



BUKU AJAR

TEKNOLOGI PEMUPUKAN RAMAH LINGKUNGAN

- Endang Krisnawati, SP, MP
- Bayu Adirianto, M.Si

PUSAT PENDIDIKAN PERTANIAN

Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian
KEMENTERIAN PERTANIAN

2019



TEKNOLOGI PEMUPUKAN RAMAH LINGKUNGAN

- Endang Krisnawati, SP, MP
- Bayu Adirianto, M.Si

PUSAT PENDIDIKAN PERTANIAN

Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian
KEMENTERIAN PERTANIAN

2019

BUKU AJAR

POLITEKNIK PEMBANGUNAN PERTANIAN

ISBN : 978-602-6367-57-0

PENANGGUNG JAWAB

Kepala Pusat Pendidikan Pertanian

PENYUSUN

TEKNOLOGI PEMUPUKAN RAMAH LINGKUNGAN

- Endang Krisnawati, SP, MP
- Bayu Adirianto, M.Si

TIM REDAKSI

Ketua : Dr. Ismaya Nita Rianti Parawansa, SP.,M.Si

Sekretaris : Yudi Astoni, S.TP.,M.Sc

Pusat Pendidikan Pertanian
Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pertanian,
Kantor Pusat Kementerian Pertanian
Gedung D, Lantai 5, Jl. Harsono RM, No. 3 Ragunan, Jakarta Selatan 12550
Telp./Fax. : (021) 7827541, 78839234

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Buku Ajar Teknologi Pemupukan Ramah Lingkungan dapat diselesaikan dengan baik. Buku ajar ini merupakan bahan pembelajaran bagi mahasiswa Pendidikan Tinggi Vokasi Pertanian lingkup Kementerian Pertanian dalam mengikuti proses perkuliahan untuk mendapatkan gambaran secara jelas dalam menerima materi pembelajaran.

Terima kasih kami sampaikan kepada tim penyusun yang telah menyusun buku ajar ini serta semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyelesaiannya. Materi buku ajar ini pengertian pupuk dan pemupukan, sejarah pupuk, pengertian tanah dan media tanam, jenis-jenis media tanam, pengertian dan fungsi unsur hara, klasifikasi pupuk, defisiensi dan kekahatan unsur hara, konsep penataan 4T (tepat dosis, jenis, waktu dan tempat), teknik pemupukan, pengertian agensia hayati mikroba, jenis-jenis dan peranan agensia hayati mikroba, jenis-jenis media pertumbuhan agensia hayati mikroba, media alternatif dan produksi agensia hayati mikroba, dan hasil aplikasi agensia hayati mikroba terhadap pertumbuhan tanaman.

Isi buku ajar ini mencakup materi tentang 1. Definsi Pupuk dan Pemupukan, Konsep Penataan Hara 4T dan Teknik Pemupukan, 2. Dasar-Dasar Ilmu Tanah dan Media Tanam, 3. Ruang Lingkup Unsur Hara dan Pupuk, 4. Definisi, Jenis-Jenis, Peranan, dan Manfaat Pupuk Organik, 5. Definisi, Klasifikasi dan Peranan Mikroba Agensia Hayati, dan 6. Media Pertumbuhan dan Teknik Produksi Mikroba Agensia Hayati. Buku ajar dilengkapi dengan soal latihan sebagai bahan evaluasi mahasiswa terhadap materi yang telah diberikan.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyusun dalam menyelesaikan buku ajar ini. Semoga buku ajar ini dapat memberikan manfaat bagi para mahasiswa pada Pendidikan Tinggi Vokasi Pertanian lingkup Kementerian Pertanian.

Jakarta, Oktober 2019

Kepala Pusat Pendidikan Pertanian

Dr. Idha Widi Arsanti, SP., MP

NIP. 19730114 199903 2 002

PRAKATA

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan Buku Bahan Ajar Teknologi Ramah Lingkungan dengan baik.

Buku Bahan Ajar Teknologi Ramah Lingkungan ini diterbitkan untuk digunakan sebagai acuan bagi pembaca dan mahasiswa pendidikan tinggi tingkat vokasi pada Program Studi Penyuluhan Pertanian Berkelanjutan. Bahan ajar ini diharapkan dapat mempermudah mahasiswa sebagai pegangan dalam perkuliahan. Bahan ajar ini disusun berupa kumpulan materi dari publikasi karya ilmiah yang telah dikombinasikan secara sederhana dan lebih mudah dipahami oleh mahasiswa. Bahan ajar ini membahas mengenai pupuk dan pemupukan, teknik pemupukan, tanah dan media tanam, ruang lingkup unsur hara, ruang lingkup pupuk organik, dan ruang lingkup mikroba agensia hayati.

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam materi yang disajikan. Oleh karena itu, saran dan kritik untuk penyempurnaan bahan ajar ini sangat diperlukan oleh Penyusun.

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
PRAKATA	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
PETA KOMPETENSI	ix
GLOSARIUM	x
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Deskripsi	1
B. Prasyarat	1
C. Manfaat Pembelajaran	1
D. Capaian Pembelajaran	1
E. Petunjuk Pembelajaran	2
F. Cek Kemampuan Awal (<i>Pre Test</i>)	2
BAB II. PEMBELAJARAN	4
Kegiatan Pembelajaran 1: Definisi Pupuk dan Pemupukan, Konsep Penataan Hara 4T dan Teknik Pemupukan	
A. Deskripsi	4
B. Kegiatan Pembelajaran	4
1. Tujuan Pembelajaran	4
2. Uraian Materi	4
3. Rangkuman	28
4. Soal Latihan	28
5. Kunci Jawaban	28
6. Sumber Informasi dan Referensi	30
C. Penilaian	32
1. Sikap	32
2. Pengetahuan	32
3. Keterampilan	32

Kegiatan Pembelajaran 2: Dasar-Dasar Ilmu Tanah dan Media Tanam

A. Deskripsi	32
B. Kegiatan Pembelajaran	32
1. Tujuan Pembelajaran	32
2. Uraian Materi	32
3. Rangkuman	50
4. Soal Latihan	51
5. Kunci Jawaban	51
6. Sumber Informasi dan Referensi	53
C. Penilaian	56
1. Sikap	56
2. Pengetahuan	56
3. Keterampilan	56

Kegiatan Pembelajaran 3: Ruang Lingkup Unsur Hara dan Pupuk

A. Deskripsi	57
B. Kegiatan Pembelajaran	57
1. Tujuan Pembelajaran	57
2. Uraian Materi	57
3. Rangkuman	72
4. Soal Latihan	73
5. Kunci Jawaban	73
6. Sumber Informasi dan Referensi	74
C. Penilaian	75
1. Sikap	75
2. Pengetahuan	75
3. Keterampilan	75

Kegiatan Pembelajaran 4: Definisi, Jenis-Jenis, Peranan, dan Manfaat Pupuk Organik

A. Deskripsi	75
B. Kegiatan Pembelajaran	76

1. Tujuan Pembelajaran	76
2. Uraian Materi	76
3. Rangkuman	89
4. Soal Latihan	90
5. Kunci Jawaban	90
6. Sumber Informasi dan Referensi	91
C. Penilaian	93
1. Sikap	93
2. Pengetahuan	93
3. Keterampilan	93
Kegiatan Pembelajaran 5: Definisi, Klasifikasi dan Peranan Mikroba Agensia Hayati	
A. Deskripsi	93
B. Kegiatan Pembelajaran	93
1. Tujuan Pembelajaran	93
2. Uraian Materi	93
3. Rangkuman	106
4. Soal Latihan	107
5. Kunci Jawaban	107
6. Sumber Informasi dan Referensi	108
C. Penilaian	112
1. Sikap	112
2. Pengetahuan	112
3. Keterampilan	112
Kegiatan Pembelajaran 6: Media Pertumbuhan dan Teknik Produksi Mikroba Agensia Hayati	
A. Deskripsi	113
B. Kegiatan Pembelajaran	113
1. Tujuan Pembelajaran	113
2. Uraian Materi	113
3. Rangkuman	134

4. Soal Latihan	134
5. Kunci Jawaban	135
6. Sumber Informasi dan Referensi	136
C. Penilaian	136
1. Sikap	136
2. Pengetahuan	136
3. Keterampilan	136
BAB III. PENUTUP.....	137
DAFTAR PUSTAKA	138

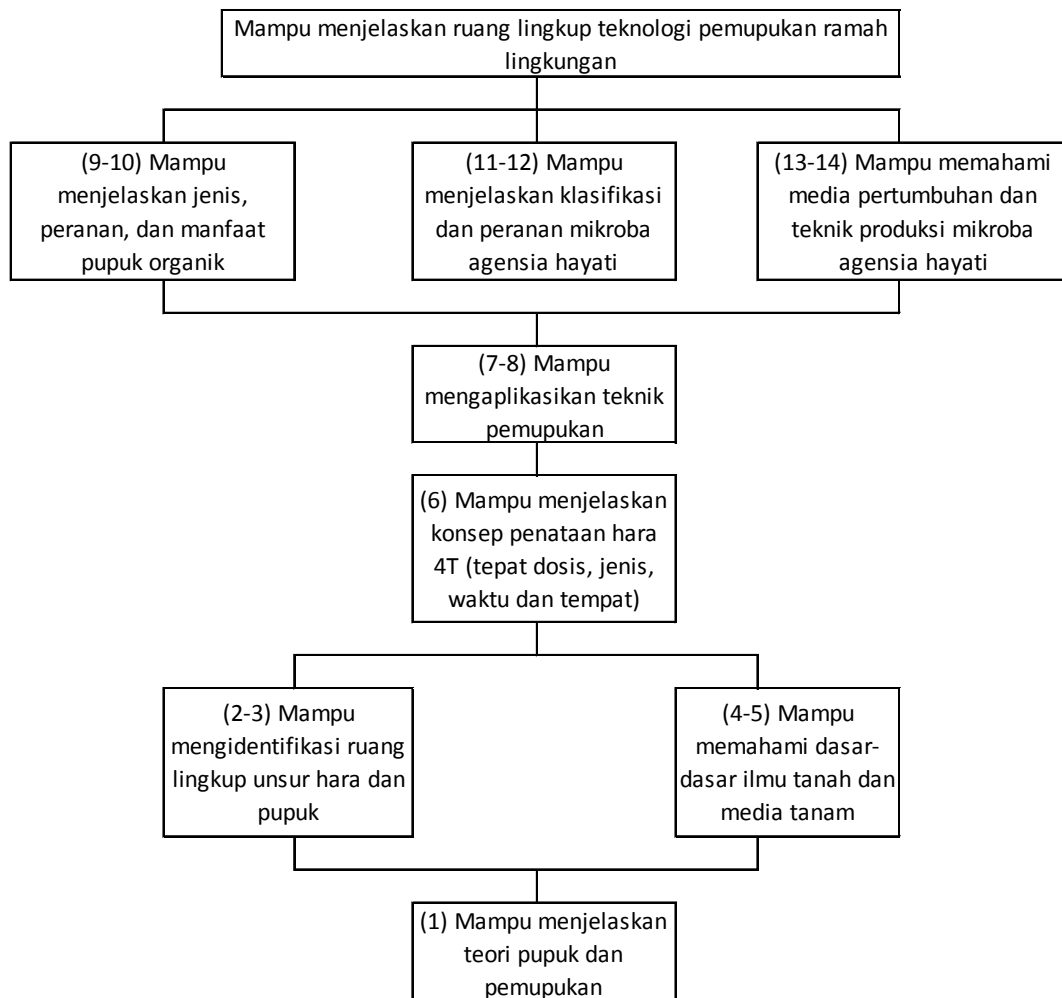
DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Teknik Pemupukan Yang Direkomendasikan	26
2. Klasifikasi Partikel-Partikel Tanah Menurut Sistem Usda dan Sistem Internasional	45
3. Kelas Pergerakan Air Dalam Tanah	50
4. Diagnosis Defisiensi Dan Keracunan Unsur Hara.....	63
5. Ciri-Ciri Gejala Defisiensi	67
6. Ciri-Ciri Tentang Gejala Kekahatan Hara Tertentu Pada Tanaman	68
7. Pengaruh Defisiensi Terhadap Organ Tanaman	71
8. Mekanisme Pengendalian Hayati Oleh Jamur dan Bakteri.....	95
9. Komposisi Media Pertumbuhan Sintetik	116
10. Macam-Macam Media dan Komposisi Yang Digunakan	120
11. Penilaian Kerusakan Daun Secara Visual	130

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Aplikasi Pupuk Secara <i>Broadcasting</i>	22
2. Aplikasi Pupuk Secara Ring Placement	22
3. Aplikasi Pupuk Secara Spot Placement	23
4. Contoh Arang Sekam	34
5. Contoh Pupuk Kandang Sapi	36
6. Contoh Cocopeat	37
7. Diagram Segitiga Tekstur Tanah Menurut USDA	44
8. Hubungan Antara Pertumbuhan Atau Hasil Tanaman Dengan Ketersediaan Unsur Hara. Ulrich & Hills (1967); Taiz & Zeiger (2010)	63
9. Ketersediaan Unsur Hara Sebagai Fungsi dari pH (Hoeft <i>et al.</i> 2000)	65
10. Ilustrasi Bakteri Endofit di Dalam Perakaran Tanaman	96
11. Contoh <i>Bacillus Subtilis</i>	98
12. Contoh Koloni <i>Streptomyces</i>	99
13. Contoh Cendawan <i>Chaetomium</i>	103
14. Contoh Konidia <i>Verticillium</i> sp	105

PETA KOMPETENSI



GLOSARIUM

Absolut	: Tidak terbatas
Agensia hayati	: Setiap organisme yang meliputi spesies, sub spesies, varietas, semua jenis serangga, nematoda, protozoa, cendawan (fungi), bakteri, virus, mikoplasma serta organisme lainnya dalam semua tahap perkembangannya yang dapat digunakan untuk keperluan pengendalian hama dan penyakit
Agregat tanah	: Kelompok partikel tanah yang terikat satu sama lain dan lebih kuat dari partikel di dekatnya
Agroindustri	: Kegiatan yang memanfaatkan hasil pertanian sebagai bahan baku, merancang dan menyediakan peralatan serta jasa untuk kegiatan tersebut
Aktinomiset	: Kelompok bakteri Gram positif yang dikenal sebagai penghasil berbagai sumber senyawa aktif salah satunya adalah enzim-enzim selulase
Akumulasi	: Pengumpulan
Akut	: Kronis
Allelopati	: Suatu fenomena alam dimana suatu organisme memproduksi dan mengeluarkan suatu senyawa biomolekul ke lingkungan dan senyawa tersebut memengaruhi perkembangan dan pertumbuhan organisme lain
Amida	: Salah satu senyawa turunan asam karboksilat
Amina	: Senyawa organik dan gugus fungsional yang isinya terdiri dari senyawa nitrogen atom dengan pasangan sendiri.
Anaerob	: Tidak membutuhkan oksigen
Antibiotik	: Segolongan molekul, baik alami maupun sintetik, yang mempunyai efek menekan atau menghentikan suatu proses biokimia pada organisme
Antibiotik	: Kelompok obat yang digunakan untuk mengatasi dan mencegah infeksi bakteri

Antifungi	: Salah satu antibiotika yang digunakan untuk menyembuhkan infeksi yang disebabkan oleh fungi atau jamur
Antitumor	: Salah satu antibiotika yang digunakan untuk menyembuhkan infeksi yang disebabkan oleh tumor
Antivirus	: Salah satu antibiotika yang digunakan untuk menangani penyakit-penyakit yang disebabkan infeksi virus
Arang sekam	: Salah satu alat untuk membuat media tanam. Sekam terbuat dari pembakaran kulit padi, di buat menjadi arang sekam
Arsitektur	: Gaya rancangan suatu konstruksi
Artropoda	: Filum yang paling besar dalam dunia hewan dan mencakup serangga, laba-laba, udang, lipan, dan hewan sejenis lainnya
Asam amino	: Asam karboksilat yang mempunyai gugus amino
Asimilat	: Zat yang diproduksi dari proses asimilasi
Atmosfer	: Lapisan gas yang melingkupi sebuah planet
Azolla	: Satu-satunya genus dari paku air mengapung
Bagas tebu	: Suatu residu dari proses penggilingan tanaman tebu
Basa	: Senyawa kimia yang menyerap ion hidronium ketika dilarutkan dalam air
Belerang atau sulfur	: Unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang S dan nomor atom 16. Belerang merupakan unsur non-logam yang tidak berasa
Besi	: Unsur kimia dengan simbol Fe dan nomor atom 26 dan merupakan logam
Biokimia	: Ilmu yang membahas tentang dasar-dasar kimia dari kehidupan
Boron	: Suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang B dan nomor atom 5.
Brangkasan	: Sisa-sisa bagian tanaman pertanian (daun, batang, akar) yang tidak dipanen
Bulir padi	: Gabah
C/N	: Rasio karbon terhadap nitrogen

Carang-carang	: Sulur hijau atau bakal ranting muda yang tumbuh pada batang tumbuhan menjalar
Cendawan entomopatogen	: Organisme heterotrof yang hidup sebagai parasit pada serangga
Cobalt	: Suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Co dan nomor atom 27
Co-enzim	: Zat yang bekerja dengan enzim untuk memulai atau membantu fungsi enzim
Cuaca	: Keadaan udara (tentang temperatur, cahaya matahari kelembapan, kecepatan angin, dan sebagainya) pada satu tempat tertentu
Daya larut	: Kemampuan suatu jenis pupuk untuk terlarut di dalam
Defisiensi	: Kekurangan
Dekomposer	: Organisme yang menguraikan bahan organik menjadi anorganik
Dekomposisi	: Salah satu perubahan secara kimia yang membuat objek, biasanya makhluk hidup yang mati dapat mengalami kerusakan susunan/struktur
Densitas	: Pengukuran massa setiap satuan volume benda
Dextrose	: Gabungan antara senyawa gula sederhana dan air
Diagnosis	: Identifikasi mengenai sesuatu
Dinamika	: Berkembang
Dolomit	: Suatu mineral karbonat anhidrat yang terbentuk dari kalsium magnesium karbonat
Dosis	: Kadar dari sesuatu (kimia, fisik, biologis) yang dapat mempengaruhi suatu organisme secara biologis
Drainase	: Penyaluran air
Efektivitas	: Pencapaian tujuan secara tepat atau memilih tujuan-tujuan yang tepat dari serangkaian alternatif atau pilihan cara dan menentukan pilihan dari beberapa pilihan lainnya
Efisiensi	: Ukuran tingkat penggunaan sumber daya dalam suatu proses. Semakin hemat/sedikit penggunaan sumber daya, maka prosesnya dikatakan semakin efisien

Ekskresi	: Proses pembuangan sisa metabolisme dan benda tidak berguna lainnya
Ekstrak	: Zat yang dihasilkan dari ekstraksi bahan mentah secara kimiawi
Ekstraksi	: Suatu proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan kelarutannya terhadap dua cairan tidak saling larut yang berbeda
Ekstraselluler	: Terjadi di luar sel
Elemen	: Bagian (yang penting, yang dibutuhkan) dari keseluruhan yang lebih besar
Endapan	: Zat padat yang tidak larut dalam cairan tersebut
Endofit	: Mikroorganisme yang hidup di dalam tumbuhan dan bersimbiosis dengan tumbuhan itu dengan menghasilkan metabolit sekunder yang membantu pertahanan tumbuhan tersebut
Enzim	: Biomolekul berupa protein yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia organik
Epidermis	: Jaringan sel-sel pelindung yang berada di lapisan terluar
Erosi	: Terkikisnya lapisan permukaan tanah yang bergeser atau berpindah ke tempat lain
Esensial	: Mendasar
Fakultatif	: Tidak diwajibkan
Fakultatif	: Tidak berkewajiban ada oksigen
Farmasi	: Salah satu bidang profesional kesehatan yang merupakan kombinasi dari ilmu kesehatan dan ilmu kimia
Fase	: Tahap , tingkatan, masa
Fermentasi	: Proses produksi energi dalam sel dalam keadaan anaerobik (tanpa oksigen)
Fermentator	: Alat untuk fermentasi
Fiksasi	: Terikat
Fiksasi N	: Proses di mana nitrogen (N_2) di atmosfer diubah menjadi amonia

Fillum	: Ilmu biologi dalam menguraikan atau mengklasifikasikan hubungan 'keluarga' antar jenis
Filosfer	: Habitat bagi berbagai populasi cendawan dan bakteri
Filtrat	: Zat yg bisa larut / bisa melewati penyaringan
Formulasi	: Perumusan
Fosfor	: Unsur kimia yang memiliki lambang P dengan nomor atom 15 dan berupa nonlogam
Fotosintesis	: Suatu proses biokimia pembentukan karbohidrat dari bahan anorganik yang dilakukan oleh tumbuhan
Gabah	: Bulir padi
Geometris	: Bersangkut-paut atau berhubungan dengan geometri
Gram positif	: Bakteri yang mempertahankan zat warna kristal violet sewaktu proses pewarnaan
Guanin	: Struktur molekul dua cincin yang menjadi salah satu dari lima komponen nukleobasa yang ditemukan dalam asam nukleat DNA dan RNA
Gulma	: Tumbuhan yang kehadirannya tidak diinginkan pada lahan pertanian
Gum polisakarida	: Polisakarida dari alam yang mampu meningkatkan viskositas secara drastis pada sebuah larutan
Hama	: Organisme yang dianggap merugikan dan tak diinginkan dalam kegiatan sehari-hari manusia
Hara makro	: Unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang relatif besar dibandingkan unsur hara lainnya. Contoh unsur hara makro adalah Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan Sulfur (S)
Hifa	: Struktur fungi berbentuk seperti tabung yang terbentuk dari pertumbuhan spora atau konidia
Higroskopis	: Kemampuannya untuk mengikat uap air dari udara bebas
Humifikasi	: Proses pembentukan humus

