditemukan dan berperan dalam melarutkan P serta meningkatkan ketersediaan P. *Micrococcus*: Genus bakteri lain yang juga ditemukan berperan dalam melarutkan P. *Flavobacterium*: Ditemukan pada tanah aluvial dan berperan dalam pelarutan P. *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Sclerotium*: Jenis fungi (jamur) yang juga berperan dalam melarutkan P. Bakteri Pelarut Fosfat dapat diaplikasikan sebagai pupuk hayati untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk P dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Memahami berbagai jenis bakteri pelarut fosfat dan perannya, dapat memanfaatkan mikroorganisme ini untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman secara alami dan berkelanjutan

### C. Mikoriza

*Mikoriza* berasal dari bahasa Yunani yang artinya secara harfiah adalah Cendawan Akar. Mikoriza adalah simbiosis mutualistik antara jamur dan akar tanaman. Dalam simbiosis ini, jamur membantu tanaman menyerap air dan nutrisi (terutama P) dari tanah, sementara tanaman menyediakan karbohidrat hasil fotosintesis kepada jamur. Mikoriza sangat umum ditemukan dan memiliki peran penting dalam ekosistem serta pertanian. Hubungan saling menguntungkan antara jamur dan akar tanaman. Jamur mendapatkan karbohidrat dari tanaman, dan tanaman mendapatkan bantuan dalam menyerap nutrisi dan air dari tanah. Ada dua jenis utama mikoriza, *Ekto-mikoriza*: Jamur membentuk selubung di sekitar akar dan tidak masuk ke dalam sel akar. *Endomikoriza*: Jamur masuk ke dalam sel akar dan membentuk struktur di dalam sel. Peran Mikoriza: Meningkatkan penyerapan nutrisi, Membantu tanaman menyerap nutrisi, terutama fosfat yang sulit diserap langsung oleh akar,

Meningkatkan dan membantu tanaman menyerap air dari tanah, terutama dalam kondisi kering, Perlindungan terhadap tanaman dari patogen tanah, Membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman.

Jenis *Mikoriza* yang telah dikenal *Orchydaceous*, *Miscellaneous* dan *Pseudomikoriza*. *Sheating* disebut *Ektomikoriza* sedangkan yang lainnya dinamakan *Endomikoriza*. *Mikoriza* sangat penting diterapkan pada tanah-tanah marjinal, hal ini karena rendahnya serapan P karena terfiksasi oleh mineral Ca~P dan Al~P. Keberadaan *Mikoriza* dapat mengatasinya karena hifa jamur *Mikoriza* dapat melampaui zona ke akar tanaman sehingga hara dapat diserap tanaman lebih banyak. Hal ini dikarenakan jamur *Mikoriza* mengeluarkan enzim *Aktra Selluler Fosfate* yang mampu mengkatalisis hidrolisis kompleks Fosfat yang tidak larut pada tanah yang tidak tersedia bagi tanaman menjadi tersedia.

Struktur *Mikoriza* merupakan suatu simbiosis yang terjadi apabila jamur masuk kedalam akar tanaman yang disebut infeksi. Proses infeksi dimulai dengan perkecambahan spora jamur di dalam tanah, penetrasi hifa kedalam korteks akar ditandai dengan akar telah terinfeksi oleh *Mikoriza* ~VA dengan adanya permukaan *Orbuskular* dan *Vestikular* didalam korteks akar. *Mikoriza* ~VA bersifat simbiosis obligat karena jamur ini tidak dapat tumbuh dan berkembang tanpa adanya tanaman inang. Di dalam tanah *Mikoriza* dipengaruhi beberapa hal: pH, suhu tanah, kandungan air tanah, ketersediaan hara serta mikroorganisme. Setiap jamur *Mikoriza arbuskular* Marschner., memerlukan pH optimum yang berbeda untuk perkecambahannya tergantung pada lingkungan tempat terjadinya atau asal cendawan *Mikoriza arbuskular* seperti *Mikoriza* jenis *Glomus* menghendaki pH 5,5-6,5 sedangkan jenis *Acaulospora* pada pH 5,0. Kandungan air tanah yang rendah dan aerasi tanah yang baik dapat memacu pertumbuhan spora sedangkan pada suhu yang tinggi akan menyebabkan aktivitas jamur untuk infeksi dan pada suhu rendah sesuai untuk pembentukan *Arbuskular*.