Imobilisasi	: Pengubahan bentuk inorganik unsur hara menjadi bentuk organik sebagai hasil asimilasi unsur tersebut
In vitro	: Kultur artifisial ini dilakukan di dalam alat-alat laboratorium
Inang	: Organisme yang menampung virus, parasit, partner mutualisme, atau partner komensalisme, umumnya dengan menyediakan makanan dan tempat berlindung
Infeksi	: Merupakan proses invasi dan multiplikasi berbagai mikroorganisme ke dalam tubuh (seperti bakteri, virus, jamur, dan parasit)
Infeksi	: Keadaan di mana mikroorganisme bereplikasi dan jaringan menjadi terganggu) yang dilakukan oleh spesies asing terhadap organisme inang
Inokulasi	: Kegiatan pemindahan mikroorganisme baik berupa bakteri maupun jamur dari tempat atau sumber asalnya ke medium baru
Insentif	: Tambahan
Introduksi	: Perbuatan memperkenalkan atau melancarkan untuk pertama kali
Ion	: Suatu atom atau molekul yang memiliki muatan listrik total tidak nol
Irigasi	: Usaha penyediaan dan pengaturan air
Isolasi	: Proses pengambilan atau pemisahan
Jerami	: Hasil samping usaha pertanian berupa tangkai dan batang tanaman sereal yang telah kering
Kalium	: Suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang K dan nomor atom 19. Kalium adalah salah satu logam alkali
Kalsium	: Sebuah elemen kimia dengan simbol Ca dan nomor atom 20. Kalsium merupakan salah satu logam alkali tanah
Kapang	: Mikroorganisme yang termasuk dalam anggota Kingdom Fungi yang membentuk hifa

Karbohidrat	: Segolongan besar senyawa organik yang paling melimpah di bumi. Karbohidrat sendiri terdiri atas karbon, hidrogen, dan oksigen
Kekahatan	: Kelebihan
Kerdil	: Kekurangan pertumbuhan, dengan rendah dan kecil yang di bawah normal
Khamir	: Jamur mikroskopis, eukariotik dan uniseluler
Khlor	: Unsur kimia dengan simbol Cl dan nomor atom 17
Kitinase	: Enzim yang dapat mengkatalisis reaksi degradasi (pemecahan) kitin
Klorofil	: Pigmen yang dimiliki oleh berbagai organisme dan menjadi salah satu molekul berperan utama dalam fotosintesis
Kloroplas	: Bagian dari plastid yang mengandung klorofil
Klorosis	: Keadaan jaringan tumbuhan, khususnya pada daun, yang mengalami kerusakan atau gagalnya pembentukan klorofil, sehingga tidak berwarna hijau, melainkan kuning atau pucat
Koliform	: Merupakan golongan mikroorganisme yang lazim digunakan sebagai indikator, di mana bakteri ini dapat menjadi sinyal untuk menentukan suatu sumber air telah terkontaminasi oleh patogen atau tidak
Koloid	: Suatu bentuk campuran (sistem dispersi) dua atau lebih zat yang bersifat homogen namun memiliki ukuran partikel terdispersi yang cukup besar (1 - 1000 nm)
Kolonisasi	: Mikroorganisme yang tidak bereplikasi pada jaringan yang ditempatinya
Komensalis	: Di mana pihak yang satu mendapat keuntungan tetapi pihak lainnya tidak dirugikan dan tidak diuntungkan
Kompos	: Hasil penguraian parsial/tidak lengkap dari campuran bahan-bahan organik
Konidia	: Spora fungi non motil dan aseksual

Konsentrasi	: Ukuran yang menggambarkan banyaknya zat di dalam suatu campuran dibagi dengan volume total campuran tersebut
Konsumsi	: Suatu kegiatan yang bertujuan mengurangi atau menghabiskan daya guna suatu benda
Kontaminasi	: Suatu kondisi terjadinya pencampuran/ pencemaran terhadap sesuatu oleh unsur lain
Kontribusi	: Keikutsertaan
Konversi	: Perubahan dari satu sistem pengetahuan ke sistem yang lain
Korteks akar	: Bagian terluar dari akar tumbuhan yang dibatasi di bagian luar oleh epidermis dan di bagian dalam oleh endodermis
Kotiledon	: Bakal daun yang terbentuk, dan melekat pada embrio dengan hipokotil
Krisis	: Keadaan yang berbahaya
Legum	: Tanaman dari jenis kacang – kacangan
Liat	: Partikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer
Lignin	: Salah satu zat komponen penyusun tumbuhan
Limbah	: Buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga
Magnesium	: Suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mg dan nomor atom 12 dan merupakan logam alkali tanah
Mangan	: Unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mn dan nomor atom 25. Mangan berupa logam transisi
Mayoritas.	: Himpunan bagian dari suatu himpunan yang jumlah elemen di dalamnya mencapai lebih dari separuh himpunan tersebut
Media sabouraud dextrose	: Media pertumbuhan yang mengandung pepton dan dekstrosa

Membran	: Lembaran bahan tipis, yang berfungsi sebagai pemisah selektif
Metabolisme	: Semua reaksi kimia yang terjadi di dalam organisme
Metabolit sekunder	: Senyawa metabolit yang tidak esensial bagi pertumbuhan organisme dan ditemukan dalam bentuk yang unik atau berbeda-beda antara spesies yang satu dan lainnya
Mikroalga	: Alga berukuran mikro yang biasa dijumpai di air tawar dan air laut.
Mikroba	: Organisme yang berukuran sangat kecil sehingga untuk mengamati diperlukan alat bantuan
Mineral	: Padatan senyawa kimia homogen, non-organik, yang memiliki bentuk teratur (sistem kristal) dan terbentuk secara alami
Mitokondria	: Organel tempat berlangsungnya fungsi respirasi sel makhluk hidup
Mobil	: Bergerak
Molibdenum	: Suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mo dan nomor atom 42
Mortalitas	: Ukuran jumlah kematian
Natrium	: Suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Na dan nomor atom 11. Ini adalah logam lunak
Nekrosis	: Bentuk cedera sel yang mengakibatkan kematian prematur sel-sel pada jaringan hidup
Nematoda	: Mikroorganisme yang digolongkan ke dalam filum dunia hewan. Berupa cacing-cacing mikroskopis dengan ukuran tubuh yang sangat kecil dan berwarna bening
Nikel	: Unsur kimia metalik dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ni dan nomor atom 28
Nitrogen	: Suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang N dan nomor atom 7
Nodulasi	: Proses pembentukan nodul (benjolan) karena aktivitas bakteri penambat N

Nukleotida	: Molekul yang tersusun dari gugus basa heterosiklik, gula, dan satu atau lebih gugus fosfat
Nutrisi	: Substansi organik yang dibutuhkan organisme untuk fungsi normal dari sistem tubuh
Obligat	: Sejati
Oksidasi	: Interaksi antara molekul oksigen dan semua zat yang berbeda .
Organ	: Kumpulan beberapa macam jaringan yang bekerja sama untuk melakukan tugas tertentu
Osmosis	: Perpindahan molekul pelarut (misalnya air) melalui selaput semipermeabel dari bagian yang lebih encer ke bagian yang lebih pekat
Parasit	: Hewan renik yang dapat menurunkan produktivitas hewan yang ditumpangnya
Parasitoid	: Organisme yang menghabiskan sebagian besar riwayat hidupnya dengan bergantung pada atas di organisme inang tunggal yang akhirnya membunuh
Partikel	: Unsur butir (dasar) benda
Patogen	: Agen biologis yang menyebabkan penyakit pada inangnya
Pembenah tanah	: Bahan-bahan sintetis atau alami, organik atau mineral yang berbentuk padat atau cair yang mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah
Pengatusan dakhil	: Pembuangan massa air secara alami atau buatan dari permukaan atau bawah permukaan dari suatu tempat.
Plasmolisis	: Peristiwa terlepasnya protoplasma dari dinding sel
Ppm	: Satuan-satuan yang dipakai sebagai satuan nirdimensi yang berasal dari pecahan yang sangat kecil. Ppm adalah satu bagian dari satu juta bagian
Predator	: Pemangsa hewan lain
Probabilitas	: Peluang
Produksi	: Suatu kegiatan yang dikerjakan untuk menambah nilai guna suatu benda atau menciptakan benda baru
Produktivitas	: Kemampuan untuk menghasilkan sesuatu

Propagul	: Suatu bentuk atau bagian dari organisme yang dipergunakan sebagai alat penyebaran atau reproduksi.
Protease	: Enzim golongan hidrolase yang akan memecah protein menjadi molekul yang lebih sederhana
Protein	: Senyawa organik kompleks berbobot molekul tinggi yang merupakan polimer dari monomer asam amino
Pupuk	: Material yang ditambahkan pada media tanam atau tanaman untuk mencukupi kebutuhan hara
Ragi	: Suatu macam tumbuh- tumbuhan bersel satu yang tergolong kedalam keluarga cendawan
Rasio	: Perbandingan
Reaktivitas	: Sifat suatu unsur yang mudah bereaksi
Reduksi	: Penambahan elektron oleh sebuah molekul, atom, atau ion
Rekayasa	: Penerapan ilmu dan teknologi untuk menyelesaikan permasalahan manusia
Reproduksi	: Proses biologis suatu individu untuk menghasilkan individu baru
Respon	: Reaksi terhadap rangsang yang diterima
Rhizosfer	: Suatu zona lingkungan mikro yang berada disekitar perakaran tanaman
Rimpang	: Modifikasi batang tumbuhan yang tumbuhnya menjalar di bawah permukaan tanah dan dapat menghasilkan tunas dan akar baru dari ruas-ruasnya
Rotasi	: Perputaran benda pada suatu sumbu yang tetap
Saprolitik	: Bakteri pembawa penyakit
Sel	: Kumpulan materi paling sederhana yang dapat hidup dan merupakan unit penyusun semua makhluk hidup.
Selulase	: Nama bagi semua enzim yang memutuskan ikatan glikosidik beta-1,4 di dalam selulosa, sedodekstrin, selobiosa, dan turunan selulosa lainnya.
Selulosa	: Molekul yang terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen, dan ditemukan dalam struktur selular hampir semua materi tanaman

Seng atau Zinc	: Unsur kimia dengan lambang kimia Zn, bernomor atom 30 dan merupakan logam
Serbuk sabut kelapa	: Merupakan hasil samping dari usaha pengolahan serat sabut kelapa
Sewage	: Pembuangan dari toilet
Silicone	: Suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dan nomor atom 14
Simbion mutualis	: Hubungan sesama makhluk hidup yang sama-sama diuntungkan
Simbol	: Suatu tanda
Sintesis	: Suatu integrasi dari dua atau lebih elemen yang ada yang menghasilkan suatu hasil baru
Sintesis	: Suatu integrasi dari dua atau lebih elemen yang ada yang menghasilkan suatu hasil baru
Sistem	: Perangkat unsur yang secara teratur saling berkaitan sehingga membentuk suatu totalitas
Sistematik	: Hubungan yang teratur dan logis
Sitosin	: Salah satu dari empat basa utama yang ditemukan dalam DNA (asam deoksiribonukleat) dan RNA (ribonucleic acid)
Spirakel	: Ujung saluran trakea yang berfungsi sebagai lubang masuk dan keluar udara
Spora	: Satu atau beberapa sel (bisa haploid ataupun diploid) yang terbungkus oleh lapisan pelindung
Stadia nimfa	: Hewan muda yang mirip dengan hewan dewasa tetapi berukuran lebih kecil dengan perbandingan tubuh yang berbeda
Sterilisasi	: Perlakuan untuk menjadikan suatu bahan atau benda bebas dari mikroorganisme
Struktur tanah	: Susunan dari fraksi-fraksi pasir, liat dan debu yang terbentuk secara alami
Sulur	: Metamorfosis salah satu bagian pokok tumbuhan (daun, batang, dan akar)
Takaran	: Alat untuk menakar

Tanah	: Agian kerak bumi yang tersusun dari mineral dan bahan organik
Tanaman mukuna	: Tanaman jenis kacang (Leguminosae) menjalar.
Tembaga	: Suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29 dan merupakan logam
Terak	: Ampas bijih
Toksisitas	: Keracunan
Turgor	: Tekanan yang mendorong membran sel terhadap dinding sel pada tumbuhan, bakteri, dan fungi, serta pada sel protista yang tidak memiliki dinding sel
Vakuola	: Ruang dalam sel yang berisi cairan yang berupa rongga yang diselaputi membran
Viabilitas	: Daya hidup benih yang ditunjukkan dengan gejala pertumbuhan atau gejala metabolisme
Virulensi	: Takaran kemampuan suatu mikroorganisme (virus) untuk menimbulkan penyakit
Visual	: Penglihatan
Walang sangit	: Serangga yang menjadi hama penting pada tanaman budidaya, terutama padi
Yeast	: Mikroorganisme yang termasuk dalam fungi uniseluler yang menyebabkan terjadinya fermentasi

BAB I.

PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Mata kuliah Teknologi Pemupukan Ramah Lingkungan adalah mata kuliah wajib bagi mahasiswa Polbangtan. Mata kuliah ini mengenalkan pengertian pupuk dan pemupukan, sejarah pupuk, pengertian tanah dan media tanam, jenis-jenis media tanam, pengertian dan fungsi unsur hara, klasifikasi pupuk, defisiensi dan kekahatan unsur hara, konsep penataan 4T (tepat dosis, jenis, waktu dan tempat), teknik pemupukan, pengertian agensia hayati mikroba, jenis-jenis dan peranan agensia hayati mikroba, jenis-jenis media pertumbuhan agensia hayati mikroba, media alternatif dan produksi agensia hayati mikroba, dan hasil aplikasi agensia hayati mikroba terhadap pertumbuhan tanaman.

B. Prasyarat

Tidak ada mata kuliah prasyarat untuk mengambil mata kuliah Teknologi Pemupukan Ramah Lingkungan.

C. Manfaat Pembelajaran

Setelah mengikuti perkuliahan mahasiswa mampu untuk mengetahui definisi pupuk dan pemupukan, klasifikasi pupuk, konsep 4T, agensia hayati mikroba, jenis dan peranan agensia hayati mikroba. Mahasiswa juga mampu melaksanakan macam-macam teknik pemupukan dan memproduksi agensia hayati mikroba. Dengan demikian, mahasiswa melaksanakan kegiatan pemupukan ramah lingkungan dan menjadi produsen pupuk hayati mikroba.

D. Capaian Pembelajaran

Adapun kompetensi yang diharapkan pada mahasiswa setelah menerima materi teknologi pemupukan ramah lingkungan selama satu semester ini adalah:

1. Mampu mengaplikasikan penggunaan media tanam yang ideal untuk pertumbuhan tanaman

2. Mampu melaksanakan macam-macam teknik pemupukan
3. Mampu mengaplikasikan pupuk anorganik dan organik secara berimbang
4. Mampu melakukan produksi pupuk hayati mikroba

E. Petunjuk Pembelajaran

Mata kuliah Teknologi Pemupukan Ramah Lingkungan memiliki bobot SKS (1-1) artinya 1 SKS teori dan 1 SKS praktek. Sesuai SKS yang dimiliki, maka materi pembelajaran setiap minggu diberikan dengan metode kuliah selama 50 menit untuk tatap muka, 60 menit untuk tugas terstruktur dan 60 menit untuk tugas mandiri. Pembelajaran praktik setiap minggu dilakukan dengan praktikum di kebun/lahan praktik selama 1 x 120 menit kegiatan praktik dan 1 x 50 menit kegiatan mandiri.

F. Cek Kemampuan Awal (*Pre Test*)

Perhatikan pernyataan di bawah ini, kemudian lingkari huruf B jika pernyataannya Benar atau lingkari huruf S jika pernyataannya Salah.

- | | |
|-------|---|
| B – S | 1. Pupuk adalah bahan kimia atau organisme yang berperan dalam penyediaan unsur hara bagi keperluan tanaman secara langsung atau tidak langsung |
| B – S | 2. Pupuk anorganik bukan pupuk hasil proses rekayasa secara kimia, fisika dan atau biologi dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuat pupuk |
| B – S | 3. Pemupukan adalah upaya pemberian nutrisi kepada tanaman guna menunjang kelangsungan hidupnya |
| B – S | 4. Media arang sekam bukan salah satu media yang mengandung bahan organik dan silika yang dianjurkan untuk perkecambahan benih |
| B – S | 5. Serbuk sabut kelapa (coco peat) merupakan hasil utama dari industri kelapa yang dapat dimanfaatkan sebagai media tanam |
| B – S | 6. Tanah dari segi manfaat memiliki arti sebagai media tempat tumbuh tanaman |
| B – S | 7. Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan suatu tanaman dalam jumlah kecil |

- B – S 8. Unsur hara makro sendiri terdiri dari utama yang berupa: Nitrogen, Fosfor, Kalsium
- B – S 9. Pupuk padat umumnya mempunyai kelarutan yang beragam mulai yang mudah larut air sampai yang sukar larut
- B – S 10. Konsep penataan hara 4T yaitu tepat dosis, jenis, tempat dan bentuk

BAB II.

PEMBELAJARAN

Kegiatan Pembelajaran 1:

1. DEFINISI PUPUK DAN PEMUPUKAN, KONSEP PENATAAN HARA 4T DAN TEKNIK PEMUPUKAN

A. Deskripsi

Bab ini menjelaskan tentang definisi pupuk dan peranan unsur hara makro terhadap tanaman, perbedaan pupuk organik dan anorganik, sejarah perkembangan pupuk, konsep dan tujuan pemupukan, teknik pemupukan secara singkat, konsep pemberian pupuk tepat sumber, dosis, waktu dan tempat. Identifikasi nilai kandungan pupuk makro NPK, dampak hara terhadap kualitas tanah, waktu aplikasi pupuk yang tepat, definisi arsitektur akar, mekanisme penyerapan hara oleh akar dan daun. Selain itu, penjelasan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi dan efektivitas pemupukan daun, dan teknik-teknik pemupukan berdasarkan jenis tanamannya.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Dengan penguasaan materi pembelajaran dalam bab ini pada akhir pembelajaran, peserta didik diharapkan mampu menjelaskan pengertian pupuk dan pemupukan, konsep penataan hara 4T dan teknik pemupukan yang tepat.

2. Uraian Materi

a. Pengertian Pupuk dan Pemupukan

Pupuk adalah bahan kimia atau organisme yang berperan dalam penyediaan unsur hara bagi keperluan tanaman secara langsung atau tidak langsung. Pupuk anorganik adalah pupuk hasil proses rekayasa secara kimia, fisika dan atau biologi dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuat pupuk. Pupuk organik adalah pupuk yang sebagian besar atau seluruhnya terdiri dari bahan organik

yang berasal dari tanaman dan atau hewan yang telah melalui proses rekayasa dan dapat berbentuk padat atau cair yang digunakan untuk mensuplai bahan organik, memperbaiki sifat fisik, kimia dan atau biologi tanah. (Peraturan Bupati Bogor Nomor 13 Tahun 2010). Pemupukan berimbang adalah pemberian pupuk bagi tanaman sesuai dengan status hara tanah dan kebutuhan tanaman untuk mencapai produktivitas yang optimal dan berkelanjutan sebagaimana tertuang dalam Peraturan Menteri Pertanian No. 40/Permentan/OT.140/4/2007.

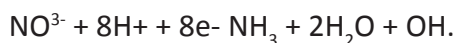
Pemupukan adalah upaya pemberian nutrisi kepada tanaman guna menunjang kelangsungan hidupnya. Pupuk dapat dibuat dari bahan organik ataupun anorganik. Pemberian pupuk perlu memperhatikan takaran yang diperlukan oleh tumbuhan, jangan sampai pupuk yang digunakan kurang atau melebihi takaran yang akhirnya akan mengganggu pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pupuk dapat diberikan lewat tanah ataupun disemprotkan ke daun. Sejak dulu sampai saat ini pupuk organik diketahui banyak dimanfaatkan sebagai pupuk dalam sistem usaha tani oleh para petani (Sutedjo, 2010).

Pemupukan bertujuan memberikan tambahan nutrisi pada tanah, yang secara langsung maupun tidak langsung akan diserap oleh tanaman untuk metabolismenya. Nutrisi yang dibutuhkan terdiri dari makronutrien seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dan unsur mikro seperti unsur sulfur, kalsium, magnesium, besi, tembaga, seng dan lainnya (Farming.id, 2019). Pemupukan dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu melalui akar dan daun. Pemupukan melalui akar bertujuan memberikan unsur hara pada tanah untuk kebutuhan tanaman. Pada umumnya pemberian pupuk melalui akar dapat dilakukan secara disebar (*broadcasting*), ditempatkan dalam lubang (*spot placement*), larikan atau barisan (*ring placement*). Sedangkan melalui daun, pemupukan dilakukan secara penyemprotan (*spraying*).

Pertumbuhan tanaman sangat bergantung pada suplai unsur hara. Unsur hara tanaman dibedakan menjadi dua kelompok besar yaitu unsur hara esensial dan tidak esensial. Unsur hara esensial terbagi menjadi dua yaitu unsur hara makro dan mikro. Pengelompokan unsur hara makro dan mikro didasarkan atas kuantitas hara yang dibutuhkan tanaman. Unsur hara makro terdiri atas sembilan

unsur yaitu C, O, H, N, P, K, Ca, Mg, dan S sedangkan unsur hara mikro terdiri atas tujuh unsur yaitu Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, dan Cl (Wijaya 2008).

Nitrogen merupakan unsur hara terpenting untuk pertumbuhan tanaman. Suplai N mempengaruhi pertumbuhan, penampilan, warna, dan hasil tanaman. Nitrogen yang diserap oleh akar tanaman ada dua bentuk yaitu ion nitrat (NO_3^-) dan ion ammonium (NH_4^+). Nitrogen yang diserap dalam bentuk ion nitrat sebagian akan disimpan langsung di dalam vakuola sel akar, vakuola sel organ penyimpan (buah) dan selebihnya yang tidak tersimpan akan direduksi menjadi nitrit (NO_2^-) untuk selanjutnya di reduksi oleh enzim nitrit reduktase menjadi amoniak (NH_3). Reaksi reduksi nitrat sebagai berikut (Wijaya 2008):



Tanaman yang cukup mendapat nitrogen akan membentuk helaian daun yang lebih luas dengan kandungan klorofil lebih tinggi sehingga tanaman mampu menghasilkan karbohidrat/asimilat dalam jumlah yang cukup untuk menopang pertumbuhan vegetatif. Apabila tanaman kekurangan nitrogen maka daun yang terbentuk lebih kecil dan mengalami gangguan produksi enzim sehingga kecepatan pertumbuhan menjadi terganggu. Secara keseluruhan tanaman yang kekurangan nitrogen akan tumbuh kerdil, daun muda berwarna hijau pucat dan mengalami klorosis dan gugur daun. Sebaliknya, apabila tanaman kelebihan suplai nitrogen maka akan cenderung mensintesis senyawa N organik seperti amida, amina, asam amino, dan protein yang membutuhkan banyak atom C, akibatnya pembentukan jaringan penguat (lignin dan selulosa) terganggu dan kandungan karbohidrat tanaman menjadi rendah (Fageria, 2009).

Nitrogen juga memainkan peran penting dalam pertumbuhan akar. Tanaman yang disuplai N berlebihan akan membentuk perakaran yang dangkal, bercabang banyak, pendek dengan ukuran relatif besar. Tanaman yang memiliki sistem perakaran seperti ini akan rentan terhadap kekeringan (Wijaya 2008). Fosfor pada tanaman berperan penting dalam hampir semua reaksi biokimia, dan peran P yang istimewa yaitu pada proses penangkapan energi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi biokimia (Fageria 2009). Unsur P merupakan komponen penyusun membran sel tanaman, penyusun enzim-enzim, penyusun

co-enzim, nukleotida (bahan penyusun asam nukleat), sintesis karbohidrat, memacu pertumbuhan bunga dan biji, serta menentukan kemampuan berkecambah biji (Wijaya 2008).

Unsur P berperan dalam memperbaiki pertumbuhan akar tanaman. Densitas (kerapatan) akar dapat distimulasi oleh P meskipun tidak sebaik pengaruh nitrat (Wijaya 2008). Kekurangan P dapat mengurangi ukuran, jumlah, dan viabilitas benih (Fageria 2009). Defisiensi P menyebabkan tanaman tumbuh kerdil, memiliki sedikit anakan, dan luas daun menjadi terhambat karena sintesis karbohidrat tidak berjalan optimal (Wijaya 2008).

Di dalam tanah P tersedia dalam jumlah sedikit yaitu 0,1 – 1,0% sedangkan selebihnya teradsorpsi dan terimmobilisasi. Bentuk ion yang tersedia bagi tanaman yaitu HPO_4^{2-} (pada tanah netral) dan H_2PO_4^- (pada tanah asam) (Wijaya 2008). Unsur K sangat berperan dalam menjaga tekanan osmosis dan turgor sel. Kalium merupakan unsur yang sangat mobil di dalam tanaman, sehingga pada kondisi defisiensi, K pada daun tua akan dialihkan ke organ baru yang membutuhkan K. Oleh karena itu gejala defisiensi K dapat dilihat pertama kali pada daun tua (Fageria 2009).

Kalium berperan memperbesar ukuran rimpang/umbi, memperbaiki pengisian rimpang/umbi, ukuran dan berat biji kacang-kacangan, memperbaiki bulir padi dan jagung, meningkatkan kandungan vitamin C pada sayur dan buah, serta meningkatkan ketahanan tanaman pada cekaman kekeringan (Wijaya 2008). Kalium diserap oleh tanaman dalam bentuk ion K^+ . Perakaran tanaman yang mendapat suplai K optimal dapat menyerap air lebih baik, dan dapat mengurangi kecepatan transpirasi. Kekurangan K menyebabkan kerusakan kloroplas dan mitokondria sel tanaman, sehingga tanaman tidak mampu melakukan fotosintesis secara optimal (Wijaya, 2008).

Unsur hara N, P, dan K merupakan unsur hara utama yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah lebih besar dibandingkan unsur hara lain. Namun dalam aplikasinya perlu memperhatikan keseimbangan suplai hara. Tanaman yang kekurangan dan kelebihan suplai hara pertumbuhannya akan terganggu, selain itu lingkungan akan ikut tercemar dengan pemberian pupuk yang berlebihan. Keseimbangan

suplai hara jumlahnya akan terus berubah bergantung pada ketersediaan hara di dalam tanah.

b. Sejarah Pupuk

Sejarah penggunaan pupuk pada dasarnya merupakan bagian daripada sejarah pertanian. Penggunaan pupuk diperkirakan sudah dimulai sejak permulaan manusia mengenal bercocok tanam, yaitu sekitar 5.000 tahun yang lalu. Bentuk primitif dari penggunaan pupuk dalam memperbaiki kesuburan tanah dimulai dari kebudayaan tua manusia di daerah aliran sungai-sungai Nil, Efrat, Indus, Cina, dan Amerika Latin. Lahan-lahan pertanian yang terletak di sekitar aliran-aliran sungai tersebut sangat subur karena menerima endapan lumpur yang kaya hara melalui banjir yang terjadi setiap tahun.

Di Indonesia, pupuk organik sudah lama dikenal para petani. Penduduk Indonesia sudah mengenal pupuk organik sebelum diterapkannya revolusi hijau di Indonesia. Setelah revolusi hijau, kebanyakan petani lebih suka menggunakan pupuk buatan karena praktis menggunakannya, jumlahnya jauh lebih sedikit dari pupuk organik, harganya pun relatif murah dan mudah diperoleh. Kebanyakan petani sudah sangat tergantung pada pupuk buatan, sehingga dapat berdampak negatif terhadap perkembangan produksi pertanian. Tumbuhnya kesadaran para petani akan dampak negatif penggunaan pupuk buatan dan sarana pertanian modern lainnya terhadap lingkungan telah membuat mereka beralih dari pertanian konvensional ke pertanian organik (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006).

Tumbuhnya kesadaran akan dampak negatif penggunaan pupuk buatan dan sarana pertanian modern lainnya terhadap lingkungan pada sebagian kecil petani telah membuat mereka beralih dari pertanian konvensional ke pertanian organik. Pertanian jenis ini mengandalkan kebutuhan hara melalui pupuk organik dan masukan-masukan alami lainnya. Penggunaan pupuk hayati untuk membantu tanaman memperbaiki nutrisinya sudah lama dikenal. Pupuk hayati pertama yang dikomersialkan adalah rhizobia, yang oleh dua orang ilmuwan Jerman, F. Nobbe dan L. Hiltner, proses menginokulasi benih dengan biakan nutrisinya dipatenkan.

Inokulan ini dipasarkan dengan nama Nitragin, yang sudah sejak lama diproduksi di Amerika Serikat (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006).

Pada tahun 1930-an dan 1940-an berjuta-juta ha lahan di Uni Sovyet yang ditanami dengan berbagai tanaman diinokulasi dengan *Azotobacter*. Bakteri ini diformulasikan dengan berbagai cara dan disebut sebagai pupuk bakteri Azotobakterin. Pupuk bakteri lain yang juga telah digunakan secara luas di Eropa Timur adalah fosfobakterin yang mengandung bakteri *Bacillus megaterium* (Mc donald, 1989). Bakteri ini diduga menyediakan fosfat yang terlarut dari pool tanah ke tanaman. Tetapi penggunaan kedua pupuk ini kemudian terhenti. Baru setelah terjadinya kelangkaan energi di dunia karena krisis energi pada tahun 1970-an dunia memberi perhatian terhadap penggunaan pupuk hayati. Pada waktu pertama kali perhatian lebih dipusatkan pada pemanfaatan rhizobia, karena memang tersedianya nitrogen yang banyak di atmosfer dan juga pengetahuan tentang bakteri penambat nitrogen ini sudah banyak dan pengalaman menggunakan pupuk hayati penambat nitrogen sudah lama (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006).

c. Konsep Penataan Hara 4T (Tepat Dosis, Jenis, Waktu dan Tempat)

Pemberian sumber hara tanaman yang tepat pada dosis, waktu, dan tempat yang tepat merupakan inti konsep Penataan Hara 4T. Keempat ‘tepat’ ini merupakan hal yang perlu untuk pengelolaan berkelanjutan (*sustainable*) hara tanaman: pengelolaan yang meningkatkan produktivitas tumbuhan dan tanaman secara berkelanjutan. Berkelanjutan terdiri dari dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Ketiga dimensi tersebut perlu dimasukkan dalam penilaian setiap praktek pengelolaan hara untuk menentukan apakah sudah “tepat” atau belum (IPNI, 2017).

Untuk suatu sistem, pemangku kepentingan perlu menentukan tujuan umum, tetapi manajer merupakan personal yang tepat untuk menentukannya. Dalam rangka menentukan tujuan, pemangku kepentingan perlu memahami bagaimana pengelolaan hara tanaman mempengaruhi kinerja sistem tanaman. Pemangku kepentingan tidak hanya manajer dan penasehat mereka, tetapi juga orang yang membeli barang dan hidup di lingkungan sistem tersebut. Karena sistem

produksi berbasis tanaman menyebar dan masyarakat bergantung padanya untuk pangan, bahan bakar, serat, dan estetika pada dasarnya setiap orang adalah pemangku kepentingan pada taraf tertentu. Dengan demikian, definisi kinerjanya akan termasuk produktivitas dan memperoleh keuntungan dari sistem (dimensi ekonomi), pengaruhnya pada tanah, air, udara dan keragaman hayati (dimensi lingkungan), dan pengaruhnya pada kualitas hidup, dan peluang kerja (dimensi sosial). Tujuan spesifik-perusahaan perlu diselaraskan dengan tujuan umum untuk perkembangan yang berkelanjutan pada suatu wilayah (IPNI, 2017).

1) Tepat Sumber

Mengingat konsentrasi beberapa hara tanaman sering kurang dari optimal dalam tanah, umumnya petani menambahkannya dari dalam kebun dan dari luar kebun. Sumberdaya dari dalam kebun termasuk tanaman penutup tanah, pupuk kandang, dan sisa tanaman. Sumberdaya dari luar kebun dapat termasuk beragam hara yang diproses dan tidak diproses serta penyubur tanah. Dari semua unsur hara, kecuali N berasal dari mineral bumi yang secara alami terjadi. Industri global mutakhir telah mengembangkan ekstraksi hara tersebut dan menjadikan bentuk konsentrat yang nyaman untuk ditangani dan dikirim, dan yang menyediakan hara cepat tersedia bagi akar tanaman. Beberapa mineral bumi dapat digunakan langsung sebagai sumber hara tanaman atau penyubur tanah, tetapi banyak yang lainnya memerlukan proses untuk meningkatkan kelarutannya atau mengkonsentrat haranya untuk efisiensi pengiriman. Mineral tidak larut melepaskan hara tanaman sangat lambat ke dalam larutan tanah.

Pupuk kandang dan kompos merupakan sumber hara tanaman yang sangat baik ketika digunakan secara benar. Kotoran hewan mengandung semua unsur dasar bagi tanaman, walaupun rasio relatifnya sering berbeda dengan jumlah relatif yang dibutuhkan. Karena beberapa bentuk N, P, dan S adalah organik, bahan-bahan tersebut memerlukan waktu untuk hancur (mineralisasi) sebelum bahan-bahan tersebut dikonversi menjadi bentuk yang dapat diasimilasi oleh akar. Kompos yang mengalami dekomposisi terkendali selama masa inkubasi, menghasilkan produk organik yang relatif stabil dan lebih lambat terdekomposisi dibandingkan dengan kotoran hewan. Hara dalam kotoran hewan dan kompos berasal dari

pakan dan jerami dari kebun yang tampaknya memperoleh pupuk; hara yang ditambahkan pada siklus tanaman dari kebun sekitarnya dan yang jauh.

Pemilihan sumber pupuk yang tepat dimulai dengan penentuan hara apa yang secara aktual dibutuhkan untuk memenuhi target produksi. Hara yang menjadi pembatas dapat ditentukan melalui penggunaan analisis tanah dan tanaman, uji jaringan, petak omisi (*omission*) hara, sensor warna daun atau gejala defisiensi visual. Semua hal ini dikerjakan sebelum keputusan aplikasi pemupukan. Hanya menduga hara yang dibutuhkan dapat menyebabkan masalah serius berhubungan dengan kekurangan atau kelebihan pemupukan dan dapat menyebabkan pada pengabaian hara tertentu sampai muncul kekurangan yang akut. Pendugaan kebutuhan hara tertentu juga dapat menyebabkan pengembalian ekonomi yang buruk jika diberi berlebihan terhadap hara yang sudah cukup konsentrasinya.

Merupakan hal yang umum untuk fokus pada hara tunggal yang kekurangan daripada hara lainnya. Sebagai contoh, kekurangan N mudah untuk dideteksi dengan pengamatan pertumbuhan kerdil dan klorosis daun. Namun, manfaat maksimum dari aplikasi pupuk N tidak dapat tercapai jika kekurangan hara lainnya (seperti P dan K) tidak diperbaiki. Walaupun kita sering fokus pada hara secara individual, semua fungsi hara secara bersama mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat.

Setiap hara tanaman tersedia dalam bentuk kimia yang berbeda dan berlangsung dengan reaksi yang khas setelah masuk dalam tanah. Tanpa melihat sumber aslinya dan reaktivitas tanah, hara harus dalam bentuk larut dan tersedia bagi tanaman sebelum hara dapat diserap oleh akar tanaman. Pupuk normalnya dijual dengan mutu/ kandungan tertentu, atau garansi analisis minimum. Kandungannya dinyatakan dalam serangkaian angka yang menunjukkan kandungan persen hara berdasarkan berat. Angka pertama menunjukkan total N; kedua, P tersedia setara P_2O_5 , dan ketiga K dapat larut setara K_2O . Sebagai contoh, 100 kg pupuk 10-15-20 mengandung 10 kg N, 15 kg P_2O_5 , dan 20 kg K_2O .

Untuk pupuk yang mengandung hara lainnya, tambahan angka dapat dicantumkan bersama simbol hara; sebagai contoh, pupuk 21-0-0-24S

mengandung 21% N dan 24% S. Sebagai catatan bahwa bentuk kimia P dan K dalam pupuk bukan P_2O_5 atau K_2O . Namun, bentuk oksidanya menjadi unit tradisional yang digunakan dalam menyatakan pupuk ini. Pupuk berisi fosfat dan kalium dinyatakan masing-masing dalam kesetaraan P_2O_5 dan K_2O . Untuk mengkonversi bentuk oksidanya ke bentuk elemen, gunakan faktor konversi sebagai berikut:

$$P_2O_5 \times 0,437 = P$$

$$P \times 2,29 = P_2O_5$$

$$K_2O \times 0,830 = K$$

$$K \times 1,20 = K_2O$$

2) Tepat Dosis

Aplikasi suatu hara yang kurang atau berlebih dapat berdampak pada produksi tanaman, ekonomi dan/atau lingkungan. Ketika pupuk dan sumber hara lainnya dihargai murah jika dibandingkan dengan harga tanaman, maka insentif yang dihasilkan untuk rekomendasi hara cenderung kecil, kecuali tanaman memberikan respon negatif kepada pemberian hara yang berlebihan (misalnya terlalu banyak N menyebabkan gandum menjadi rebah, berkurangnya kandungan gula pada bit atau kualitas kapas), atau konsekuensi dari hara terhadap lingkungan yang dapat diprediksi sebelumnya (seperti kontaminasi P pada air). Namun, pada kondisi harga hara yang mahal dan/atau harga tanaman yang rendah, ketertarikan untuk mengembangkan program pemupukan yang efisien meningkat.

Hukum Liebig tentang kondisi minimal untuk produksi akan ditentukan oleh elemen yang keberadaannya paling terbatas. Dengan kata lain, defisiensi satu hara tidak dapat digantikan dengan kelebihan hara lainnya. Jadi 17 elemen yang diperlukan harus ada dalam jumlah yang cukup untuk memenuhi pertumbuhan tanam. Kecukupan jumlah bergantung pada bahan, waktu dan tempat. Sumber hara harus memberikan jumlah yang tepat pada saat dan tempat yang tepat untuk memenuhi pertumbuhan tanaman.

Dalam menentukan dosis pemupukan yang tepat, kontribusi menuju pemenuhan hara tanaman dari semua sumber hara perlu dipertimbangkan. Sebagian dari sumber ini termasuk penyediaan hara lokal (yang tidak diaplikasikan pada tanah seperti sisa tanam dan pupuk hijau), pupuk kandang, kompos, limbah padat, pemindahan dari atmosfer dan irigasi. Jumlah dan ketersediaan hara dari sumber ini sangat bervariasi dan dapat menjadi sulit untuk diprediksi; namun demikian, upaya harus dilakukan untuk menghitungnya.

Fiksasi simbiotik N pada tanaman legum diperhitungkan sebagai salah satu sumber terpenting N lokal di tanah. Banyak pedoman pengelolaan hara yang menggunakan pengaturan dosis N untuk tanaman dengan rotasi tanaman legum. Namun demikian, jumlah fiksasi N dan ketersediaan N bagi tanaman berikutnya sangat bervariasi bergantung pada banyak faktor. Sementara keberadaan legum dapat mempengaruhi dosis N untuk tanaman berikutnya, pertumbuhan tanaman legum termasuk nodulasi, produksi dan sisa N, sangat bergantung kepada pemupukan dengan hara lainnya, terutama P dan K.

Sisa tanaman memiliki jumlah hara yang cukup banyak. Mendaur ulang sisa tanaman tersebut dalam tanah dapat berkontribusi pada ketersediaan hara lokal. Di lain pihak memanen sisa tanaman dapat meningkatkan pengambilan hara dari tanah, terutama K, dan harus dipertimbangkan sebagai hal negatif dalam keseimbangan hara. Selain berkontribusi mewariskan hara tanah, daur ulang sisa tanaman juga memperbaiki total karbon organik, kelembaban tanah, suhu, struktur tanah dan membantu pencegahan erosi.

Hara tanaman mempengaruhi kualitas tanah dengan beberapa cara. Pertama, ketika hara tanaman ada pada tingkat yang mengoptimasi pertumbuhan, jumlah kontribusi karbon organik dari tanaman ke tanah lebih besar daripada ketika pertumbuhan tanaman dibatasi oleh hara yang ada. Kontribusi karbon yang lebih besar membantu menjaga, membangun atau memperlambat penipisan bahan organik tanah, yang merupakan kunci dalam memelihara struktur tanah. Pada gilirannya, ini mempengaruhi kapasitas tanah memegang air dan sifat-sifat lain yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Kedua, banyak hara yang ditahan di dalam tanah dan jumlah penambahan hara tersebut mempengaruhi kandungan yang ada di tanah dari waktu ke waktu.

Beberapa tanah membutuhkan tambahan atau kurang dari yang hilang bersama tanaman untuk menjaga kadar uji tanah yang diinginkan. Contohnya adalah tanah yang memiliki jumlah P atau K tetap, baik melalui serapan, pengendapan kimiawi atau terjebak diantara lapisan liat. Tanah lain mungkin mengalami mineralisasi bersih P atau K dari mineral tanah, atau bagian organik. Untuk itu, uji tanah direkomendasikan setiap 3 sampai 5 tahun sekali, memeriksa P dan K untuk melihat apakah kondisi tanah sudah sesuai dengan kadar yang diinginkan. Uji tanah membantu menentukan apakah jumlah tambahan hara harus lebih banyak, sama dengan atau kurang dari hara yang hilang bersama panen.

3) Tepat Waktu

Menilai dinamika dan pola serapan tanaman dapat menjadi komponen penting dalam menentukan waktu yang tepat untuk aplikasi unsur hara. Penyerapan unsur hara penting dan pola akumulasi bahan kering mirip untuk tanaman pada umumnya dan biasanya mengikuti pola “S” atau sigmoid. Hal ini ditandai dengan penyerapan yang agak lambat di awal dan naik ke kecepatan maksimum pada fase pertumbuhan cepat, dan melambat lagi pada saat tanaman matang. Tingkat serapan unsur hara tanaman tidak konsisten sepanjang musim. Aplikasi dijadwalkan dan ditargetkan dapat menguntungkan untuk produksi dan/atau kualitas tanaman pada beberapa sistem produksi untuk beberapa unsur hara, terutama N. Waktu dan target aplikasi juga dapat bermanfaat untuk mengurangi kehilangan unsur hara dari tanah karena dampak lingkungan. Banyak contoh waktu aplikasi pupuk berdasarkan tingkat pertumbuhan tanaman yang dapat diberikan, misalnya beberapa tanaman seperti di bawah ini:

- Aplikasi N dan K pada kapas. Mayoritas N dan K dalam produksi kapas diambil setelah munculnya bunga pertama, atau pada fase reproduksi. Hal yang penting untuk memastikan bahwa unsur hara ini tersedia secara cukup ketika kebutuhan tertinggi. Dalam beberapa keadaan, N dan bahkan K yang diaplikasikan di daun atau bunga pertama dapat meningkatkan hasil dan/atau kualitas kapas.
- Aplikasi N pada tanaman penghasil butiran kecil seperti gandum. Kebanyakan rekomendasi pada gandum untuk aplikasi N pada saat menanam, dengan

aplikasi atas (*topdress*) sebelum penggabungan (*jointing*). Pada saat gandum mulai berbuah, kebanyakan N telah diserap, dan jika pengelolaan N yang baik sebelumnya tidak dijalankan, maka hasil akan buruk. Meskipun hasil ditentukan pada saat ujung kepala gandum mulai tumbuh, pengaplikasian N pada akhir musim dapat meningkatkan protein pada biji. Hal ini dapat menguntungkan dimana mutu tinggi protein bernilai. Perlakuan yang hati-hati harus dilakukan pada pemupukan akhir musim untuk menghindari kerusakan yang dapat mempengaruhi pengisian butiran gandum (contohnya daun bendera yg terbakar).

- Pohon buah-buahan. Pohon buah adalah tanaman tahunan dengan karakter dan distribusi penyerapan unsur hara yang berbeda dari kebanyakan tanaman kebun. Contoh yang bagus adalah anggur yang memiliki 3 tingkatan penyerapan yang berbeda: masa antara masa berkecambah/ awal pertumbuhan daun dan tunas baru/ perkembangan buah, periode antara perkembangan awal buah dan pengembangan buah, dan periode setelah pengembangan buah hingga matangnya buah.
- Tanaman tropis semi-tahunan. Untuk tanaman seperti kelapa sawit atau pisang yang panennya berkelanjutan, waktu yang tepat bergantung pada pola cuaca serta kesempatan aplikasi. Tetap penting untuk memperhitungkan antisipasi puncak produktivitas, misalnya ketika mulai hujan setelah periode kemarau.
- Ca untuk kacang tanah. Kacang tanah sangat sensitif terhadap defisiensi Ca. Ketersediaan Ca di zona tanah dengan kadar tinggi dibutuhkan pada saat pengembangan polong kacang, dan demikian aplikasi Ca-larut (misalnya kalsium sulfat atau kalsium nitrat) sebelum-berbunga kadang-kadang dilakukan pada kacang tanah.
- Mangan (Mn) untuk kedelai. Aplikasi Mn melalui daun pada awal musim sering dilakukan untuk kedelai di area yang gejala defisiensi muncul pada jaringan tanaman.