*Effective Microorganisms* adalah dari, yaitu campuran berbagai mikroorganisme menguntungkan yang digunakan dalam pertanian dan lingkungan untuk meningkatkan kualitas tanah, mengurangi polusi, dan membantu pertumbuhan tanaman. EM4 berperan dalam mempercepat penguraian bahan organik, meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman, serta menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen. Membantu memperbaiki struktur dan tekstur tanah, serta meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Mempercepat proses dekomposisi bahan organik, seperti pupuk kandang dan sisa tanaman, menjadi unsur hara yang lebih mudah diserap oleh tanaman. Meningkatkan pertumbuhan tanaman, hasil panen, dan kualitas produk pertanian. Menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman. Mengolah limbah organik, mengurangi bau tidak sedap, dan menghasilkan pupuk kompos yang berkualitas. Dalam budidaya perikanan, digunakan untuk memperbaiki kualitas air tambak, meningkatkan pertumbuhan ikan atau udang, dan mengurangi gas-gas berbahaya.

EM<sub>4</sub> merupakan campuran dari berbagai jenis mikroorganisme yang bersifat menguntungkan seperti *Lactobacillus sp*, *Streptomyces sp*, *Actinomycetes*, *Yeast*, *Azotobacter*, *Photosyntetic bacter sp*.

Bakteri *Lactobacillus sp*. memiliki peran penting dalam perombakan bahan organik, membantu proses fermentasi, dan meningkatkan kualitas tanah serta pertumbuhan tanaman. Fungsi *Lactobacillus sp.*: Membantu memecah bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mudah diserap oleh tanaman, serta dapat digunakan untuk mempercepat pengomposan. Bakteri ini terlibat dalam proses fermentasi, mengubah bahan organik menjadi asam laktat dan senyawa lain yang bermanfaat bagi tanah dan tanaman. Memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, meningkatkan kesuburan tanah dan ketersediaan unsur hara. Dengan meningkatkan kesuburan tanah, membantu tanaman tumbuh lebih baik, menghasilkan tanaman yang lebih

sehat dan hasil panen yang lebih tinggi. Digunakan untuk mengurai limbah organik, seperti tinja dan limbah padat lainnya, serta mengurangi bau tidak sedap pada limbah tersebut.

*Streptomyces* membantu menguraikan bahan organik kompleks dalam tanah menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mudah diserap oleh tanaman. Menguraikan bahan organik, *Streptomyces* melepaskan unsur hara seperti N, P, dan K yang penting untuk pertumbuhan tanaman. Bakteri *Streptomyces* berperan dalam proses fermentasi bahan organik, yang membantu dalam pengolahan limbah organik dan pembuatan pupuk organik. Beberapa spesies *Streptomyces* menghasilkan senyawa bioaktif seperti antibiotik yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen dalam tanah, meningkatkan kesehatan tanah, dan membantu mencegah penyakit pada tanaman, membantu dekomposisi dan pelepasan unsur hara. *Streptomyces* berkontribusi pada peningkatan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah.

Bakteri yeast (ragi) memiliki beberapa fungsi penting dalam proses fermentasi dan penguraian bahan organik. *Yeast* membantu dalam memecah karbohidrat menjadi gula sederhana, yang kemudian dapat digunakan oleh bakteri lain dalam untuk proses fermentasi lebih lanjut. Selain itu, *yeast* juga berperan dalam menghasilkan zat-zat yang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman dan meningkatkan kualitas tanah. *Yeast* mengubah karbohidrat kompleks dalam bahan organik menjadi gula sederhana, yang menjadi sumber energi bagi mikroorganisme lain. Produksi metabolit dari *Yeast* menghasilkan berbagai metabolit seperti asam organik, enzim, dan vitamin yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman dan meningkatkan kualitas tanah. Membantu mengurangi bau tidak sedap yang dihasilkan selama proses pengomposan dengan cara menguraikan senyawa penyebab bau. Proses fermentasi yang dilakukan oleh yeast membantu melepaskan nutrisi dari bahan organik, sehingga nutrisi tersebut lebih mudah tersedia

bagi tanaman. Berperan sebagai kompetitor bagi mikroorganisme patogen, sehingga membantu menjaga kesehatan tanaman.