Sebagian besar tanah memiliki kapasitas untuk memasok setidaknya beberapa unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Umumnya, semakin berpasir atau semakin terlapuk, semakin rendah kapasitas penyediaan unsur hara. Kapasitas

penyediaan unsur hara tanah relevan untuk menilai komponen 4T, tetapi dapat mempengaruhi pilihan waktu dan juga kebutuhan. Pada umumnya, semakin besar kapasitas tanah untuk menahan dan menyediakan unsur hara tanaman dan menyediakannya selama masa pertumbuhan, semakin sedikit kebutuhan pada waktu kritis dari unsur hara tersebut.

Bagi banyak tanah pertanian, pupuk P serta K dapat diterapkan sekali untuk memasok kebutuhan satu atau beberapa tanaman. P dan K yang diterapkan, ditahan oleh tanah, namun tetap tersedia bagi tanaman dari waktu ke waktu. Beberapa tanah yang sangat basa, atau tanah asam cukup umum di daerah tropis, memiliki kapasitas fiksasi P yang sangat tinggi. Pupuk fosfor yang diterapkan untuk tanah ini dapat dengan mudah dikonversi ke bentuk P yang sedikit larut dan tidak tersedia. Oleh karena itu, di lingkungan ini, hal yang umum untuk menerapkan produk pupuk P khusus per tahun pada area terkonsentrasi pada saat tanam untuk meningkatkan pasokan tanaman.

Faktor penting lainnya dalam penilaian dinamika pasokan hara tanah adalah tingkat uji tanah. Pengujian tanah bukan ilmu pasti, dalam arti tidak memberikan jawaban absolut terhadap aplikasi pupuk pada waktu yang telah ditentukan. Ada terlalu banyak faktor yang mempengaruhi sistem untuk sebuah ukuran seperti tingkat uji tanah untuk memprediksi secara konsisten sebuah keluaran. Menyediakan atau setidaknya memberikan ide, yaitu probabilitas respon terhadap aplikasi pemupukan dari suatu unsur hara yang spesifik. Umumnya, semakin tinggi tingkat uji tanah, semakin sedikit kebutuhan untuk aplikasi pupuk dan semakin besar fleksibilitas dalam waktu aplikasi.

Hilangnya Nitrogen dan P dari sistem tanam umumnya merupakan kekhawatiran terbesar karena tidak hanya memiliki dampak ekonomi yang negatif, tetapi juga dapat menciptakan masalah lingkungan spesifik. Nitrogen dapat hilang melalui beberapa cara termasuk pencucian nitrat, hanyut melalui permukaan tanah, dan kehilangan bentuk gas. Nitrogen dalam tanah cenderung akan dikonversi ke bentuk nitrat. Karena muatan negatif, nitrat tidak tertarik ke partikel bermuatan negatif dari liat dan bahan organik. Dengan demikian nitrat bebas untuk tercuci sejalan dengan air bergerak melalui profil tanah. Fosfor kurang rentan terhadap

pencucian, tetapi kehilangan sedikit P dapat berdampak besar pada kualitas air. Kehilangan P dari lahan terjadi melalui aliran permukaan. Dalam beberapa tanah, kehilangan melalui drainase sangat besar, dan dimana terdapat akumulasi P yang tinggi dalam tanah, pencucian ke muka air tanah yang dangkal dapat menyebabkan kehilangan dari lahan. Penempatan pupuk P di bawah permukaan dapat sangat mengurangi risiko kehilangan.

4) Tepat Tempat

Arsitektur akar adalah konfigurasi spasial dan 3 dimensi pada sistem perakaran dan mengacu pada susunan geometris akar tanaman di dalam tanah. Arsitektur akar sangat berbeda antara spesies tanaman dan berhubungan erat dengan kondisi tanah. Sistem perakaran serabut memiliki orientasi horizontal yang khas dan ditemukan pada kedalaman tanah yang lebih dangkal. Diagram kedua merupakan sistem perakaran gula bit pada usia 2 bulan pada kondisi tanah teririgasi. Sistem akar tunggangnya berorientasi vertikal dan meluas lebih dalam pada tanah. Spesies tanaman yang berbeda memiliki pola pertumbuhan akar yang berbeda pula, yang mempengaruhi kemampuan secara individual untuk mengakses hara pada berbagai lokasi di dalam tanah. Selain itu, dalam suatu species, tidak semua sistem perakaran bertahan aktif sepanjang musim, semakin mempengaruhi akses terhadap persediaan hara pada suatu lokasi manapun.

Arsitektur akar tanaman berubah sepanjang musim seiring tanaman semakin matang dan sistem perakaran beradaptasi terhadap lingkungan sekitarnya sebuah karakter yang diistilahkan “plastisitas”. Berbagai kondisi eksternal dapat mengubah arsitektur akar; contohnya termasuk kandungan kelembaban tanah (Sharp et al., 1988), suhu tanah (Walker, 1969), konsentrasi hara (Zhang and Barber, 1992), and bobot isi tanah (Kasper et al., 1991). Terdapat dosis maksimum penyerapan hara oleh akar (Barber, 1995). Hal ini menandakan bahwa saat konsentrasi hara dalam tanah meningkat (adanya penambahan hara), laju penyerapan akar turut meningkat, namun akhirnya akan mendekati suatu titik maksimum. Hal ini berarti bahwa tidak ada satu akar tunggal yang dapat memenuhi semua kebutuhan hara tanaman selama masa perkembangannya. Karena itu, diperlukan sebuah sistem perakaran yang telah berkembang

dengan baik, dengan setiap akar aktif berkontribusi terhadap akuisisi hara yang diperlukan secara keseluruhan.

Akar juga kehilangan hara, sebuah proses yang dinamakan pengeluaran (*efflux*). Proses *efflux* dan juga pemasukan (*influx*) terjadi pada akar di berbagai tingkat konsentrasi hara tanah. Namun, semakin menurunnya persediaan hara tanah, proses *influx* dan *efflux* dapat menjadi hampir setara. Pada titik tersebut, tidak ada penyerapan hara baru oleh akar. Tanaman juga memiliki mekanisme umpan balik yang memungkinkan terjadinya penyesuaian tingkat penyerapan hara terhadap kondisi tanah. Tanaman melakukan penyesuaian terhadap konsentrasi hara rendah dengan mengubah sistem transportasi yang terdapat pada membran sel akar.

Hara dalam bentuk gas memasuki daun melalui stomata. Stomata merupakan pori-pori dimana hampir semua pertukaran gas terjadi antara tanaman dengan udara. Kebanyakan stomata terletak pada sisi bagian bawah dari daun tanaman. Sel-sel di sekitar pori-pori ini, dinamakan sel penjaga, dapat membuka dan mengecil untuk mengatur ukuran dari bukaan pori-pori beserta laju pertukaran gas. Hidrogen, N, O, dan S dapat memasuki tanaman melalui stomata ketika dalam bentuk gas amonia (NH_3), nitrogen dioksida (NO_2), dan sulfur dioksida (SO_2). Sebagai contoh, pengaplikasian pupuk kandang dapat menghasilkan serapan besar N sebagai NH_3 . Karena stomata merupakan tempat pertukaran gas, hara juga dapat hilang sebagai NH_3 , SO_2 , dan bentuk S volatil (yang menguap) lainnya.

Hara dalam larutan memasuki tanaman melalui pori-pori kecil pada lapisan kutikula pada epidermis daun. Kutikula dilindungi oleh suatu lapisan lilin yang tahan air dan melindungi daun dari penguapan air yang berlebihan. Pori-pori pada lapisan kutikula berbeda dengan stomata, namun lebih banyak yang terdapat dekat stomata daripada pada permukaan daun antar stomata. Epidermis yang berlapis lilin dan kecilnya ukuran pori-pori pada kutikula sangat membatasi jumlah hara larut air yang dapat diserap oleh daun tanaman.

Pemupukan daun terjadi dengan hara yang terlarut dalam air. Faktor-faktor yang dapat membatasi efisiensi dan efektifitas pemupukan ini antara lain (Marschner, 2002):

- a) Lapisan kutikula daun yang lebih tebal, seperti pada tanaman kopi dan citrus;
- b) Aliran permukaan pupuk cair dari daun tanaman;
- c) Tercucinya pupuk cair oleh hujan;
- d) Pengeringan pupuk cair pada daun;
- e) Pemindahan sebagian hara yang terbatas dari daun yang dipupuk ke bagian tanaman yang lain;
- f) Kerusakan pada daun yang karena ketidakseimbangan hara lokal pada daun, disebabkan oleh aplikasi pupuk.

Konsentrasi hara yang rendah dalam tanah juga akan mengakibatkan kenaikan tingkat maksimum *influx* hara. Peningkatan ini menyebabkan setiap akar yang tidak mendapatkan persediaan hara dalam tanah untuk menyediakan proporsi hara lebih besar terhadap kandungan total hara pada tanaman. Terdapat dua cara utama untuk memberi hara di atas atau di bawah permukaan tanah: 1) disebar (*broadcasting*) atau 2) pemupukan pada lajur (*banding*). Pemupukan melalui penyebaran (*broadcasting*) merupakan proses pengaplikasian hara pada permukaan tanah dengan perlakuan yang hampir seragam. Tujuan dari penyebaran pupuk adalah untuk mendapatkan sebaran pupuk yang cukup merata antara individu hara, baik granul pupuk kering maupun pupuk cair. Pemupukan pada lajur merupakan proses pemupukan dengan mengaplikasikan hara pada area atau volume tanah dengan kelebaran tertentu. Aplikasi dengan cara ini dapat dilakukan pada permukaan tanah atau bawah permukaan dengan kedalaman tertentu.

Pada awal musim, sistem akar muda terbatas jangkauannya, menjelajahi hanya sebagian kecil dari volume tanah. Di samping itu, laju *influx* mungkin lebih tinggi pada waktu ini dibandingkan waktu lainnya sepanjang musim, yang menyebabkan cepat habisnya hara dalam tanah di sekitar akar tanaman. Cepat habisnya hara tanaman memerlukan transportasi hara yang lebih cepat ke akar untuk penambahan, baik melalui laju massa ataupun difusi. Namun demikian, kondisi lingkungan di awal musim, terutama suhu rendah, dapat membatasi pertumbuhan tunas dan juga laju transportasi hara.

Strategi penempatan hara untuk mengatasi defisit hara di awal musim yang mungkin terjadi adalah dengan menaburkan hara pada lajur atau dekat bibit saat penanaman. Lajur tersebut dapat: 1) mengkonsentrasikan persediaan hara; 2) meningkatkan laju transportasi hara ke akar; 3) memposisikan secara strategis agar dapat diakses oleh sistem akar muda yang masih terbatas; dan 4) mengembangkan akar jika N atau P digunakan.

Lokasi yang tepat untuk volume tanah terkonsentrat sebagian besar tergantung pada arsitektur akar dari tanaman muda yang bersangkutan. Sebagai contoh, penempatan paling efektif hara P untuk jagung dan gula bit adalah konsisten dengan distribusi akar. Untuk jagung, penelitian telah mengungkapkan bahwa meletakkan hara di samping dan di bawah bibit merupakan posisi yang baik untuk akses sistem perakaran awal musim dan hara tanaman, menghasilkan tanggap tanaman yang sama atau lebih besar daripada metode penempatan lainnya. Penempatan pada bawah dan samping bibit konsisten dengan arsitektur akar tanaman jagung muda yang horizontal secara dominan. Untuk gula bit, penempatan P yang kontak langsung dengan bibit telah dibuktikan sangat efektif dan efisien (Sims, 2010). Penempatan yang demikian memastikan akses tanaman ke pupuk dengan akar utama yang berorientasi vertikal dengan akar lateral yang di sekitarnya.

Penempatan hara dekat bibit harus dilakukan dengan pertimbangan yang menyeluruh mengenai dosis dan bentuk, terutama dengan penempatan pada lubang bibit. Kerusakan pada bibit atau biji dapat diakibatkan oleh toksisitas amonia ataupun kelebihan garam. Faktor-faktor yang penting untuk dipertimbangkan saat menentukan dosis aman maksimum untuk penempatan pupuk pada bibit antara lain (Gelderman, 2011):

- a) Kepekaan kecambah;
- b) Indeks garam pupuk;
- c) Lebar bukaan parit pembibitan;
- d) Tekstur tanah;
- e) Kelembaban tanah saat penanaman;

f) Jumlah kehilangan yang dapat ditolerir.

Pemupukan melalui daun merupakan aplikasi hara terhadap daun tanaman. Meskipun fungsi utamanya merupakan fotosintesis dan pernafasan, daun tanaman juga menyerap hara, meskipun jumlah yang diserap biasanya jauh lebih sedikit dari yang diserap oleh akar, yang merupakan organ utama untuk serapan hara. Daun tanaman dapat menyerap hara jika dihadirkan dalam bentuk 1) gas ataupun 2) ion dalam larutan.

5) Teknik Pemupukan

Aplikasi pemupukan pada tanaman semusim dan tahunan berbeda. Pada tanaman semusim seperti kacang-kacangan, sayuran, padi, jagung, dan lainnya menggunakan metode pemupukan secara disebar, dalam lubang, atau larikan. Sedangkan pada tanaman tahunan seperti tanaman buah-buahan, kopi, teh, kakao, kelapa, dan lainnya menggunakan metode *ring placement*.

Berikut ini adalah cara-cara pemupukan pada tanaman budidaya yang umum digunakan:

1) *Broadcasting*

Pemupukan dengan cara disebar dilakukan apabila jarak tanam rapat dan teratur dalam barisan, contohnya tanaman padi. Selain itu cara ini cocok dilakukan untuk tanaman yang mempunyai akar dangkal, tanah cukup subur, dan dosis tinggi atau takaran pemupukan yang banyak. Cara ini dapat pula dilakukan pada waktu pengolahan lahan dengan memberikan pupuk kandang sebelum tanam pada area tanam. Keuntungan memberi pupuk secara *broadcasting* yaitu lebih hemat waktu dan tenaga kerja serta mudah diaplikasikan untuk pemupukan tanaman budidaya, sedangkan kelemahan pemupukan secara disebar ialah berpotensi terjadinya penguapan atau volatilisasi ammonium (NH_4) menjadi bentuk gas ammonia (NH_3), dan memacu pertumbuhan gulma. Berikut Gambar 1 adalah contoh aplikasi pupuk secara *broadcasting*.



Gambar 1. Aplikasi pupuk secara *broadcasting*
(sumber: <https://www.haifa-group.com/soil-application-1>)

2) *Ring placement*

Pupuk ditaburkan di antara larikan tanaman dan kemudian ditutup kembali dengan tanah. *Ring placement* umumnya digunakan untuk tanaman tahunan dengan ditaburkan melingkari tanaman dengan jarak tegak lurus daun terjauh (tajuk daun) dan ditutup kembali dengan tanah. Cara ini dapat dilakukan apabila jarak tanaman tidak rapat, kesuburan tanah rendah dan perkembangan akar tanaman yang sedikit. Keuntungan aplikasi secara larikan atau barisan ialah pengambilan hara pupuk oleh tanaman lebih mudah dan kehilangan hara pupuk dapat di kurangi, sedangkan untuk kelemahan aplikasi ini kesuburan tanah rendah jika jumlah pupuk sedikit dan persebaran pupuk tidak merata. Gambar 2 adalah contoh aplikasi pupuk secara *ring placement*.



Gambar 2. Aplikasi pupuk secara *ring placement*
(sumber: <https://www.isw.co.id>)

3) *Spot placement*

Caranya di samping tanaman dibuat lubang sedalam kurang lebih 5-10 cm, kemudian pupuk dimasukkan ke dalam lubang tersebut, setelah itu ditutup dengan tanah. Aplikasi pupuk secara *spot placement* dapat dilakukan apabila jarak tanam cukup lebar. Pemupukan pada tanaman jagung dapat menggunakan metode ini. Keuntungan memberi pupuk secara *spot placement* yaitu pupuk tidak mudah menguap dan aplikasi langsung ke dalam tanah dekat dengan akar tanaman. Kelemahannya ialah waktu yang diperlukan cukup lama, takaran pupuk diatur agar seragam tiap lubangnya. Gambar 3 adalah contoh aplikasi pupuk secara *spot placement*.



Gambar 3. Aplikasi pupuk secara *spot placement*

(sumber: Asher et al. 2002)

Pemupukan lewat daun atau *foliar application*, yaitu pupuk yang dilarutkan ke dalam air dengan konsentrasi sangat rendah kemudian disemprotkan langsung kepada daun dengan alat penyemprot biasa seperti *hand sprayer*. Jika area budidaya lebih luas, dapat digunakan *knapsack sprayer*. Aplikasi dilakukan untuk daun bagian bawah, agar nutrisi dapat mudah diserap oleh stomata daun.

4) Metode pemupukan ditentukan berdasarkan model penanaman

- Disebar. Pupuk yang tidak mudah larut dalam air dan yang bagian-bagian utamanya terikat secara kimia, disebar secara merata di atas bedengan dan

atau pada lubang tanam dan diaduk secara merata dengan tanah sebelum ditutupi mulcing (TSP atau NPK).

- Dicairkan. Sebagai pupuk susulan, pupuk dicairkan ke dalam tong/drum dengan dosis 2 kg pupuk kandang/NPK/urea, TSP dan KCl/200 liter air (1 drum) dan diberikan pada tanaman di sekitar akar tanaman yang tidak tertutup oleh mulcing (pada lubang tanam) dan periode pemberiannya dilakukan 1 minggu sekali. Pupuk direndam terlebih dahulu selama 1 malam sebelum diberikan.
- Disemprotkan. Pupuk tambahan biasanya diberikan pupuk daun yang disemprotkan bersamaan dengan pemberian pestisida dalam pengendalian hama penyakit. Model penanaman biasanya dilakukan pada budidaya-budidaya tanaman sayur-sayuran dan tanaman buah semusim.

5) Metode Pemupukan berdasarkan Jenis/Kelompok Tanaman

- Pada kelompok tanaman tahunan biasanya dilakukan pemupukan dengan metode:
 - a) Disebar (*Broad cast*). Pada metode ini, sebelum dilakukan penanaman dibuat lubang-lubang tanam. Pupuk dasar diberikan pada lubang tanam tersebut dan diaduk secara merata dengan sebagian tanah yang ada pada lubang tersebut. Biasanya pupuk dasar tersebut yaitu pupuk kandang/kompos dan pupuk anorganik (TSP/NPK).
 - b) Di samping bibit (*Side Band Placement*). Pada metode ini pupuk ditempatkan ditanah di sisi bibit atau tanaman, pada satu atau kedua belah sisinya maupun secara melingkar di bawah sekitar tajuk tanaman.

- Kelompok tanaman semusim

Pada kelompok tanaman semusim ini, banyak metode yang bisa digunakan, diantaranya:

- a) Cara disebar. Biasanya pupuk yang tidak larut dalam air dan bagian-bagian utamanya terkat secara kimia, disebar secara merata, disebar setelah atau sebelum pengolahan tanah dan selanjutnya ditanam (contoh: tanaman bayam, padi, dan lain-lain).

- b) Dibenamkan bersamaan pengolahan tanah (*Plow Sole Placement*). Metode ini dilakukan pada saat pengolahan tanah dengan menempatkan pupuk yang diperlukan secara langsung di belakang pembajaknya. Cara pemupukan ini dapat merata dan terbenam dalam tanah (biasanya pupuk yang tidak mudah larut). Contoh untuk tanaman-tanaman sayur-sayuran dan buah-buahan semusim dan palawija.
- c) Di samping Bibit (*Side Band Placement*). Metode ini dilakukan dengan meletakkan pupuk pada tanah dan di sekitar benih atau tanaman, pada salah satu atau kedua belah sisinya dengan jarak masing-masing 5-7,5 cm dari tempat benih atau tempat tumbuh tanaman dengan kedalaman sekitar 2,5-5 cm dari permukaan tanah. Biasanya cara pemupukan seperti ini dilakukan dengan menggunakan tugal.
- d) Ditempatkan pada lubang-lubang/larikan penanaman (*In the Row Placement*). Metode ini dilakukan dengan menempatkan pupuk pada lubang- lubang benih atau sepanjang larikan, ditempat benih-benih akan ditanam. Metode ini cocok untuk bertanam kentang. Biasanya pada lahan dibuat larikan sepanjang bedengan dengan kedalaman 10 -20 cm, lalu ditaburkan campuran pupuk kandang dan NPK atau campuran Urea, TSP dan KCl sesuai dosis ketentuan/ anjuran.
- e) Ditempatkan di atas permukaan tanah (*Top Dressed/Side Dressed Placement*). Pupuk yang diperlukan ditempatkan di atas permukaan tanah sekitar tempat tumbuh tanaman atau di sisi tanaman. Tanah dikorek sedikit agar penempatan pupuk berlangsung dengan baik, kemudian ditutup agar tidak tercuci atau terangkut oleh air hujan. Pemupukan sebaiknya dilakukan menjelang musim hujan dan minggu pertama sesudah musim penghujan, agar pencucian atau pengangkutan oleh air dapat terhindarkan. Metode ini biasanya dilakukan pada tanaman sayur-sayuran daun, seperti sawi, kubis, brokoli, bawang daun, dan lain-lain.
- f) Dengan cara Penyemprotan. Penyemprotan hanya dapat dilakukan dengan pupuk yang mudah melarut dalam air atau jenis-jenis pupuk daun. Metode ini bertujuan agar unsur-unsur yang terkandung dalam larutan pupuk buatan

itu dapat diisap oleh daun atau batang tanaman. Jadi tidak hanya akar yang dapat mengisap unsur-unsur yang terkandung dalam pupuk, daun-daunan dan batang tanamanpun dapat melakukannya. Tanaman yang dapat dibudidayakan adalah aeroponik atau tanaman anggrek.

Penempatan pupuk bisa mendekati perakaran pada tanaman dan unsur hara dapat terserap dengan baik untuk memperbaiki suatu pertumbuhan tanaman. Penempatan unsur hara yang dekat dengan penempatan suatu benih tanaman atau sistem perakaran maka unsur hara tersebut akan terserap dengan optimal oleh tanaman, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik (Lakitan, 1995). Pemberian pupuk di slot juga tidak mudah hilang oleh aliran air karena pemberian pupuk dengan cara tersebut dikubur atau dibenamkan kedalam tanah. Penempatan pupuk dengan cara disebar diatas permukaan tanah, kandungan unsur hara dalam pupuk tersebut, dalam jumlah yang banyak relatif lebih mudah hilang dalam bentuk gas, sehingga unsur hara yang dimanfaatkan oleh tanaman hanya sebagian kecil karena pupuk dibiarkan terbuka (Donahue et al, 1983). Berikut teknik pemupukan yang direkomendasikan agar lebih efektif sekaligus dapat mengurangi kehilangan hara pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Teknik pemupukan yang direkomendasikan

Jenis hara	Teknik aplikasi
Pupuk N (*)	• Menghindari aplikasi urea di permukaan tanah, sebaiknya pupuk dicampur dengan tanah atau dibenamkan agak dalam ke lapisan reduksi, • Membagi aplikasi menjadi 2 atau 3 kali dengan tujuan agar pupuk N yang diberikan dapat dimanfaatkan tanaman lebih optimal, • Memberikan pupuk urea dalam larikan atau ditugal, kemudian ditutup dengan tanah, • Memberikan pupuk dalam bentuk slow release atau granul, • Memberikan pupuk jauh dari bibit, minimal berjarak 2.5 cm di bawah bibit

Jenis hara	Teknik aplikasi
Pupuk P(**)	• Memberikan pupuk P sesuai status P dalam tanah dan kebutuhan tanaman. • Menempatkan P dalam larikan (<i>band</i>) atau ditugal untuk meminimalisir kontak dengan tanah. • Disertai aplikasi bahan organik yang fungsinya untuk mengurangi kehilangan P dengan membentuk kompleks organik (khelats) ion P dengan Fe dan Al. • Mengontrol pH tanah hingga mencapai 6-7 sehingga ketersediaan P dapat optimal. • Mengoptimalkan interaksi dengan mikoriza. Hifa-hifa mikoriza sangat efektif melepaskan P terfiksasi dalam mineral liat. Mikoriza umumnya lebih efektif pada tanah masam.
Pupuk K (***)	• Memberikan pupuk K sesuai dengan status hara tanah dan kebutuhan tanaman, • Unsur K tidak mobil dalam tanah, maka pemberian pupuk K dekat benih pada tanaman tahunan lebih efektif dan efisien, namun perlu mempertimbangkan faktor salinitas sekitar rizosfir. • Side-band, aplikasi pupuk K pada alur barisan tanaman lebih aman bagi tanaman terutama bila aplikasi pupuk K cukup tinggi. Idealnya, pupuk diberikan pada jarak sekitar 2,5 cm disamping tanaman. • Deep banding, pemberian pupuk dalam banding yang cukup dalam juga sesuai untuk aplikasi pupuk K. • Broadcasting, pemberian pupuk K dengan cara disebar hanya dianjurkan untuk tanah yang mengalami defisiensi K sehingga dosis aplikasi pupuk K sangat tinggi. Pemberian pupuk K dengan cara ini biasanya dilakukan untuk tanaman penghasil pakan ternak.

* Muchovej dan Rechcigl (1995), ** Brady dan Weil (2002) *** McKenzie dan Pauly (2013)

3. Rangkuman

Pupuk adalah bahan kimia atau organisme yang berperan dalam penyediaan unsur hara bagi keperluan tanaman secara langsung atau tidak langsung. Pemupukan adalah upaya pemberian nutrisi kepada tanaman guna menunjang kelangsungan hidupnya. Pupuk dapat dibuat dari bahan organik ataupun anorganik. Pupuk dapat diberikan lewat tanah ataupun disemprotkan ke daun.

Pemberian sumber hara tanaman yang tepat pada dosis, waktu, dan tempat yang tepat merupakan inti konsep Penataan Hara 4T. Keempat ‘tepat’ ini merupakan hal yang perlu untuk pengelolaan berkelanjutan (*sustainable*) hara tanaman: pengelolaan yang meningkatkan produktivitas tumbuhan dan tanaman secara berkelanjutan

Pemupukan dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu melalui akar dan daun. Pemupukan melalui akar bertujuan memberikan unsur hara pada tanah untuk kebutuhan tanaman. Pada umumnya pemberian pupuk melalui akar dapat dilakukan secara disebar (*broadcasting*), ditempatkan dalam lubang (*spot placement*), larikan atau barisan (*ring placement*). Sedangkan melalui daun, pemupukan dilakukan secara penyemprotan (*spraying*).

4. Soal Latihan

- a. Jelaskan pengertian pupuk, pemupukan dan pemupukan berimbang
- b. Jelaskan peranan Nitrogen, Fosfor dan Kalium
- c. Jelaskan yang dimaksud dengan tepat sumber, dosis, waktu dan tempat

5. Kunci Jawaban

- a. Pupuk adalah bahan kimia atau organisme yang berperan dalam penyediaan unsur hara bagi keperluan tanaman secara langsung atau tidak langsung. Pemupukan adalah upaya pemberian nutrisi kepada tanaman guna menunjang kelangsungan hidupnya. Pemupukan berimbang adalah pemberian pupuk bagi tanaman sesuai dengan status hara tanah dan kebutuhan tanaman untuk mencapai produktivitas yang optimal dan berkelanjutan sebagaimana tertuang dalam Peraturan Menteri Pertanian No. 40/Permentan/OT.140/4/2007.

- b. Nitrogen merupakan unsur hara terpenting untuk pertumbuhan tanaman. Suplai N mempengaruhi pertumbuhan, penampilan, warna, dan hasil tanaman. Nitrogen yang diserap oleh akar tanaman ada dua bentuk yaitu ion nitrat (NO_3^-) dan ion amonium (NH_4^+). Nitrogen juga memainkan peran penting dalam pertumbuhan akar. Tanaman yang disuplai N berlebihan akan membentuk perakaran yang dangkal, bercabang banyak, pendek dengan ukuran relatif besar.

Fosfor pada tanaman berperan penting dalam hampir semua reaksi biokimia, dan peran P yang istimewa yaitu pada proses penangkapan energi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi biokimia. Unsur P merupakan komponen penyusun membran sel tanaman, penyusun enzim-enzim, penyusun co-enzim, nukleotida (bahan penyusun asam nukleat), sintesis karbohidrat, memacu pertumbuhan bunga dan biji, serta menentukan kemampuan berkecambah biji.

Kalium berperan memperbesar ukuran rimpang/umbi, memperbaiki pengisian rimpang/umbi, ukuran dan berat biji kacang-kacangan, memperbaiki bulir padi dan jagung, meningkatkan kandungan vitamin C pada sayur dan buah, serta meningkatkan ketahanan tanaman pada cekaman kekeringan.

- c. Tepat sumber yaitu pemilihan sumber pupuk yang tepat dimulai dengan penentuan hara apa yang secara aktual dibutuhkan untuk memenuhi target produksi. Hara yang menjadi pembatas dapat ditentukan melalui penggunaan analisis tanah dan tanaman, uji jaringan, petak omisi (omission) hara, sensor warna daun atau gejala defisiensi visual. Tepat dosis adalah Aplikasi suatu hara yang kurang atau berlebih dapat berdampak pada produksi tanaman, ekonomi dan/atau lingkungan. Dalam menentukan dosis pemupukan yang tepat, kontribusi menuju pemenuhan hara tanaman dari semua sumber hara perlu dipertimbangkan.

Sebagian dari sumber ini termasuk penyediaan hara lokal (yang tidak diaplikasikan pada tanah seperti sisa tanam dan pupuk hijau), pupuk kandang, kompos, limbah padat, pemindahan dari atmosfer dan irigasi. Jumlah dan ketersediaan hara dari sumber ini sangat bervariasi dan dapat menjadi sulit untuk diprediksi; namun demikian, upaya harus dilakukan

untuk menghitungnya. Tepat waktu yaitu menilai dinamika dan pola serapan tanaman dapat menjadi komponen penting dalam menentukan waktu yang tepat untuk aplikasi unsur hara.

Penyerapan unsur hara penting dan pola akumulasi bahan kering mirip untuk tanaman pada umumnya dan biasanya mengikuti pola “S” atau sigmoid. Hal ini ditandai dengan penyerapan yang agak lambat di awal dan naik ke kecepatan maksimum pada fase pertumbuhan cepat, dan melambat lagi pada saat tanaman matang. Tingkat serapan unsur hara tanaman tidak konsisten sepanjang musim. Aplikasi dijadwalkan dan ditargetkan dapat menguntungkan untuk produksi dan/atau kualitas tanaman pada beberapa sistem produksi untuk beberapa unsur hara, terutama N.

Waktu dan target aplikasi juga dapat bermanfaat untuk mengurangi kehilangan unsur hara dari tanah karena dampak lingkungan. Tepat tempat adalah strategi penempatan hara untuk mengatasi defisit hara di awal musim yang mungkin terjadi adalah dengan menaburkan hara pada lajur atau dekat bibit saat penanaman. Lajur tersebut dapat: 1) mengkonsentrasikan persediaan hara; 2) meningkatkan laju transportasi hara ke akar; 3) memposisikan secara strategis agar dapat diakses oleh sistem akar muda yang masih terbatas; dan 4) mengembangkan akar jika N atau P digunakan.

6. Sumber Informasi dan Referensi

- Asher, C., Grundon, N. and Menzies, N. 2002. How to unravel and solve soil fertility problems. ACIAR Monograph No. 83, 139p.
- Barber, S.A. 1995. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY. Barber, S.A. 1978. *Agron. J.* 70:457-461
- Brady, N.C, dan R.R. Weil. 2002. *The Nature and Properties of Soils* 13th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 935 pp
- Dinas Pertanian Kabupaten Bogor. 2010. Peraturan Bupati Bogor Nomor 13 Tahun 2010. Dinas Pertanian, Kabupaten Bogor.
- Donahue, R. L et al. 1983. *Soil An Introduction to Soils and Plant Growth*. Prentice – Hall, Englewood Cliffs, N J

- Fageria, N.K. 2009. The use of nutrients in crop plants. Boca Raton : CRC Press.
- Farming.id. 2019. Berbagai Cara Pemupukan Tanaman Budidaya [internet]. [Waktu dan tempat tidak diketahui]. [diunduh pada 2019 Sept 24]. Tersedia pada <http://farming.id/berbagai-cara-pemupukan-tanaman-budidaya/>
- Gelderman, R. 2011. Seed-placed fertilizer decision aid. [On-line] Isensee, A.R. and L.M. Walsh. 1971. J. Agric. Food Chem. 22:105-109
- IPNI. 2017. 4T Hara Tanaman: Pedoman Peningkatan Manajemen Hara Tanaman, (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski), International Plant Nutrition Institute, Penang, Malaysia.
- Kaspar, T.C. et al. 1991. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:1390-1394.
- Lakitan, B. 1995. Hortikultura : Teori, Budidaya dan Pasca Panen. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta. Hlm 219
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press Inc, London Ltd. 674p. Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, Inc. Toronto. 412p.
- Mc. Kenzie, R, dan Pauly, D. 2013. Potassium Fertilizer Application in Crop Production, Alberta Agriculture and Rural Development. 7 pp
- Muchovej, R.M.C. dan J.E. Rechcigl. 1995. Nitrogen fertilizers. In: Rechcigl JE (ed) Soil amendments and environmental quality. CRC Press, Inc. Boca Raton
- Sharp, R.E. et al. 1988. Plant Physiol. 87:50-57.
- Sims, A.L. 2010. Agron. J. 102:1369-1378
- Suriadikarta dan Simanungkalit. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor.
- Walker, J.M. 1969. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:729-736.
- Wijaya, K.A. 2008. Nutrisi tanaman sebagai penentu kualitas hasil dan resistensi alami tanaman. Jakarta: Prestasi Pustaka
- Zhang, J. and S.A. Barber. 1992. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:819-822

C. PENILAIAN

1. Sikap : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi
2. Pengetahuan : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan
3. Keterampilan : kemampuan mengaplikasikan teknik-teknik pemupukan

Kegiatan Pembelajaran 2:

2. DASAR-DASAR ILMU TANAH DAN MEDIA TANAM

A. Deskripsi

Bab ini menjelaskan definisi tanah dan media tanam, syarat-syarat media tanam yang baik, macam-macam media tanam, sifat-sifat tanah meliputi warna, tekstur, struktur, konsistensi, dan porositas, sifat biologi tanah meliputi mikroba tanah dan respirasi tanah, sifat fisik dan hidrologi tanah, bobot isi tanah, C-organik, sifat retensi air tanah, tahanan penetrasi tanah, infiltrasi dan hantaran hidrolik.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Mahasiswa diharapkan memahami dasar ilmu tanah dan media tanam sebagai dasar dalam menerapkan pemupukan ramah lingkungan.

2. Uraian Materi

a. Pengertian Tanah

Pengertian tanah berbeda-beda tergantung dari kepentingan penggunaan tanah tersebut. Tanah dari segi manfaat memiliki arti : (1) sebagai media tempat tumbuh tanaman, (2) sebagai dasar bangunan dan tempat tinggal, dan (3) sebagai gudang mineral dan bahan-bahan industri (Djunaedi dan Suwardi, 2002).

b. Media Tanam

Menurut Prastowo dan Roshetko (2006) syarat media tumbuh yang baik adalah ringan, murah, mudah didapat, porus (gembur) dan subur (kaya unsur hara) serta

komposisi media tanam untuk mengisi polibag dapat menggunakan campuran tanah, arang sekam, pupuk kandang dengan perbandingan (1:1:1). Menurut Douglass *et al.*, (2009) media tanam adalah zat atau bahan yang harus memiliki kemampuan berikut: 1) secara fisik mendukung tanaman agar tetap tegak sehingga dapat berfotosintesis dan tumbuh dengan baik, 2) pori-pori besar dapat meningkatkan pertukaran oksigen untuk respirasi akar, 3) pori-pori kecil untuk menahan air, dan 4) hara.

Penelitian yang dilakukan oleh Muslimin dan Sofyan (2007) media tanam sebagai tempat perkembangan akar merupakan salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan setek. Media yang baik harus memiliki kemampuan menjaga kelembaban, aerasi dan drainase yang baik, tidak memiliki salinitas yang tinggi. Media tanam yang baik harus memiliki sifat-sifat fisik, kimia dan biologi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Secara umum, media tanam yang baik harus memiliki syarat-syarat sebagai berikut:

- Mampu menyediakan ruang tumbuh bagi akar tanaman, sekaligus juga sanggup menopang tanaman. Artinya, media tanam harus gembur sehingga akar tanaman bisa tumbuh baik dan sempurna, akan tetapi masih cukup solid memegang akar dan menopang batang agar tidak roboh. Apabila media terlalu gembur, pertumbuhan akar akan leluasa namun tanaman akan terlalu mudah tercerabut. Sebaliknya apabila terlalu padat, akar akan kesulitan untuk tumbuh.
- Memiliki porositas yang baik, artinya bisa menyimpan air sekaligus juga mempunyai drainase (kemampuan mengalirkan air) dan aerasi (kemampuan mengalirkan oksigen) yang baik. Media tanam harus bisa mempertahankan kelembaban tanah namun harus bisa membuang kelebihan air. Media tanam yang *porous* mempunyai rongga kosong antar materialnya. Media tersebut bisa ditembus air, sehingga air tidak tergenang dalam pot atau polybag. Namun disisi lain rongga-rongga tersebut harus bisa menyerap air (higroskopis) untuk disimpan sebagai cadangan dan mempertahankan kelembaban.
- Menyediakan unsur hara yang cukup baik makro maupun mikro. Unsur hara sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Unsur hara ini bisa disediakan dari pupuk atau aktivitas mikroba yang terdapat dalam media tanam.

- Tidak mengandung bibit penyakit, media tanam harus bersih dari hama dan penyakit. Hama dan penyakit yang terkandung dalam media tanam dapat menyerang tanaman dan menyebabkan kematian pada tanaman. Media tanam tidak harus steril karena banyak mikroba tanah yang sebenarnya sangat bermanfaat bagi tanaman, namun harus higienis dari bibit penyakit.

1) Arang sekam

Arang sekam merupakan salah satu campuran media tanam yang dapat mengikat air dan bahan unsur hara alami yang dapat menyuburkan tanaman karena sifatnya yang remah dan strukturnya mudah menyimpan oksigen. Perakaran tanaman akan tumbuh dengan sempurna apabila air tercukupi dan oksigen dalam tanah tersedia. Salah satu media yang dapat menyediakan oksigen untuk kebutuhan akar tanaman yaitu media dari arang sekam (Suradal, 2014). Menurut Douglass et al. (2009) sekam sebagai produk limbah pengolahan beras yang diperoleh secara lokal selama bertahun-tahun di Indonesia dan menurut Mariati (2014) sumbangan kandungan N, P, dan K pada arang sekam sebesar 0.14%, 0.15% dan 0.31%. Gambar 4 di bawah ini adalah contoh arang sekam.



Gambar 4. Contoh arang sekam

(sumber: <https://www.pertanianku.com>)

Media arang sekam salah satu media yang mengandung bahan organik dan silika yang dianjurkan untuk perkecambahan benih atau bibit awal seperti *A. heptaphylla* (Leguminosae) dibandingkan media pasir atau serbuk gergaji (Purwantoro, 2016). Menurut Maena et al. (2014) kandungan silika melindungi

tanaman terhadap kondisi iklim yang tidak menguntungkan. Sekam merupakan hasil sampingan dari padi sehingga penggunaan sebagai media tanam tidak menyulitkan petani karena mudah diperoleh. Pembuatan arang sekam dimaksudkan untuk memperbaiki sifat fisik sekam agar lebih mudah ditangani dan dimanfaatkan lebih lanjut. Salah satu kelemahan sekam bila digunakan langsung sebagai media tumbuh tanaman akan mendorong tumbuhnya bakteri pembusuk akar dan jamur rhizophonia (Nugraha dan Jetty, 2003).

Hasil penelitian Gusmini et. al, (2009) tentang perbedaan pemanasan sekam padi terhadap kesediaan silika (Si) menggunakan suhu 200°C sampai 600°C. Semakin tinggi suhu pemanasan sekam maka ketersediaan silika (Si) pun semakin meningkat. Tingkat ketersediaan silika (Si) tertinggi terdapat pada pemanasan dengan suhu 600° C. Hal ini diduga karena kandungan bahan-bahan organik dapat terurai secara sempurna dengan tingginya suhu pemanasan. Silika (Si) adalah salah satu unsur hara yang dibutuhkan tanaman meskipun bukan termasuk dalam golongan unsur hara esensial. Silika (Si) dikenal sebagai unsur hara yang bermanfaat karena dapat mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan menghindarkan tanaman dari serangan penyakit, cekaman suhu, radiasi matahari, serta defisiensi dan keracunan unsur hara (Husnain, 2010).

2) Pupuk Kandang Sapi

Pupuk kandang berasal dari hasil pertanian yang menyediakan sumber makro dan mikro yang diperlukan dalam bentuk yang tersedia (Gudugi, 2013). Kotoran hewan kaya akan nutrisi untuk pertumbuhan tanaman, sekitar 70-80% nitrogen (N), 60-85% fosfor (P), dan 80-90% potassium (K) dalam pakan dieksresikan pada pupuk kandang sehingga komposisi hara pada masing-masing kotoran hewan berbeda tergantung pada jumlah dan jenis makanannya. Kadar hara yang terkandung dalam kotoran sapi yaitu 1.06% N, 0.74% P, dan 1.25% K. Pupuk kandang sapi memiliki kadar serat tinggi seperti selulosa dan untuk memaksimalkan penggunaan pupuk kandang sapi harus dilakukan pengomposan agar C/N rasio dibawah 20. Gambar 5 di bawah ini salah satu contoh pupuk kandang yang sudah matang.



Gambar 5. Contoh pupuk kandang sapi

(sumber: <https://bibitbunga.com>)

Produk buangan dari binatang tersebut dapat digunakan untuk menambah hara, memperbaiki sifat fisik, dan biologi tanah. Kotoran sapi sebagai biofertilizer dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah sebagai alternatif yang sangat efektif untuk meningkatkan produktivitas dalam pemeliharaan kesehatan tanah dan meningkatkan populasi mikroba (Rao et al., 2014). Hal ini dibuktikan oleh Gudigi (2013) bahwa aplikasi pupuk kandang sapi yang berbeda pada tanaman okra menyebabkan peningkatan pertumbuhan dan hasil yang lebih tinggi dibandingkan kontrol.

3) Tanah

Tanah sebagai media tumbuh tanaman didefinisikan sebagai lapisan permukaan bumi yang secara fisik berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran penopang tegak tumbuhnya tanaman dan penyuplai kebutuhan air dan udara, secara kimiawi berfungsi sebagai gudang dan penyuplai hara atau nutrisi dan unsur-unsur esensial sedangkan secara biologis berfungsi sebagai habitat biota yang berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara bagi tanaman (Hanafiah, 2008).

Riadi (2012) mengemukakan bahwa penambahan berbagai komponen media tanam seperti pasir, serbuk gergaji dan arang sekam padi berpengaruh dalam memperbaiki struktur tanah. Pasir termasuk tanah yang ringan dengan ciri bertekstur kasar serta luas permukaan kecil, sehingga pasir bersifat gembur, aerasi baik dan mudah diolah. Pertambahan arang sekam pada tanah memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, selain itu pencampuran arang sekam ke dalam tanah menyebabkan fosfor tanah menjadi lebih tersedia.

4) *Cocopeat*

Serbuk sabut kelapa (*cocopeat*) merupakan hasil sampingan dari industri kelapa yang dapat dimanfaatkan sebagai media tanam. Keuntungan menggunakan media dari serbuk sabut kelapa yaitu memiliki daya simpan air yang tinggi dan bobot isi yang ringan serta padat. Media tanam yang dipasarkan dalam keadaan kering dan padat akan lebih efisien, karena bobotnya lebih ringan dan tidak voluminous. Selain efisien, media tanam dengan bobot yang ringan dan padat akan mempermudah pada saat transportasi dan pendistribusian bibit tanaman ke lapangan. Hasil uji pemadatan media tanam serbuk sabut kelapa menjadi bricket serbuk sabut kelapa, diperoleh bobot isi kering media sebesar 0,18 g/cm³ pada kadar air 0,11% dan bobot isi basah sebesar 0,177 g/cm³. Berikut Gambar 6 adalah contoh *cocopeat*.