Bakteri *Azotobacter* dalam berperan dalam fiksasi N, mengubah N dari udara menjadi bentuk yang bisa diserap tanaman, seperti amonia. Selain itu, bakteri ini menghasilkan zat perangsang tumbuh tanaman dan membantu meningkatkan kesuburan tanah. Peran *Azotobacter* adalah bakteri yang mampu mengubah nitrogen bebas di atmosfer menjadi  $\text{NH}_3$ , yang merupakan bentuk N yang dapat diserap oleh tanaman. Proses ini sangat penting karena N adalah salah satu unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan. Menghasilkan berbagai zat yang bermanfaat bagi tanaman, seperti hormon pertumbuhan (*Auksin*, *Giberelin*, dan *Sitokinin*) yang dapat merangsang pertumbuhan akar dan perkecambahan. Membantu dalam bioremediasi tanah, yaitu proses pembersihan tanah dari polutan, termasuk logam berat.

Bakteri fotosintetik berperan penting dalam mempercepat penguraian bahan organik dan meningkatkan kualitas tanah serta lingkungan budidaya. Mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia untuk pertumbuhan, membantu mendegradasi zat-zat berbahaya, dan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Fungsi bakteri fotosintetik, bersama dengan bakteri lain, membantu memecah bahan organik kompleks seperti *lignin* dan menjadi senyawa yang lebih sederhana yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Mampu mengonsumsi senyawa beracun seperti  $\text{H}_2\text{S}$ , amonia, dan “*Metil Merkaptan*” yang seringkali ditemukan di lingkungan, sehingga membantu menjaga kualitas air dan tanah. Mendekomposisi bahan organik, bakteri fotosintetik melepaskan nutrisi yang dibutuhkan tanaman seperti: N, P, dan K. Bakteri fotosintetik membantu mengurangi bau tidak sedap dan gas berbahaya yang dihasilkan dari limbah organik, menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan nyaman bagi tanaman, hewan, dan manusia. Berinteraksi dengan bakteri lain seperti bakteri asam laktat dan

ragi, untuk menciptakan ekosistem yang seimbang dan mendukung pertumbuhan tanaman.

Bakteri asam laktat (BAL) memiliki peran penting dalam tanah, terutama dalam bidang pertanian. Mereka membantu meningkatkan kesuburan tanah, mengendalikan penyakit tanaman, dan meningkatkan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Peran BAL membantu dalam dekomposisi bahan organik, mengubahnya menjadi nutrisi yang tersedia bagi tanaman. Meningkatkan ketersediaan fosfor dan nutrisi lainnya dalam tanah, membantu tanaman menyerap nutrisi dengan lebih efisien. Membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aerasi dan kapasitas retensi air. BAL menghasilkan senyawa antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan patogen tanaman, baik jamur maupun bakteri. Membantu melindungi tanaman dari penyakit dan mengurangi kebutuhan penggunaan pestisida kimia. BAL dapat memicu pertumbuhan tanaman secara langsung atau tidak langsung melalui peningkatan ketersediaan nutrisi dan pengendalian penyakit. Beberapa BAL juga diketahui menghasilkan hormon pertumbuhan tanaman yang dapat meningkatkan pertumbuhan akar dan batang. BAL dapat membantu menetralkan amonia berlebih dalam tanah, yang dihasilkan dari penguraian bahan organik.

*EM4* diformulasikan ke dalam bentuk cairan berwarna coklat kekuning-kuningan yang berbau agak asam dengan kemasaman larutan sebesar 4,5 dan mengandung sebanyak  $10^9$  mikroorganisme per miligram larutan. *EM4*, dimana bahan tersebut merupakan kultur campuran dari mikroorganisme yang menguntungkan digunakan sebagai inokulan yang dapat meningkatkan keragaman dan populasi organisme di dalam tanah. Hal lain dapat menghasilkan senyawa yang berfungsi sebagai *antioxidant* yang berperan hampir sama dengan vitamin A dan C. Mikroorganisme ini secara efektif dapat meningkatkan produksi tanaman melalui reaksi fermentasi yang menghasilkan: Asam organik, Hormon: *Auxin*, *Gibberellin acid*, *Cytokinin*, vitamin dan anti biotik serta *Polysacharida*. Dijelaskan

Higa (1993) bahwa *EM4* dapat memacu pertumbuhan dengan cara: Melarutkan unsur hara dari bahan induk yang kelarutannya rendah (Fosfat); Mereaksikan logam-logam berat menjadi senyawa yang dapat diserap tanaman; Menyediakan molekul-molekul organik sederhana agar dapat diserap langsung oleh tanaman; Menjaga tanaman dari serangan hama penyakit tumbuhan; Memacu pertumbuhan tanaman dengan mengeluarkan hormon tumbuh; Memperbaiki sifat kimia dan fisika tanah dan Memperbaiki dekomposisi bahan organik.