Gambar 6. Contoh *cocopeat*

(sumber: <http://www.consarcexports.com>)

Media tanam perlu dipadatkan. Pemadatan adalah proses pengeluaran udara pada pori-pori media dengan cara mekanis (digilas/ditumbuk). Tujuan pemadatan yaitu agar butir-butir media rapat dan volume berkurang. Semakin ringan dan padat media tumbuh, maka semakin mudah dan murah pengangkutannya (Hasriani, 2013). Pada percobaan yang dilakukan oleh Hasriani (2013) terhadap tanaman sengon dan mahoni di Gunung Walat, diketahui bahwa media serbuk sabut kelapa memiliki daya simpan air yang tinggi dibandingkan media tanah dan media campuran serbuk kelapa + tanah. Kadar air serbuk sabut kelapa yaitu 119% dan daya simpan air 695,4%, sedangkan daya simpan air tanah 154,07%. Tanaman sengon yang ditanam menggunakan media tanah mengalami kekeringan pada hari ke-5 dan 15, sedangkan tanaman sengon yang ditanam pada media serbuk sabut kelapa baru mengalami kekeringan pada hari ke – 23 dan 25.

Begitu pula pada tanaman mahoni yang ditanam pada media tanah menjadi layu dan kering pada hari ke– 10 dan 15, sedangkan mahoni yang ditanam pada media serbuk sabut kelapa baru menjadi layu dan kering pada hari ke– 41 dan 55. Dengan waktu penyiraman setiap hari pada pagi dan sore hari selama satu minggu. Setelah satu minggu tanaman disiram sampai jenuh dan di amati perubahannya. Hal ini menggambarkan bahwa penggunaan serbuk sabut kelapa efektif digunakan untuk daerah yang kekeringan air atau penanaman pada musim kemarau. Harga perkarung serbuk sabut kelapa pun relatif murah, yaitu Rp 20.000,- per 10 kg.

c. Sifat-sifat Tanah

Morfologi tanah dapat diartikan sebagai susunan dan sifat-sifat horizon yang ditunjukkan oleh warna, tekstur, struktur, konsistensi, dan porositas pada setiap horizon serta gejala-gejala lain dalam profil tanah. Sifat-sifat morfologi tanah merupakan hasil dari proses genesis yang terjadi dalam tanah, sebagian hasil proses geologik atau proses lainnya. Menurut Rachim (1999), warna tanah dengan tanah memiliki hubungan yang ditunjukkan dalam dua hal penting, yaitu: pertama warna secara tidak langsung berhubungan dengan interpretasi sifat-sifat yang tidak dapat diobservasi secara tepat dan mudah, dan kedua merupakan ciri

yang sangat berguna untuk identifikasi tanah. Sifat-sifat tanah yang berhubungan dengan warna tanah antara lain: kandungan bahan organik, keadaan drainase, aerasi, kelembapan tanah, bahan induk, mineralogi tanah, dan lain-lain. Semakin gelap warna tanah maka semakin tinggi kandungan bahan organiknya sedangkan semakin pucat warna tanah maka semakin rendah kandungan bahan organiknya.

Tekstur tanah adalah perbandingan relatif antara fraksi pasir, debu, dan liat yang terkandung dalam suatu massa tanah. Fraksi pasir mempunyai ukuran yang lebih besar daripada debu dan liat. Pasir berukuran 2-0.05 mm, debu berukuran 0.05-0.002 mm, dan liat berukuran <0.002 mm. Penetapan tekstur di lapang dengan membasahi massa tanah kemudian dipijit dan dipirit antara ibu jari dan telunjuk. Sifat umum dari fraksi pasir dalam penetapan di lapang adalah adanya rasa kasar, tidak plastis atau lekat dalam keadaan lembab. Fraksi debu terasa seperti bedak atau semir, tidak plastis atau lekat dalam keadaan lembab. Sedangkan fraksi liat akan terasa licin, lekat dan plastis dalam keadaan lembab dan membentuk bongkah yang sangat keras dalam keadaan kering.

Struktur tanah merupakan gumpalan-gumpalan kecil dari butir tanah yang terjadi karena butir-butir pasir, debu dan liat terikat satu sama lain oleh suatu perekat seperti bahan organik, oksida-oksida besi dan lain-lain. Gumpalan-gumpalan kecil ini mempunyai bentuk, ukuran dan kemantapan (ketahanan) yang berbeda (Soil Survey Staff, 1993). Suwardi (2000) mengemukakan bahwa penyipatan struktur tanah dapat dilihat dari bentuk, tingkat perkembangan dan ukurannya. Bentuk struktur berfungsi untuk membedakan kelas struktur. Ada tujuh macam bentuk struktur yaitu lempeng, prisma, tiang, gumpal bersudut, gumpal membulat dan remah. Sedangkan yang tidak berstruktur disebut lepas dan pejal (masif). Tingkat perkembangan struktur ditentukan berdasarkan kemantapan dan ketahanan struktur tersebut terhadap tekanan, yang dibedakan berdasarkan dari yang mudah hancur sampai yang sulit hancur. Sedangkan ukuran struktur menunjukkan ukuran butir-butir struktur yang dibedakan dari sangat halus sampai sangat kasar.

Konsistensi tanah merupakan sifat dari tanah yang ditunjukkan dengan derajat kohesi dan adhesi serta ketahanannya terhadap perubahan bentuk. Hal ini

ditunjukkan oleh daya tahan tanah terhadap gaya dari luar. Sifat-sifat konsistensi tanah harus disesuaikan dengan kondisi tanah, yaitu apakah dalam keadaan basah, lembab, dan kering (Soil Survey Staff, 1993). Tanah dalam keadaan basah ditetapkan menggunakan dua paramater, yaitu kelekatan dan plastisitas. Jika keadaan tanah di lapang dalam keadaan kering, sebaiknya konsistensi ditetapkan dalam keadaan kering, lembab dan basah. Jika tanah dalam keadaan lembab, sebaiknya konsistensi ditetapkan dalam keadaan lembab dan basah (Suwardi, 2000).

Pori tanah adalah bagian tanah yang berbentuk ruangan (tidak diisi oleh padatan), dimana bagian ini terisi oleh udara dan air. Pori tanah sangat penting dalam menentukan pergerakan air dan udara yang sangat menentukan pertumbuhan tanaman. Karakteristik pori ditentukan juga oleh tipe dan ukuran struktur. Menurut Hardjowigeno (1993), pori dapat dibagi kedalam pori makro dan pori mikro. Pori makro atau kasar adalah pori-pori yang terisi air dan udara gravitasi (air bebas), sedangkan pori mikro (pori halus) adalah pori yang terisi oleh udara dan air kapiler (air yang tersedia untuk tanaman). Tanah-tanah bertekstur kasar lebih banyak menandung pori kasar daripada bertekstur halus dan sebaliknya untuk pori mikro. Oleh karena itu, air tersedia bagi tanaman pada tanah bertekstur kasar lebih sedikit daripada tanah bertekstur halus.

Tanah bertekstur kasar lebih sulit menahan air, sehingga tanaman mudah kekeringan. Selain sifat-sifat morfologi tanah, proses pedogenesis juga mempengaruhi proses reklamasi. Menurut Simonson (1959), proses pedogenesis tanah terdiri dari 4 proses kejadian, yaitu:

- 1) Proses penambahan, dimana terjadi penambahan energi dan bahan dalam berbagai bentuk, seperti: energi panas melalui sinar matahari, air melalui hujan, O_2 dan CO_2 melalui respirasi organisme, dekomposisi bahan organik dan bahan organik melalui organisme mati.
- 2) Proses penghilangan, dimana bahan penyusun massa tanah hilang keluar dari sistem tanah, seperti: air melalui evapotranspirasi, $C(CO_2)$ melalui dekomposisi bahan organik, dan unsur hara melalui pencucian dan serapan tumbuhan.

- 3) Proses translokasi, menunjukkan adanya perpindahan tempat dari bahan di dalam profil tanah, seperti: bahan liat dan organik, senyawa oksida dan unsur hara dari lapisan atas ke lapisan bawah, siklus hara oleh vegetasi dan bahan tanah oleh aktivitas biologik.
- 4) Proses transformasi, didalam tubuh tanah terjadi perubahan-perubahan bentuk termasuk sintesis senyawa atau bahan baru, seperti: ukuran butir, senyawa organik, srukturisasi dan horisonisasi. Melalui proses-proses ini, tubuh tanah akan berkembang dari tingkat muda hingga tua, yang pada setiap tingkat memiliki sifat morfologi tertentu yang khas. Sehingga pada setiap tingkat perkembangan dicerminkan oleh sifat tersebut termasuk fisik, kimia dan mineralogi.

d. Sifat Biologi Tanah

1) Mikroba Tanah

Menurut Lindsay (1979), bahan organik dan mikrob dapat mempengaruhi hubungan keseimbangan dalam tanah, organisme hidup dapat memindahkan unsur-unsur dari larutan tanah dan menggunakannya untuk membangun jaringan tubuhnya. Kemudian unsur hara dalam tanah dapat diuraikan kembali dengan dekomposisi bahan organik atau dekomposisi dari organisme yang telah mati. Perombakan bahan organik oleh mikrob pengurai dapat membebaskan N dan bentuk NH_4^+ (amonifikasi) yang dapat berlanjut diubah menjadi NO_3^- (nitrifikasi), P dibebaskan menjadi fosfat, S menjadi sulfat dan unsur-unsur basa K, Ca, Mg dan Na.

Hilangnya lapisan *top soil* yang mengandung serasah sebagai sumber karbon untuk menyokong kehidupan mikrob potensial merupakan penyebab utama buruknya kondisi populasi mikrob tanah. Hal ini secara langsung akan sangat mempengaruhi kehidupan tanaman yang tumbuh di permukaan tanah. Keberadaan mikrob tanah potensial dapat memainkan peranan yang sangat penting bagi perkembangan dan kelangsungan hidup tanaman. Aktivitasnya tidak saja terbatas pada penyediaan unsur hara, tetapi juga aktif dalam dekomposisi serasah dan bahkan dapat memperbaiki struktur tanah (Setiadi, 1996).

Ma'shum (2003) mengemukakan bahwa faktor lingkungan seperti pH tanah, pupuk anorganik, kandungan bahan organik dan kelembaban tanah merupakan faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan fungi. Fungi banyak terdapat pada tanah masam. Meski demikian, ada juga fungi yang terdapat dalam tanah netral atau tanah alkalis. Penambahan bahan organik ke dalam tanah berpengaruh terhadap jumlah populasi fungi, karena fungi bersifat heterotrof. Peran utama fungi dalam kaitan dengan kesuburan tanah adalah merombak bahan organik dan membantu membentuk agregat tanah.

Kondisi tanah yang tidak tergenang dapat mempengaruhi peningkatan populasi total mikrob dan total fungi, dimana mikrob tanah dan fungi tersebut sangat bermanfaat bagi tanah dan tanaman. Berbagai jenis mikrob ini bermanfaat bagi kesuburan tanah dan tanaman seperti mikrob penambat N_2 , pelarut P, dan penghasil hormon pertumbuhan. Di dalam tanah, keadaan mikrob sangat beragam baik jumlah, jenis, kepadatan populasi, maupun aktifitas fungsionalnya. Keragaman ini berkaitan dengan perbedaan kandungan dan jenis bahan organik, kadar air, jenis penggunaan tanah, tingkat pengelolaan tanah dan kandungan senyawa pencemar (Anas, 1990).

2) Respirasi Tanah

Pengukuran respirasi mikrob tanah merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat aktivitas mikrob tanah. Tingkat respirasi yang diukur dari besarnya CO_2 yang dikeluarkan merupakan indikator yang baik bagi aktifitas mikrob tanah. Menurut Ma'shum (2003), peranan mikrob dalam kesuburan tanah ditunjukkan dalam aktifitasnya dalam memperbaiki struktur tanah dan ketersediaan hara bagi tanaman. Berkaitan dengan pembentukan struktur remah, mikrob berperan sebagai pembangun agregat tanah yang mantap. Dalam kaitannya dengan peningkatan ketersediaan hara, mikrob berfungsi untuk mempercepat dekomposisi bahan organik dan sebagai pemacu tingkat kelarutan senyawa anorganik yang tidak tersedia menjadi bentuk tersedia.

e. Sifat Fisik dan Hidrologi Tanah

Sifat fisik tanah dan ketersediaan air sangat penting artinya dalam bidang pertanian. Sifat-sifat fisik dan hidrologi tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Kondisi fisik tanah menentukan penetrasi akar di dalam tanah, retensi air, drainase, aerasi, dan nutrisi tanaman.

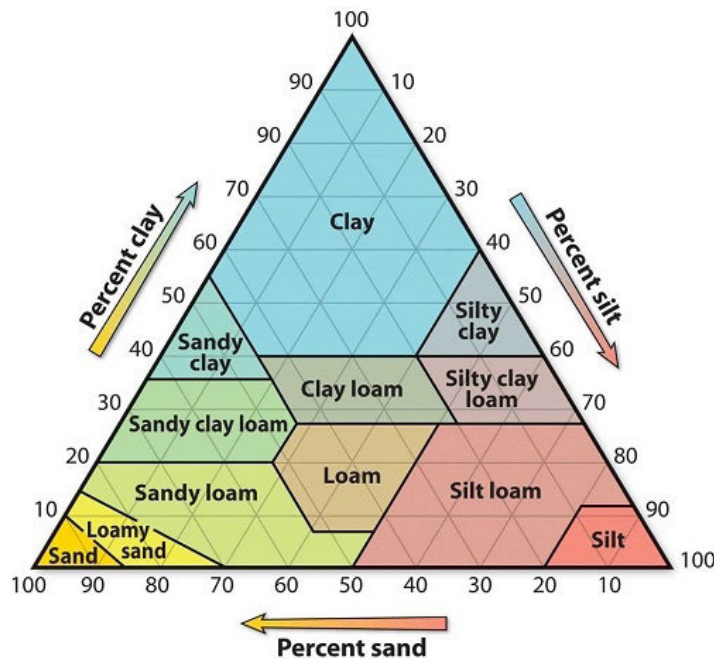
1) Bobot Isi Tanah

Bobot isi tanah menunjukkan perbandingan antara berat tanah kering dengan volume tanah termasuk volume pori-pori tanah, biasanya dinyatakan dalam g/cm^3 (Hakim, et al., 1986). Makin padat suatu tanah makin tinggi bobot isi tanahnya yang berarti semakin sulit meneruskan air atau ditembus akar tanaman. Pada umumnya bobot isi tanah mineral berkisar antara 1,1–1,6 g/cm^3 (Hardjowigeno, 2007).

Bobot isi tanah dipengaruhi oleh struktur tanah dan merupakan sifat fisik tanah yang dapat menunjukkan tingkat kesuburan tanah atau tingkat kepadatan tanah. Pada keadaan struktur tanah yang baik atau bobot isi tanah yang rendah, peluang untuk terjadinya stress air menjadi kecil, karena kisaran kadar air tanah yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman menjadi lebar (Wesley, 1973).

2) Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan perbandingan relatif butir-butir pasir (2 mm–50 μ), debu (50–2 μ), dan liat (<2 μ). Berdasarkan kombinasi pasir, debu dan liat, tekstur tanah dibagi dalam 12 kelas yaitu: pasir, pasir berlempung, lempung berpasir, lempung, lempung berdebu, debu, lempung berliat, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu, liat berpasir, liat berdebu, dan liat (Gambar 7). Tanah berpasir yaitu tanah dengan kandungan pasir >70%, porositasnya rendah (<40%), sebagian besar ruang pori berukuran besar, sehingga aerasinya baik, daya hantar air cepat tetapi kemampuan menahan air dan zat hara rendah.



Gambar 7. Diagram Segitiga Tekstur Tanah Menurut USDA

Tanah disebut bertekstur liat jika kandungan liatnya $>60\%$, porositasnya relatif lebih tinggi (60%), tetapi sebagian besar pori berukuran kecil, daya hantar air sangat lambat dan sirkulasi udara kurang lancar (Hardjowigeno, 2007; Islami dan Utomo, 1995).

Berdasarkan sistem USDA (*United States Department of Agriculture*) dan sistem *International Soil Science Society* (ISSC) bahwa tanah yang didominasi oleh partikel-partikel pasir ukurannya jauh lebih besar dan memiliki luas permukaan yang kecil (dengan berat yang sama) dibandingkan dengan tanah yang didominasi oleh partikel-partikel debu dan liat (Tabel 2). Tanah yang bertekstur lempung mempunyai kemampuan yang baik dalam menyediakan air tersedia bagi pertumbuhan tanaman, karena kombinasi yang unik antara luasan permukaan dengan ukuran porinya. Keadaan ini menyebabkan tanah bertekstur lempung lebih subur dibandingkan dengan tanah bertekstur pasir, debu, atau liat (Foth, 1988).

Tabel 2. Klasifikasi partikel-partikel tanah menurut sistem USDA dan sistem internasional

	Diameter (mm)		Jumlah partikel Per gram	Luas permukaan (cm ² / g)
	USDA	Internasional		
Pasir sangat kasar	2,00 – 1,00	–	90	11
Pasir kasar	1,00 – 0,50		720	23
Pasir sedang	0,50 – 0,25		5.700	45
Pasir	–	2,00 – 0,20	4.088	29
Pasir halus	0,25 – 0,10		46.000	91
Pasir sangat halus	0,10 – 0,05	–	722.000	227
Debu	0,05 –		5.776.000	454
Debu kasar	–	0,02 – 0,002	2.334.796	271
Liat	< 0,002	< 0,002	90.250.853.	8.000.000

3) C-Organik

C-Organik tanah adalah fraksi organik tanah yang berasal dari tanaman, hewan dan mikroba yang telah melapuk. Proses pelapukan bahan organik di dalam tanah dilakukan oleh mikroba yang menghasilkan unsur hara tanaman (N, P, dan S) dan humus serta senyawa-senyawa lainnya yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penetapan bahan organik tanah (C-organik) biasanya dilakukan dengan metode Walkley-Black. Pada metode ini C-organik dihancurkan dengan garam kromat oleh panas yang timbul akibat penambahan asam sulfat (Musa, et al., 2006).

Bahan organik sangat berpengaruh dalam memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah dan juga menunjang pertumbuhan tanaman. Bahan organik juga sangat berperan dalam pembebasan P-fiksasi oleh senyawa Al dan Fe. Asam-asam organik yang dilepaskan dari hasil dekomposisi bahan organik mampu membentuk senyawa kompleks yang sukar larut sehingga diharapkan fosfat akan lebih banyak terlarut atau tersedia (Hakim et al., 1986). Salah satu peranan penting dari bahan organik tanah adalah dalam perbaikan struktur tanah. Penambahan bahan organik kedalam tanah dapat mengakibatkan penurunan bobot isi tanah, peningkatan ruang pori total, ruang pori drainase cepat serta ruang pori drainase lambat.

Bahan organik tanah adalah semua fraksi bukan mineral sebagai komponen penyusun tanah, biasanya merupakan timbunan dari setiap sisa tumbuhan, binatang dan jasad mikro baik sebagian atau seluruhnya mengalami perombakan (Soepardi, 1983). Bahan organik secara morfologi dapat dibedakan sebagai bahan kasar (segar) yang masih memperlihatkan adanya serat-serat tanaman, dan bahan organik halus (terdekomposisi) dimana struktur tanaman sudah tidak dapat dikenali lagi.

Bahan organik kasar erat hubungannya dengan sifat fisik tanah, seperti bobot isi, struktur dan ruang pori tanah, dan sifat biologi tanah terutama dalam kaitannya dengan kegiatan mikroba tanah. Sebaliknya bahan organik halus, terutama yang telah memiliki sifat-sifat koloidal, dapat mempengaruhi sifat fisik, kimia maupun biologi tanah (Anwar dan Sudadi, 2004).

Bahan organik tanah merupakan sumber energi bagi kehidupan dalam tanah, dan bagian dari sifat biologi tanah. Bahan organik tanah disusun oleh biomassa tanah yang terdiri atas berbagai makhluk hidup penghuni tanah terutama mikroba tanah yang menjadi komponen utama bagi jiwa tanah, humus aktif atau sisa massa mikroba (Jorgensen, 1994 dalam Djajakirana, 2001) Kegiatan penambangan bahan-bahan yang mengandung mineral sulfida seperti batubara dapat memicu pembentukan asam.

Penggalian menyebabkan terangkatnya bahan-bahan sulfidik seperti pirit ke permukaan yang kemudian teroksidasi terhadap mineral sulfida, melepaskan asam-asam sulfat yang berdampak pada penurunan pH tanah secara drastis. Menurunnya pH akan meningkatkan kelarutan logam-logam berat yang berbahaya bagi kehidupan (Rochani dan Damayanti, 1997)

Pada profil tanah yang normal, lapisan tanah atas merupakan sumber unsur-unsur hara makro dan mikro esensial bagi pertumbuhan tanaman. Selain itu, juga berfungsi sebagai sumber bahan organik untuk menyokong kehidupan mikroba. Hilangnya lapisan tanah atas (top soil) yang proses pembentukannya memerlukan waktu ratusan tahun dianggap sebagai penyebab utama buruknya tingkat kesuburan tanah pada lahan-lahan bekas pertambangan (Setiadi, 1996).

4) Sifat Retensi Air Tanah

Retensi air tanah adalah kemampuan tanah dalam menahan air di dalam pori-pori tanah, atau melepaskannya dari pori-pori tanah. Kondisi ini sangat tergantung pada tekstur, struktur dan pori-pori tanah meliputi pori mikro (pemegang air) dan pori makro (drainase), sehingga untuk mengetahui bagaimana retensi air tanah dapat diketahui melalui hubungan kadar air tanah dengan suatu daya hisap atau tegangan yaitu dalam bentuk tinggi kolom air (dalam cm) yang merupakan besarnya energi yang diperlukan tanah atau tanaman untuk mengabsorpsi air.

Sifat retensi air tanah dapat dinyatakan dalam kurva pF yang merupakan kurva yang menggambarkan hubungan kadar air tanah terhadap nilai tegangan tertentu yang dinyatakan dalam pF (log cm tinggi kolom air) (Hardjowigeno, 2007).

Terdapat titik-titik tertentu yang spesifik untuk suatu kondisi tanah tertentu di dalam hubungan antara hisapan/tegangan dengan kadarair tanah, yaitu kapasitas lapang dan titik layu permanen. Kapasitas lapang menunjukkan kadar air maksimum yang dapat dipegang oleh tanah pada kondisi tidak terjadi lagi drainase internal di dalam tanah, yang secara umum dianggap sebagai kandungan air tanah yang ditahan oleh tanah dengan kekuatan 1/3 atm atau pF 2,54.

Secara umum kadar air kapasitas lapang pada tanah pasir < kapasitas lapang tanah lempung (*loam*) < kapasitas lapang tanah debu (*silt*) < kapasitas lapang tanah liat (*clay*) < kapasitas lapang tanah gambut (*peat*). Kadar air titik layu permanen disebut juga koefisien layu atau kelembaban tanah kritis, yaitu kandungan air tanah (% isi) yang paling rendah, akar tanaman tidak mampu menghisapnya sehingga tanaman mulai layu dan kemudian mati. Titik layu permanen dianggap sebagai kandungan air tanah yang ditahan oleh tanah dengan kekuatan 15 atm atau pF 4,2 yang secara umum merupakan kekuatan tertinggi akar tanaman untuk dapat menghisap air (Sarief, 1989). Pada tanah yang bertekstur lebih halus, kadar air pada tegangan air yang sama lebih tinggi dibandingkan tanah bertekstur kasar.

Dengan demikian tanah bertekstur halus lebih kuat menahan air dibanding tanah yang bertekstur kasar (Foth, 1988). Kadar air tanah yang makin tinggi menurunkan kekuatan tanah atau tahanan penetrasi tanah. Wesley (1973) menyatakan bahwa kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air dengan berat butir tanah dalam kondisi kering mutlak. Dengan adanya vegetasi atau tanaman pada suatu lahan akan dapat meningkatkan kadar air kapasitas lapang mau pun kadar air maksimum yang terikat/teretensi oleh tanah. Hal ini disebabkan oleh bahan organik dari sisa-sisa tanaman. Telah diketahui bahwa bahan organik dapat mengikat air sampai enam kali beratnya sendiri (Hakim et al., 1986).

5) Tahanan Penetrasi Tanah

Menurut Davidson (1965), tahanan penetrasi merupakan kekuatan tanah yang bersifat komposit, artinya kekerasan tanah dipengaruhi oleh beberapa sifat fisik tanah lainnya seperti: kadar air, struktur tanah, indeks plastisitas, adhesi atau kombinasinya. Dengan demikian akan berdampak kepada aktivitas akar tanaman untuk menembus tanah. Salah satu cara untuk menentukan karakteristik kekuatan tanah adalah dengan mempergunakan penetrometer.

Hillel (1980), menambahkan bahwa pada mulanya penetrometer hanya dirancang untuk penyelidikan kuantitatif terhadap kekuatan dan konsistensi tanah. Sekarang banyak jenis penetrometer telah dirancang untuk pengukuran kuantitatif kekuatan tanah terhadap penembusan, sehingga dapat dihubungkan secara tepat dengan sifat-sifat tanah, seperti daya olah, kerapatan relatif zarah-zarah, kemampuan daya tahan terhadap tekanan dan daya dukung terhadap penggunaan alat-alat besar.

6) Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses aliran air (umumnya berasal dari curah hujan) yang masuk ke dalam tanah. Dengan kata lain infiltrasi adalah aliran air masuk ke dalam tanah sebagai akibat gaya gravitasi. Setelah lapisan tanah bagian atas jenuh, kelebihan air tersebut mengalir ke tanah yang lebih dalam sebagai

akibat gaya gravitasi bumi dikenal sebagai proses perkolasi. Faktor – faktor yang mempengaruhi laju infiltrasi diantaranya adalah tekstur, struktur, kepadatan dan kontinuitas pori tanah. Pada tanah bertekstur pasir, laju infiltrasinya akan sangat cepat, tanah bertekstur lempung laju infiltrasi adalah sedang hingga cepat, dan tanah bertekstur liat laju infiltrasi akan lambat. Tanah yang semakin padat akan memiliki laju infiltrasi yang lambat. Tanah yang memiliki kontinuitas pori tanah yang baik akan memiliki laju infiltrasi yang cepat (Arsyad, 2006; Asdak, 2002; Mashall and Holmes, 1988).

7) Hantaran Hidrolik

Pergerakan air di dalam tanah merupakan aspek penting dalam hubungannya dengan bidang pertanian. Beberapa proses penting, seperti masuknya air ke dalam tanah, pergerakan air ke zona perakaran, keluarnya air berlebih (*excess water*) atau drainase, aliran permukaan, dan evaporasi, sangat dipengaruhi oleh kemampuan tanah dalam melewati air. Parameter atau ukuran yang dapat menggambarkan kemampuan tanah dalam melewati air disebut sebagai konduktivitas hidrolik (*hydraulic conductivity*) (Klute dan Dirksen, 1986).

Kemampuan tanah untuk meneruskan air pada media berpori (tanah) dalam keadaan jenuh disebut permeabilitas. Permeabilitas umumnya diukur sehubungan dengan laju aliran air melalui tanah dalam suatu waktu dan umumnya dinyatakan dalam cm/jam (Foth, 1988). Hillel (1980), menyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi hantaran hidrolik antara lain porositas, distribusi ruang pori, tekstur, dan stabilitas agregat tanah. Pengaruh pemadatan terhadap hantaran hidrolik tanah adalah memperlambat, karena adanya gangguan terhadap kontinuitas pori yang menyebabkan gerakan air di dalam tanah menjadi terhambat.

Hantaran hidrolik tanah akan meningkat bila (a) agregasi butir-butir tanah menjadi remah, (b) adanya bahan organik, (c) porositas tanah yang tinggi (Sarief, 1989). Kelas pergerakan air di dalam tanah berbeda-beda sesuai dengan tingkat kecepatannya pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Kelas pergerakan air dalam tanah

Kelas	Kecepatan pergerakan air dalam tanah (cm/jam)
Sangat Lambat	<0.125
Lambat	0.125 - 0.5
Agak Lambat	0.5 – 2
Sedang	2 - 6.25
Agak Cepat	6.25 - 12.5
Cepat	12.5 – 25
Sangat Cepat	>25

Sumber: Sitorus et al. 1980

3. Rangkuman

Pengertian tanah berbeda-beda tergantung dari kepentingan penggunaan tanah tersebut. Tanah dari segi manfaat memiliki arti : (1) sebagai media tempat tumbuh tanaman, (2) sebagai dasar bangunan dan tempat tinggal, dan (3) sebagai gudang mineral dan bahan-bahan industri.

Media tanam sebagai tempat perkembangan akar merupakan salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan setek. Media yang baik harus memiliki kemampuan menjaga kelembaban, aerasi dan drainase yang baik, tidak memiliki salinitas yang tinggi. Media tanam yang baik harus memiliki sifat-sifat fisik, kimia dan biologi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Arang sekam merupakan salah satu campuran media tanam yang dapat mengikat air dan bahan unsur hara alami yang dapat menyuburkan tanaman karena sifatnya yang remah dan strukturnya mudah menyimpan oksigen. Pupuk kandang berasal dari hasil pertanian yang menyediakan sumber makro dan mikro yang diperlukan dalam bentuk yang tersedia. penambahan berbagai komponen media tanam seperti pasir, serbuk gergaji dan arang sekam padi berpengaruh dalam memperbaiki struktur tanah. Serbuk sabut kelapa (*cocopeat*) merupakan hasil sampingan dari industri kelapa yang dapat dimanfaatkan sebagai media tanam.

Tekstur tanah adalah perbandingan relatif antara fraksi pasir, debu, dan liat yang terkandung dalam suatu massa tanah. Struktur tanah merupakan gumpalan-gumpalan kecil dari butir tanah yang terjadi karena butir-butir pasir, debu dan liat terikat satu sama lain oleh suatu perekat seperti bahan organik, oksida-oksida besi dan lain-lain. Konsistensi tanah merupakan sifat dari tanah yang ditunjukkan dengan derajat kohesi dan adhesi serta ketahanannya terhadap perubahan bentuk. Pori tanah adalah bagian tanah yang berbentuk ruangan (tidak diisi oleh padatan), dimana bagian ini terisi oleh udara dan air.

Sifat fisik tanah dan ketersediaan air sangat penting artinya dalam bidang pertanian. Sifat-sifat fisik dan hidrologi tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Kondisi fisik tanah menentukan penetrasi akar di dalam tanah, retensi air, drainase, aerasi, dan nutrisi tanaman. Retensi air tanah adalah kemampuan tanah dalam menahan air di dalam pori-pori tanah, atau melepaskannya dari pori-pori tanah.

Tahanan penetrasi merupakan kekuatan tanah yang bersifat komposit, artinya kekerasan tanah dipengaruhi oleh beberapa sifat fisik tanah lainnya seperti: kadar air, struktur tanah, indeks plastisitas, adhesi atau kombinasinya. Infiltrasi adalah proses aliran air (umumnya berasal dari curah hujan) yang masuk ke dalam tanah. Kemampuan tanah untuk meneruskan air pada media berpori (tanah) dalam keadaan jenuh disebut permeabilitas.

4. Soal Latihan

- a. Jelaskan perbedaan tanah dan media tanam
- b. Jelaskan syarat-syarat media tanam yang baik
- c. Sebutkan dan jelaskan macam-macam media tanam
- d. Jelaskan pengertian tekstur tanah, struktur tanah, dan konsistensi tanah
- e. Apa yang dimaksud dengan C-organik

5. Kunci Jawaban

- a. Tanah sebagai media tumbuh tanaman didefinisikan sebagai lapisan permukaan bumi yang secara fisik berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya

perakaran penopang tegak tumbuhnya tanaman dan penyuplai kebutuhan air dan udara, secara kimiawi berfungsi sebagai gudang dan penyuplai hara atau nutrisi dan unsur-unsur esensial sedangkan secara biologis berfungsi sebagai habitat biota yang berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara bagi tanaman.

Media tanam sebagai tempat perkembangan akar merupakan salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan setek. Media yang baik harus memiliki kemampuan menjaga kelembaban, aerasi dan drainase yang baik, tidak memiliki salinitas yang tinggi. Media tanam yang baik harus memiliki sifat-sifat fisik, kimia dan biologi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman.

b. Syarat-syarat media tanam yang baik:

- Mampu menyediakan ruang tumbuh bagi akar tanaman, sekaligus juga sanggup menopang tanaman
- Memiliki porositas yang baik, artinya bisa menyimpan air sekaligus juga mempunyai drainase (kemampuan mengalirkan air) dan aerasi (kemampuan mengalirkan oksigen) yang baik. Media tanam harus bisa mempertahankan kelembaban tanah namun harus bisa membuang kelebihan air
- Menyediakan unsur hara yang cukup baik makro maupun mikro. Unsur hara sangat penting bagi pertumbuhan tanaman
- Tidak mengandung bibit penyakit, media tanam harus bersih dari hama dan penyakit.

c. Macam-macam media tanam:

- Arang sekam merupakan salah satu campuran media tanam yang dapat mengikat air dan bahan unsur hara alami yang dapat menyuburkan tanaman karena sifatnya yang remah dan strukturnya mudah menyimpan oksigen
- Pupuk kandang berasal dari hasil pertanian yang menyediakan sumber makro dan mikro yang diperlukan dalam bentuk yang tersedia. Produk buangan dari binatang tersebut dapat digunakan untuk menambah hara, memperbaiki sifat fisik, dan biologi tanah

- Tanah sebagai media tumbuh tanaman didefinisikan sebagai lapisan permukaan bumi yang secara fisik berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran penopang tegak tumbuhnya tanaman dan penyuplai kebutuhan air dan udara, secara kimiawi berfungsi sebagai gudang dan penyuplai hara atau nutrisi dan unsur-unsur esensial sedangkan secara biologis berfungsi sebagai habitat biota yang berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara bagi tanaman
 - Serbuk sabut kelapa (coco peat) merupakan hasil sampingan dari industri kelapa yang dapat dimanfaatkan sebagai media tanam. Keuntungan menggunakan media dari serbuk sabut kelapa yaitu memiliki daya simpan air yang tinggi dan bobot isi yang ringan serta padat
- d. Struktur tanah merupakan gumpalan-gumpalan kecil dari butir tanah yang terjadi karena butir-butir pasir, debu dan liat terikat satu sama lain oleh suatu perekat seperti bahan organik, oksida-oksida besi dan lain-lain. Konsistensi tanah merupakan sifat dari tanah yang ditunjukkan dengan derajat kohesi dan adhesi serta ketahanannya terhadap perubahan bentuk. Hal ini ditunjukkan oleh daya tahan tanah terhadap gaya dari luar. Pori tanah adalah bagian tanah yang berbentuk ruangan (tidak diisi oleh padatan), dimana bagian ini terisi oleh udara dan air. Pori tanah sangat penting dalam menentukan pergerakan air dan udara yang sangat menentukan pertumbuhan tanaman
- e. C-Organik tanah adalah fraksi organik tanah yang berasal dari tanaman, hewan dan mikroba yang telah melapuk. Proses pelapukan bahan organik di dalam tanah dilakukan oleh mikroba yang menghasilkan unsur hara tanaman (N, P, dan S) dan humus serta senyawa-senyawa lainnya yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

6. Sumber Informasi dan Referensi

Anas. I. 1990. Penuntun Praktikum Metode Penelitian Cacing Tanah dan Nematoda. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Dirjen Pendidikan Tinggi dan Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor

Anwar, S. dan U. Sudadi. 2004. Pengantar Kimia Tanah. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.

- Arsyad, S. 2006. Konservasi Tanah dan Air. Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Bradshaw. A.D. and M. J. Chadwick. 1980. The Restoration of Land. Black Well Scientific Publication. Oxford.
- Davidson, D.T. 1965. Penetrometer Measurement. pp. 472-483. In C. A. Black, &. Methods of Soil Analysis, Part I. Monograph 9, Am. Soc.Agron, Inc. Madison.
- Djajakirana, G. 2001. Kerusakan Tanah Sebagai Dampak Pembangunan Pertanian. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Douglass, F.J., T. Landis, T. Luna. 2009. Nursery Manual For Native Plant. Department of Agriculture. Washington.
- Foth, D.H. 1988. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Terjemahan. Gadjah Mada University. Press, Yogyakarta
- Gudugi. 2013. Effect of cow dung and variety on the growth and yield of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). Euro. J. Exp. Bio. 3(2): 495-498.
- Gusmini, Darmawan, Asmar, Siska P. 2009. Penelitian pemanasan sekam padi terhadap ketersediaan Si (Silika) pada pertumbuhan dan hasil tanaman padi (*Oryza sativa* L.). [Internet]. [Waktu dan tempat pertemuan tidak diketahui]. Padang (ID): Universitas Andalas. hlm 9 – 18
- Hakim, N.M, Yusuf Nyakpa, A.M.Lubis, S,G.Nugroho, M.R,Saul, M.Amina Diha, Go.Ban,Hong, H.H,Bailey. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah, UNILA, Lampung.
- Hardjowigeno, S. 1993. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hardjowigeno, S. 2007. Ilmu Tanah. Penerbit Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hasriani. 2013. Kajian serbuk sabut kelapa (cocopeat) sebagai media tanam. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hillel, D. 1980. Soil and Water. Physical Principles and Processes. Akademik. Press. New York.
- Husnain. 2010. Mengenal silika sebagai unsur hara. Warta Litbang Pertanian Indonesia [Internet].; 32(3):19-20. Tersedia pada: pustaka.litbang.deptan.go.id/publikasi/wr323109.pdf

- Islami, T. dan Utomo, W.H. 1995. Hubungan Tanah, Air dan Tanaman. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Lindsay, W. L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley and Sons. New York.
- Mariati, N. 2014. Utilization of maize cob biochar and rice husk charcoal as soil amendments for improving acid soil fertility and productivity. JDMLM. 2(1):223-230.
- Mashall, T.J and J. W. Holmes. 1988. Soil Physics, Cambridge University Press, New York.
- Ma'shum, J. Soedarsono dan L. Endang. 2003. Biologi Tanah. Bagpro Peningkatan Kualitas SDM, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Musa, L, Mukhlis dan Rauf, A. 2006. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Departement Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Muslimin, I., A. Sofyan. 2007. Pengaruh asal bahan dan media stek terhadap pertumbuhan stek batang tembesu (*Fragraea fragarans roxb*). hal. 201-206. Prosiding Ekspose Hasil-hasil Penelitian: Konservasi dan Rehabilitasi Sumberdaya Hutan. Balai Litbang Hutan Tanaman Palembang. Padang 20 September 2006.
- Nugraha S, Jetty S. 2003. Peluang agribisnis arang sekam. Warta Litbang Pertanian Indonesia [Internet].; 25(3):1-2. Tersedia pada: <http://203.176.181.70/bppi/lengkap/wr254033.pdf>
- Prastowo, N., J.M. Roshetko. 2006. Tehnik Pembibitan dan Perbanyakan Vegetatif Tanaman Buah. World Agroforestry Centre (ICRAF) dan Winrock International. Indonesia.
- Purwantoro, R.S. 2016. Short communication: Effect of growing media on seed germination and seedling growth of *Agnope heptophylla* (Leguminosae). Nusantara Bioscience. 8(2): 150-154.
- Rachim, D. A. dan Suwardi. 1999. Morfologi dan Klasifikasi Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Rao. 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yield in tropical soil. Sect. B. Biol. Sci. 84(3): 505-518.
- Riadi, Y. A. 2015. Pengaruh komposisi media tanam dan pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kacang hijau [skripsi]. Pontianak (ID): Universitas Tanjungpura.
- Rochani, S., and D. Retno. 1997. Acid Mine Drainage : General Overview and Strategis to Control Impacts. Indonesia Mining J. 3(2): 36-42.
- Sarief, S. 1989. Fisika-Kimia Pertanian. Pustaka Buana, Bandung
- Sitorus, S, K.R, Brata dan O.Haridjaja. 1980. Penuntun Praktikum Fisika Tanah. IPB, Bogor.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Departemen Ilmu Tanah. IPB. Bogor.
- Setiadi, Y. 1996. The practical application of arbuscular mycorrhiza fungi for enhancing tree establishment in degraded nickel mine site at PT. INCO,
- Suradal. 2014. Pembuatan arang sekam sebagai media tanam. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Yogyakarta. <http://yogya.litbang.pertanian.go.id>.
- Suwardi dan H. Wiranegara. 2000. Penuntun Praktikum Morfologi dan Klasifikasi Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Wesley, L.D. 1973. Mekanika Tanah. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

C. Penilaian

1. Sikap : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi
2. Pengetahuan : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
3. Keterampilan : kemampuan membuat media tanam sesuai kebutuhan lahan

Kegiatan Pembelajaran 3:**3. RUANG LINGKUP UNSUR HARA DAN PUPUK****A. Deskripsi**

Bab ini menjelaskan tentang pengertian dan fungsi unsur hara, klasifikasi pupuk yang dibedakan berdasarkan bahan asal, senyawa, fasa, cara penggunaan, reaksi fisiologi, jumlah dan macam hara yang dikandungnya. Selain itu, penjelasan tentang defisiensi dan toksisitas hara pada tanaman, serta terminologi gejala-gejalanya, diagnosis defisiensi dan keracunan unsur hara, hubungan pH dengan ketersediaan hara dan pengaruh defisiensi terhadap organ tanaman.

B. Kegiatan Pembelajaran**1. Tujuan Pembelajaran**

Setelah mengikuti pembelajaran ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami ruang lingkup unsur hara dan pupuk secara umum, mampu membedakan jenis-jenis pupuk, mampu menganalisis defisiensi dan toksisitas hara pada tanaman, mampu memahami terminologi gejala defisiensi dan toksisitas hara.

2. Uraian Materi**a. Unsur Hara**

Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan suatu tanaman dalam jumlah besar. Unsur hara mikro merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit. Unsur hara makro sendiri terdiri dari utama yang berupa: Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K). Unsur hara makro kedua berupa: Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Belerang atau sulfur (S). Unsur hara Mikro terdiri dari: Boron (B), Tembaga (Cu), Seng atau Zinc (Zn), Besi atau ferro (Fe), Molibdenum (Mo), Mangan (Mn), Klor (Cl), Natrium (Na), Cobalt (Co), Silicone (Si), Nikel (Ni) (Winarso, 2005).

b. Klasifikasi Pupuk

Pupuk dapat dibedakan berdasarkan bahan asal, senyawa, fasa, cara penggunaan, reaksi fisiologi, jumlah dan macam hara yang dikandungnya.

1) Berdasarkan asalnya dibedakan:

- Pupuk alam ialah pupuk yang terdapat di alam atau dibuat dengan bahan alam tanpa proses yang berarti. Misalnya: pupuk kompos, pupuk kandang, guano, pupuk hijau dan pupuk batuan P.
- Pupuk buatan ialah pupuk yang dibuat oleh pabrik. Misalnya: TSP, urea, rustika dan nitrophoska. Pupuk ini dibuat oleh pabrik dengan mengubah sumber daya alam melalui proses fisika dan atau kimia.

2) Berdasarkan senyawanya dibedakan:

- Pupuk organik ialah pupuk yang berupa senyawa organik. Kebanyakan pupuk alam tergolong pupuk organik: pupuk kandang, kompos, guano. Pupuk alam yang tidak termasuk pupuk organik misalnya rock phosphat, umumnya berasal dari batuan sejenis apatit $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$.
- Pupuk anorganik atau mineral merupakan pupuk dari senyawa anorganik. Hampir semua pupuk buatan tergolong pupuk anorganik.

3) Berdasarkan fasa-nya dibedakan:

- Padat. Pupuk padat umumnya mempunyai kelarutan yang beragam mulai yang mudah larut air sampai yang sukar larut.
- Pupuk cair. Pupuk ini berupa cairan, cara penggunaannya dilarutkan dulu dengan air. Umumnya pupuk ini disemprotkan ke daun karena mengandung banyak hara, baik makro maupun mikro, harganya relatif mahal. Pupuk amoniak cair merupakan pupuk cair yang kadar N-nya sangat tinggi sekitar 83%, penggunaannya dapat lewat tanah (diinjeksikan).