## Daftar Pustaka

---

- Bintoro, M. H dan J. Wiroatmodjo. 1976. Adaptasi dan Distribusi Tanaman Pertanian. FP. IPB, Bogor.
- Blair, G. I. 1979. Plant Nutrition. Departemen of Agronomi and Soil Science University of New England.
- Colinvaux, P. 1986. Ecologi. By Jhon Wiley and Sons, Inc. New York.
- Eviati., Sulaeman., L. Herawati; L. Anggria; Usman; H. E. Tantika; R. Prihatini; P. Wuningrum. 2023. Analisis Kimia Tanah, Tanaman, air, dan Pupuk. Petunjuk Teknis Edisi 3. Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk Kementrian Pertanian Republik Indonesia, Cimanggung Bogor.
- Gunawan, A. W. 1993. Mikoriza Arbuskular. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat. IPB, Bogor.
- Hakim, N; Y. Nyakpa, A. M. Lubis; S. G. Nugroho; R. Saul; A. Diha; G. B. Hong dan H. N. Bailey. 1996. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Penerbit UNILA Lampung.
- Harjadi, S. S. M. M. 1979. Pengantar Agronomi. PT. Gramedia, Jakarta.
- Higa, T. 1993. Effective Mikroorganism. Dimensi Baru Dalam KYUSEI Nature Farming. Jakarta.
- Indawan, E. 2006. Dasar-dasar Agronomi. Sofa Press, Malang.
- Indawan, E. 2006. Ekologi. Sofa Press, Malang.
- Ismail. 1993. Sewindu Penelitian Pertanian Dilahan Rawa. Lembaga Tanah dan Agroklimat, IPB, Bogor.
- Jumin, H. B. 1998. Dasar-dasar Agronomi. Rajawali Press, Jakarta.
- Kepmentan Nomor 209/Kpts/SR/3/2018 tentang persyaratan teknis minimal pupuk anorganik.
- Kepmentan Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang *Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah.*

- Lovelles, A. R. 1991. Prinsip-prinsip Biologi. Tumbuhan untuk daerah Tropik. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- MC Naughton, S. J; L. Wolf. 1990. Ekologi Umum. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1987. Principles of Plant Nutrition. Potast. Int. Worblouten. Switzerland.
- Odum, E. P. 1971. Fundamentals of Ecology. Third Edition. W.B. Saunders CO, Philadelphia.
- Oldeman, L. R. 1975. An Agroclimatic Map of Java. CRIA, Bogor.
- OTO/USA. 1988. New Development in Biotechnology; Patenting Live. Office of Technology Assesment, Washington.
- Peraturan Presiden Nomor 192 Tahun 2024 tentang Kementerian Pertanian.
- Permentan Nomor 02 Tahun 2025 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pertanian.
- Permentan Nomor 10 Tahun 2025 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Lingkup Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian.
- Resosoedarmo, R. S; K. Kartawinata; A. Soegiarto. 1986. Pengantar Ekologi. Penerbit C.V. Remadja Karya, Bandung.
- Ridho, Z. 1990. Dasar-dasar Agronomi. BKS-B, USAID, Palembang.
- Ruthenberg, N. J. 1974. Microclimate. The Biological Environment. Jhon Willey & Sons, New York.
- Schmid, F. H and J. H. Ferguson. 1951, Rainfall Types Based on Wet and Dry Period for Indonesia with Western New Guinea, Djakarta.
- Setijono, S. 1996. Intisari Kesuburan Tanah. Penebit IKIP Malang.
- Soeriaatmadja, R.E. 1981. Ilmu Lingkungan. Penerbit ITB, Bandung.
- Sugito, Y. 1994. Dasar-dasar Agronomi. FP. UNIBRAW, Malang.
- Suseno, H. 1974. Fisiologi Tumbuhan. Metabolisme Dasar Beberapa Aspeknya. FP. IPB, Bogor.
- Vergara, B. S. 1992. Field Crop Ecosystem. Eldevier, Amsterdam.

## Glosarium

---

- Air Konsumtif : Jumlah kehilangan air per satuan luas diakibatkan oleh kanopi tanaman ditambah air Evaporasi.
- Agroekologi : Usaha pengelolaan tanaman dan lingkungan untuk memperoleh hasil sesuai dengan tujuan yang diinginkan dan lestari terhadap alam lingkungan.
- Aliran Massa : Proses dimana ion-ion sepanjang permukaan akar didorong masuk ke dalam akar akibat adanya transpirasi air oleh tanaman.
- Ameliorasi : Upaya dan tindakan menambahkan bahan untuk mempercepat dan atau memperlambat pelapukan.
- Assimilasi Bersih : Kecepatan penyimpanan bahan organik dalam jaringan tumbuhan sebagai kelebihan bahan yang dipakai untuk respirasi oleh tumbuhan selama pengukuran.
- Autotropik : Organisme yang mampu menyediakan makanan sendiri berupa bahan organik dari bahan anorganik dengan bantuan energi sinar matahari dan klorofil.
- Biofertilizer : Pemanfaatan *Strain* unggul baik berupa sel hidup atau dalam bentuk *Latent* dari mikroba.
- Biomassa : Bahan organis yang diakumulasikan dalam tumbuhan dari energi yang diambil.
- Bioteknologi : Teknologi mendayakan organisme hidup atau bagian organisme untuk

	menghasilkan atau memodifikasi produk-produk tertentu.
Cahaya	: Pancaran halus dari energi radiasi berbentuk <i>spectrum</i> elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 390 - 760 m $\mu$ .
Daya kecambah	: Kemampuan benih berkecambah pada kondisi optimum.
Energi	: Suatu kemampuan untuk melakukan suatu kerja.
Erosi Tanah	: Peristiwa yang menyebabkan lepasnya partikel-partikel tanah sebagai akibat dari tenaga, angin atau salju dan pengalirannya ke daerah yang lebih rendah.
Fase Juvenil	: Tahapan setelah fase perkecambahan teralui di dalam daur hidup tanaman.
Fotoperiodesitas	: Sifat yang menggambarkan respons tanaman terhadap panjang hari dan juga panjang malam hari.
Garu piring	: Alat untuk menggemburkan tanah, mematikan gulma, mencampur kapur, herbisida, dan membenamkan bahan organik.
Heterotropik	: Organisme yang memanfaatkan hanya bahan-bahan organik sebagai bahan makanannya dan bahan tersebut disintesis dan disediakan oleh organisme lain.

- Hormon : Suatu substansi yang dihasilkan di suatu bagian pada suatu makhluk kemudian dipindahkan ke bagian lain dan di situ dalam jumlah yang sangat sedikit berpengaruh khas terhadap proses fisiologis.
- Iklim : Keadaan rata-rata cuaca yang terjadi pada suatu wilayah dalam kurun waktu yang lama.
- Kemasaman Aktual : Kemasaman yang disebabkan oleh aktivitas ion-ion  $H^+$ , yang ada dalam larutan tanah dan dinyatakan dengan  $pH [-\log (H^+)]$ .
- Metabolisme Sekunder : Metabolisme yang dihasilkan oleh tanaman sebagian besar hasilnya dimanfaatkan oleh makhluk lain manusia dan hewan serta hanya sebagian kecil digunakan oleh tanaman dalam bentuk Hormon: *Auxin, Cytikinin, Gibberellin, Etilen* dan *ABA*.
- Musim : Keadaan cuaca yang berlangsung terus-menerus dalam keadaan periode waktu tertentu.
- pH minimum : Batas pH, dimana di atas pH tersebut pengapuran tidak meningkatkan hasil.
- Suhu : Ukuran energi kinetis rata-rata dari pergerakan molekul.
- Vegetatif : Pemiakan tak kawin berlangsung dengan cara pelepasan organ dari tumbuhan induknya.
- Xerofit : Tumbuhan yang dapat hidup pada

keadaan kering yang panjang dan lama, tanpa mengalami kerusakan.

Zat Pengatur : Senyawa organik selain hara dalam jumlah kecil mampu memacu, menghambat, dan mengubah proses fisiologis.

Tumbuh

## INDEKS

### A

Air Konsumtif	: 25,28,29,30,31,32
Agroekologi	: 1,2,3,7,59,60
Aliran Massa	: 27,30,66,96,97
Ameliorasi	: 23,37,55,107,147
Assimilasi Bersih	: 15,47
Autotropik	: 10,11

### B

Biofertilizer	: 2,74,75,76,137,138,139
Biomassa	: 12,13
Bioteknologi	: 73,74,75

### C

Cahaya	: 1,2,5,12,13,14,15,85,86,87,88, 89,90
--------	---

### D

Daya kecambah	: 72,76,77
---------------	------------

### E

Energi	: 1,2,8,9,11,12,13,14,16,17,83,87
Erosi tanah	: 3,6,25,49,52,53,54

### F

Fase Juvenil	: 70,71,73
Fotoperiodisitas	: 10,12

### G

Garau	: 42,43,44,45
-------	---------------

## **H**

- Hama : 1,3,55,57,118,120,125,126,128,129  
Heterotrofik : 10,11  
Hormon : 75,76,130,131,132,133,134,135

## **I**

- Iklm : 2,3,4,6,7,19,20,21,22,27,60,67,120

## **K**

- Kemasaman Aktual : 39,113

## **L**

- Lingkungan Tumbuh : 1,2,5,7,47,70

## **M**

- Metabolisme Sekunder : 75,76,130,131  
Musim : 3,20,21

## **P**

- pH : 1,4,5,25,26,39,40,41,42,47,52,57,58,63,91,102,113,114,122,145  
Pupuk : 95,101,102,103,104,105,106,107,108,109,111,113,114,115,136,137,143

## **S**

- Suhu : 3, 4,19,20,23,31,88,89

**T**

Tanah : 1,2,3,4,5,6,7,22,30,32,33,34,35,  
36,37,38,39,40,42,43,44,45,46,  
47,48,48,50,51,52,53,54,55,56,  
57,58,59,60,63,65,87,90,91,102  
,137,139,141,142,144,145,147

**V**

Vegetatif : 72, 73,74

**X**

Xerofit : 70, 71,128

## Profil Penulis

---



**Edyson Indawan**, lahir di Lahat Propinsi Sumatera Selatan pada tanggal 16 Pebruari 1963. Dosen LLDIKTI Wilayah VII Surabaya, DPK pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tungga Dewi Malang sebagai Lektor Kepala pada Rumpun: Ilmu Tanaman. Penulis aktif pada berbagai kegiatan Profesi, Organisasi, Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat serta Publikasi Ilmiah. Penerima penghargaan dari Direktorat Pembinaan Generasi Muda DEPDIKBUD, Dirjend Dikti DEPDIKNAS, DEPKUMHAM, KEMENRISTEKDIKTI, KEMDIKTISAINTEK, Presiden Republik Indonesia (Tanda Kehormatan SATYA LANCANA KARYA-SATYA X TAHUN, XX TAHUN). Karya Buku: Ekologi (2006), Dasar-dasar Agronomi (2006): Penerima Intensif Buku Ajar. SK. Dirjend Dikti DEPDIKNAS No: 64/Dikti/Kep/2006). Tanggal 24 Nopember 2006). Gagasan dan upaya PELESTARIAN HUTAN MANGROVE (2008). Sistem Pertanian Terpadu (2018). Teknologi Tepat Guna: Pembuatan Silase dan Hay dari Brangkasan Ubi jalar (2019). Teknologi Tepat Guna: Maggot Black Soldier Fly Agen Biokonversi Sampah Organik Dapur (2022). Teknologi Produksi Tanaman Perkebunan (2025). Contact Person: HP 081333343123 e-mail: [mankedlht@yahoo.com](mailto:mankedlht@yahoo.com).

# AGROEKOLOGI

## Lingkungan Tumbuh Tanaman

Buku ajar Agroekologi: Lingkungan Tumbuh Tanaman disusun sebagai kontribusi akademik untuk mendukung peningkatan kualitas pembelajaran dan pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pertanian. Buku ini memadukan perspektif agronomi dan ekologi sebagai pijakan utama dalam memahami lingkungan tumbuh tanaman, baik dari aspek faktor abiotik maupun biotik yang saling berinteraksi dalam menentukan pertumbuhan dan produktivitas tanaman.

Pembahasan dalam buku ini mencakup konsep dasar lingkungan dan ekosistem, aliran energi, iklim dan lahan, kepadatan serta kesuburan tanah, siklus dan adaptasi tanaman, bahan tanam, populasi dan interaksi, respons hara, pola tanam, hingga pemanfaatan biofertilizer. Dengan mengintegrasikan pengetahuan tradisional dan pendekatan ilmiah modern, buku ini menawarkan solusi atas berbagai tantangan pertanian kontemporer, seperti degradasi lahan, penurunan keanekaragaman hayati, dan ketergantungan pada input eksternal. Buku ini diharapkan menjadi referensi penting bagi mahasiswa, dosen, dan praktisi pertanian dalam mewujudkan sistem pertanian yang produktif, berkelanjutan, dan berkeadilan.



Penerbit Forind  
Jl. Raya Tlogomas V No. 24 Malang 65141  
Telp. 081233992973  
Email : forind\_publishing@yahoo.com