4) Berdasarkan cara penggunaannya dibedakan:

- Pupuk daun ialah pupuk yang cara pemupukan dilarutkan dalam air dan disemprotkan pada permukaan daun.

- Pupuk akar atau pupuk tanah ialah pupuk yang diberikan ke dalam tanah di sekitar akar agar diserap oleh akar tanaman.

5) Berdasarkan reaksi fisiologisnya dibedakan:

- Pupuk yang mempunyai reaksi fisiologis masam artinya bila pupuk tersebut diberikan ke dalam tanah ada kecenderungan tanah menjadi lebih masam (pH menjadi lebih rendah). Misalnya: ZA dan Urea.
- Pupuk yang mempunyai reaksi fisiologis basis ialah pupuk yang bila diberikan ke dalam tanah menyebabkan pH tanah cenderung naik misalnya: pupuk chili salpeter, calnitro, kalsium sianida.

6) Berdasarkan jumlah hara yang dikandungnya dibedakan:

- Pupuk yang hanya mengandung satu hara tanaman saja. Misalnya: urea hanya mengandung hara N, TSP hanya dipentingkan P saja (sebetulnya juga mengandung Ca).
- Pupuk majemuk ialah pupuk yang mengandung dua atau lebih dua hara tanaman. Contoh: NPK, amophoska, nitrophoska dan rustika.

7) Berdasarkan macam hara tanaman dibedakan:

- Pupuk makro ialah pupuk yang mengandung hanya hara makro saja: NPK, nitrophoska, gandasil.
- Pupuk mikro ialah pupuk yang hanya mengandung hara mikro saja misalnya: mikrovet, mikroplek, metalik.
- Campuran makro dan mikro misalnya pupuk gandasil, bayfolan, rustika. Sering juga ke dalam pupuk campur makro dan mikro ditambahkan juga zat pengatur tumbuh (hormon tumbuh) (Widya, 2006).

c. Karakteristik Pupuk Buatan

- Kandungan Unsur Hara atau Analisis Pupuk

Kadar unsur hara tertentu yang dikandung pupuk jenis ini disebut dengan analisis pupuk. Untuk kadar unsur hara makro dinyatakan dalam satuan persen,

sedang kadar unsur hara mikro nyatakan dalam satuan ppm (part per milion atau persejuta). Analisa pupuk ini selalu tertera pada kemasan pupuk tersebut.

Jenis unsur hara yang dikandung suatu pupuk tidak dinyatakan sebagai unsur tunggal tetapi dinyatakan dalam persentase total N (total amonium dan nitrat), P_2O_5 dan K_2O . Jenis pupuk yang sama belum tentu mengandung analisa yang sama. Contohnya adalah Urea (46 % N), SP-36 (36 % P_2O_5), KCl (60 % K_2O), NPK Kuda Laut (15:7:8) dan lain-lain. Bila kita jumlahkan seluruh angka prosentase pada analisis pupuk majemuk, maka angka ini tidak pernah akan mencapai 100 %. Penyebabnya adalah di dalam pupuk terdapat unsur kimia lain yang bukan unsur hara tetapi keberadaannya diperlukan supaya bahan pupuk dapat dibentuk menjadi kristal atau butiran-butiran.

- Higroskopisitas

Higroskopis adalah sifat pupuk yang berkaitan dengan potensinya atau kemampuannya untuk mengikat uap air dari udara bebas. Suatu pupuk dikatakan sangat bersifat higroskopis adalah bila ditempatkan pada tempat terbuka mudah sekali mencair. Urea adalah salah satu contoh yang bersifat higroskopis. Sifat higroskopis ini sangat menentukan daya simpan dan penanganan penyimpanan pupuk tersebut. Misalnya pupuk yang bersifat higroskopis sebaiknya tidak disimpan terlalu lama dan harus disimpan dalam wadah yang kedap udara, bila tidak pupuk akan cepat mencair atau menggumpal dengan cepat.

- Daya Larut

Daya larut adalah merupakan kemampuan suatu jenis pupuk untuk terlarut di dalam air. Daya larut ini akan menentukan cepat atau lambat unsur hara yang ada didalam pupuk untuk dapat diserap tanaman atau hilang karena pencucian / tercuci. Jenis pupuk dengan daya larut yang tinggi akan cepat tersedia serta mudah diserap oleh tanaman, namun juga akan mudah tercuci oleh hujan atau pengairan. Pada umumnya pupuk yang memiliki kandungan Nitrogen yang tinggi mempunyai daya larut yang tinggi pula.

- **Reaksi Pupuk**

Reaksi pupuk adalah bila suatu jenis pupuk diberikan pada tanah, maka pH tanah dapat berubah menjadi lebih tinggi atau lebih rendah. Jenis pupuk yang menyebabkan pH tanah menurun, maka pupuk tersebut bereaksi asam terhadap tanah. Bila Jenis pupuk yang menyebabkan pH tanah naik, maka jenis pupuk tersebut bereaksi basa terhadap tanah. Secara umum, pupuk yang beredar dipasaran, menyebabkan pH tanah turun. Artinya, reaksi tanah bersifat asam kepada pupuk yang diberikan.

- **Indek Garam (*Salt Index*)**

Pemberian pupuk pada tanah akan meningkatkan konsentrasi atau kadar garam di dalam larutan tanah. Peningkatan kadar / konsentrasi garam dalam tanah ini akan menaikkan tekanan osmosis larutan tanah, sehingga terhadap proses penyerapan unsur hara. Larutan tanah dengan osmosis yang tinggi dapat menyebabkan larutan unsur hara tidak dapat diserap oleh tanaman, tetapi sebaliknya yakni cairan sel justru yang akan keluar dari akar atau disebut dengan plasmolisis jaringan akar. Gejala ini disebut dengan *salt injury*. Ciri-cirinya daun layu, menguning dan kering seperti terbakar. Pupuk dengan indek garam yang tinggi sangat berpotensi menyebabkan terjadinya *salt injury*. Pupuk yang memiliki indek garam yang tinggi harus ditempatkan lebih jauh dari perakaran tanaman dibandingkan dengan pupuk dengan indek garam rendah.

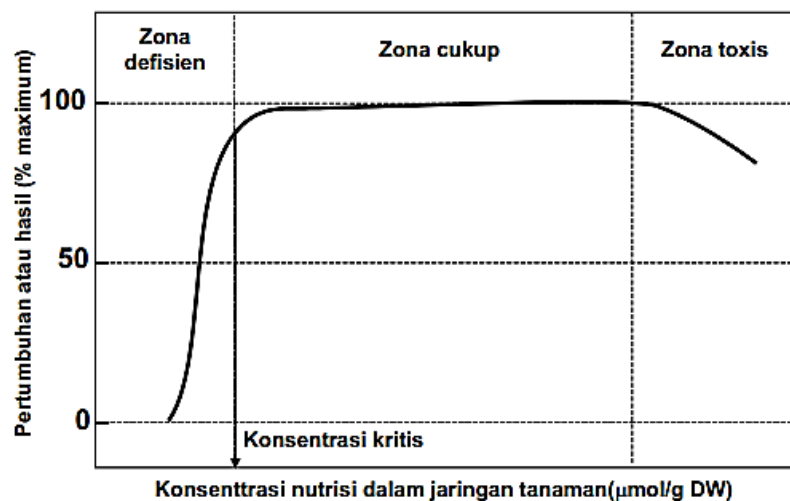
d. Defisiensi dan Toksisitas Hara Mineral

Kehilangan hasil yang besar dengan kualitas produk yang rendah disamping kerusakan lingkungan sering terjadi akibat informasi rekomendasi penggunaan pupuk yang tidak memadai (Römheld & Kirkby, 2010). Rekomendasi penggunaan pupuk yang sesuai dengan keadaan (tanaman & lingkungan) semakin penting dengan beberapa alasan (kualitas produk, biaya produksi pupuk, kerusakan lingkungan, dan perubahan lingkungan yang ekstrim) (Römheld, 2012). Ini memerlukan diagnosis defisiensi unsur hara yang tepat dan harus merupakan bagian dari pendekatan integratif dari manajemen produksi tanaman (Bergmann, 1992; Römheld, 2012).

Dalam manajemen produksi pertanian modern, kedepan rekomendasi pemberian nutrisi harus didahului dengan diagnosis hara mineral pada tanaman, misalnya melalui diagnosis berdasarkan gejala visual (*visible symptoms*) dan analisis tanaman (*plant analysis*). Untuk mencegah dampak negatif yang timbul, pemberian pupuk tertentu baru dilakukan bila status hara mineral tersebut pada kisaran defisiensi ("*deficiency range*") (Grundon, 1987).

Beberapa konsep dasar yang perlu kiranya mendapat perhatian dalam diagnosis defisiensi dan toksisitas unsur hara, antara lain, adalah sebagai berikut:

- 1) Tanaman dapat menunjukkan kondisi defisiensi atau keracunan unsur hara dengan gejala (*symptom*) tertentu apabila tanah (media tumbuh) mengandung unsur hara yang terbatas atau berlebihan.
- 2) Pada umumnya, tingkat defisiensi unsur hara dengan pertumbuhan dan hasil yang hanya berkurang sedikit tidak mengakibatkan gejala defisiensi visual yang spesifik.
- 3) Gejala defisiensi dapat berbeda antara unsur hara, spesies atau varietas tanaman dan lingkungan.
- 4) Setiap gejala yang diamati pada tanaman harus disadari sebagai suatu pengaruh sekunder dan dapat akibat lebih dari satu kasus.
- 5) Gejala yang diamati harus diidentifikasi secara cermat dengan penegasan penyebabnya karena beberapa gejala dapat jelas dan yang lain tidak.
- 6) Inspeksi visual sistematis harus diterapkan untuk mendapatkan penyebab utama atau paling sedikit mereduksi menjadi satu atau dua penyebabnya yang mungkin.
- 7) Diagnosis gejala tanaman dapat dilakukan paling tepat pada individu tanaman di lapangan. Hubungan antara pertumbuhan (yang dicerminkan dengan produksi berat kering tanaman) dengan ketersediaan dan konsentrasi hara mineral dalam jaringan tanaman secara umum digambarkan seperti pada Gambar 8 berikut:



Gambar 8. Hubungan antara pertumbuhan atau hasil tanaman dengan ketersediaan unsur hara. Ulrich & Hills (1967); Taiz & Zeiger (2010)

Gambar 8 menjelaskan bahwa pada zona defisiensi penambahan hara dalam tanah (melalui pemupukan) hanya berakibat meningkatkan produksi berat kering, tetapi konsentrasi hara dalam jaringan tanaman tetap, sedangkan pada zona peralihan penambahan hara melalui pemupukan disamping berakibat meningkatkan konsentrasi hara dalam jaringan tanaman, juga meningkatkan produksi berat kering. Pada zona cukup penambahan hara melalui pemupukan berakibat meningkatkan kandungan hara dalam jaringan tanaman, tetapi tidak meningkatkan berat kering atau hasil panen.

Kurva respon pada bagian ini disebut *"luxury consumption"* (konsumsi berlebihan). Sedangkan pada zona lewat cukup penambahan hara melalui pemupukan berakibat kandungan hara dalam jaringan tanaman bertambah, tetapi hasil panen atau produksi tanaman menurun. Beberapa keadaan yang perlu dipertimbangkan secara cermat dalam diagnosis defisiensi dan keracunan unsur hara (Mc.Cauley et al., 2011) seperti pada Tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Diagnosis defisiensi dan keracunan unsur hara

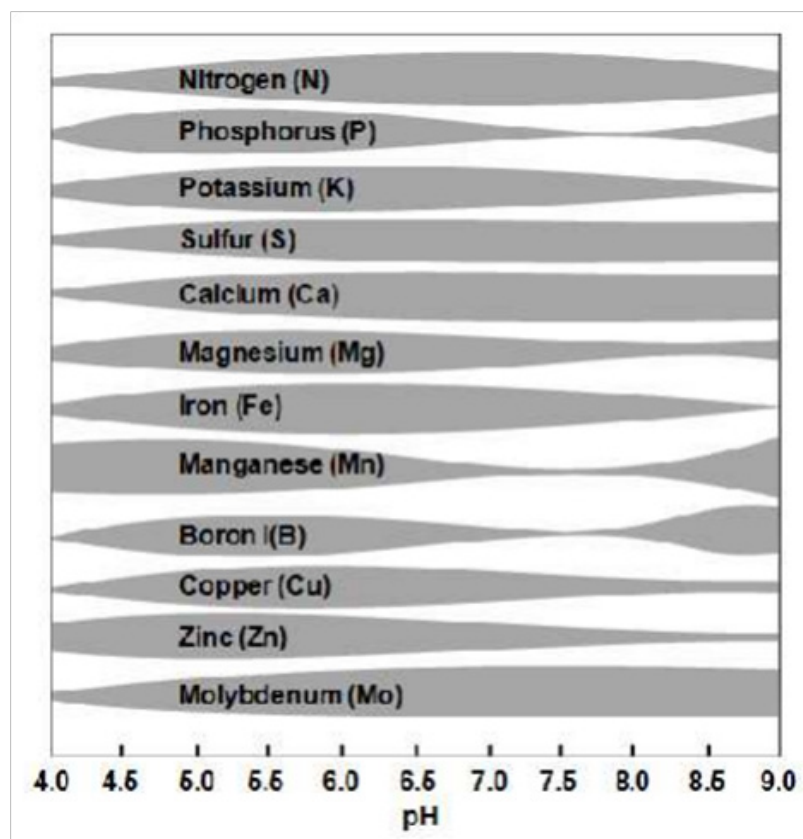
Banyak gejala sama	Sebagai contoh, gejala defisiensi nitrogen (N) and sulfur (S) dapat sangat serupa tergantung, antara lain, pada fase pertumbuhan, dan tingkat defisiensi
--------------------	--

Kondisi kompleks	Defisiensi dan/atau toksitas lebih dari satu jenis unsur hara dapat terjadi pada waktu yang sama, dan kemungkinan defisiensi dari suatu unsur hara dapat menyebabkan kelimpahan dari yang lain (misalnya kelimpahan P akibat defisiensi Zn)
Spesies tanaman	Kemampuan adaptasi dari spesies dan bahkan varietas tanaman dari spesies yang sama dapat berbeda pada kondisi defisiensi dan toksitas. Sebagai contoh, jagung lebih sensitif pada defisiensi Zn dari barley
Gejala defisiensi palsu (<i>pseudo</i>)	Gejala defisiensi palsu (gejala visual lain yang nampak sama dengan gejala defisiensi unsur hara). Faktor potensial yang menyebabkan defisiensi palsu mencakup, antara lain, penyakit, kekeringan, kelebihan air, abnormalitas genetik, herbisida dan pestisida, hama, dan kepadatan tanah
Defisiensi tersembunyi	Tanaman dapat mengalami defisiensi unsur hara tanpa menunjukkan gejala visual
Gejala lapangan	Gejala defisiensi di lapangan dapat nampak berbeda dari gejala ideal. Foto (gambar) dari berbagai tanaman dalam keadaan defisiensi unsur hara tertentu berasal dari tanaman yang ditanam pada kondisi nutrisi terkendali, dan gejala defisiensi/toksitas yang diamati dapat tidak sama dengan gejala di lapangan

Kesulitan dapat terjadi dalam interpretasi gejala visual defisiensi unsur hara pada tanaman, sehingga analisis kimia jaringan tanaman atau tanah tidak dapat dihindari untuk penegasan status nutrisi yang dialami tanaman. Faktor lingkungan di luar unsur hara perlu diperhatikan dalam diagnosis karena defisiensi dan toksitas nutrisi pada tanaman terjadi tidak hanya melulu karena kuantitas nutrisi dalam media perakaran (tanah), tapi juga karena keadaan lingkungan yang mempengaruhi ketersediaan nutrisi dalam media perakaran (Sitompul, 2015).

Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi ketersediaan unsur hara dalam tanah termasuk air, suhu, jarak unsur hara dari akar, dan pH. Faktor unsur hara yang mempengaruhi ketersediaan unsur hara, disamping kuantitas unsur hara, adalah bentuk unsur hara. Ketersediaan unsur hara dengan perubahan tingkat kemasaman (pH) tanah (media perakaran) bervariasi antara jenis unsur hara (Gambar 9).

Fakta ini dapat membantu diagnosis gejala defisiensi unsur hara. Sebagai contoh, ketersediaan unsur N (nitrogen) berkurang pada $\text{pH} \leq 6,0$ dan $\text{pH} \geq 8,0$, sementara ketersediaan P (fosfor) dan K (kalium) yang tinggi berkisar secara berturut-turut diantara $\text{pH} \geq 4,5 - \leq 6,0$ dan $\text{pH} \geq 4,5 - \leq 7,0$. Dengan demikian ketersediaan sebagian besar hara, kecuali P khususnya Mn dan Zn, menjadi masalah pada tanah masam yang tersebar luas di Indonesia (di luar Jawa).



Gambar 9. Ketersediaan unsur hara sebagai fungsi dari pH (Hoeft *et al.* 2000)

Apabila tanaman tidak dapat menerima hara yang cukup seperti yang dibutuhkan, maka pertumbuhannya akan lemah dan perkembangannya tampak

abnormal. Pertumbuhan yang abnormal juga akan terjadi bila tanaman menyerap hara melebihi untuk kebutuhannya bermetabolisme. Diagnosis defisiensi dan toksisitas hara pada tanaman dapat dilakukan dengan 2 pendekatan yaitu pendekatan dengan diagnosis gejala visual dan analisis tanaman (Grundon, 1987; Marschner, 1986; Baligar dan Duncan, 1990).

Gejala defisiensi atau toksisitas secara visual umumnya telah cukup membantu dalam mendiagnosis gangguan hara, terutama bila dilakukan oleh orang atau ahli yang sudah berpengalaman pada tanaman spesifik tertentu dan daerah tertentu dimana dia sudah biasa bekerja disana. Artinya adalah dituntut pengetahuan yang cukup dan ketelitian yang tinggi karena gejala gangguan hara bervariasi sangat besar tergantung atas spesies tanaman, kondisi lingkungan, umur tanaman dan kemiripan gejalanya dengan gangguan lain seperti infeksi penyakit, kerusakan oleh hama atau karena gangguan gulma (Grundon, 1987; Marschner, 1986; Baligar dan Duncan, 1990).

Tumbuhan menanggapi kurangnya pasokan unsur esensial dengan menunjukkan gejala kekahatan yang khas. Gejala yang terlihat meliputi terhambatnya pertumbuhan akar, batang atau daun, serta klorosis atau nekrosis pada berbagai organ. Gejala khas sering membantu untuk mengetahui fungsi suatu unsur pada tumbuhan dan pengetahuan akan gejala tersebut menolong para petani untuk memastikan bagaimana serta kapan harus memupuk tanamannya (Wiraatmaja, 2017)

Gejala kekahatan suatu unsur terutama bergantung pada dua faktor yaitu fungsi unsur tersebut dan mudah tidaknya unsur tersebut berpindah dari daun tua ke daun yang lebih muda atau ke organ-organ lainnya (Epstein, 1972). Contoh yang baik untuk menjelaskan kedua faktor tersebut adalah klorosis yang disebabkan oleh Mg. Karena Mg adalah bagian esensial molekul klorofil, maka klorofil tak terbentuk tanpa Mg atau terbentuk dalam jumlah sedikit bila konsentrasi Mg rendah.

Klorosis pada daun tua yang terletak lebih rendah terlihat lebih parah dari pada daun muda. Perbedaan tersebut menggambarkan bahwa bagian yang lebih muda dari tumbuhan mempunyai kemampuan untuk mengambil hara yang mudah

bergerak (mobil) dari bagian yang lebih tua (Salisbury dan Ross, 1992). Terminologi yang digunakan untuk menyatakan gejala defisiensi tertentu dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Ciri-ciri gejala defisiensi

Terbakar (<i>burning</i>)	Gejala seperti terbakar (coklat hitam)
Khlorosis (menguning)	Jaringan tanaman menguning dan kekurangan khlorofil yang merata (N), dan antar tulang daun (K, Mg)
Merata	Gejala tidak terbatas pada satu daun atau satu bagian dari daun atau tanaman, tapi agak merata pada seluruh bagian tanaman
Khlorosis antar tulang daun	Gejala menguning antar tulang daun, sementara tulang daun tetap hijau
Setempat	Gejala terbatas pada satu daun atau satu bagian dari daun atau Tanaman
Bintik (<i>mottling</i>)	Pola setempat yang tidak teratur dan konsisten
Nekrosis (coklat/hitam)	Kematian jaringan tanaman (jaringan coklat dan mati) pada ujung dan tepi daun (toksisitas B) dan antar tulang daun (K, Zn)
Kerdil (<i>stunting</i>)	Penurunan pertumbuhan sehingga tanaman pendek (N, P)
Kurang pertumbuhan baru	Kematian titik tumbuh (Ca), tunas buku batang, dan daun dengan daun melingkar (Zn)
Akumulasi <i>anthocyanin</i>	Pangkal batang (P), antar tulang daun (Mg)

Sumber: McCauley et al. (2011)

Kelemahan diagnosis gejala visual adalah : (1) Diagnosis tanaman di lapangan sangat kompleks, dimana gejala visual baru tampak bila defisiensinya atau

toksisitasnya yang dicerminkan oleh laju pertumbuhan dan hasil tanaman betul-betul tertekan; (2) Diagnosis menjadi kompleks bila terjadi defisiensi beberapa jenis hara secara bersamaan atau defisiensi hara tertentu disertai toksik hara lain. Contohnya, pada tanah tergenang, defisiensi Mg disertai toksik Mn; dan (3) Diagnosis menjadi sulit bila ada serangan hama penyakit, serangan mekanis dan lain-lain (Wiraatmaja, 2017).

Bila gangguan yang disebabkan oleh serangga, penyakit, nematoda atau karena kerusakan mekanis dapat dieleminasi, maka gejala visual tiap-tiap jenis hara tertentu dapat dibandingkan dan dicocokkan dengan ciri-ciri gangguan hara masing-masing. Ciri-ciri tentang gejala kekahatan hara pada tanaman (Salisbury dan Ross, 1992) disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 . Ciri-ciri tentang gejala kekahatan hara tertentu pada tanaman

Unsur yang kahat	Gejala	Unsur yang kahat	Gejala
Nitrogen	Daun yang lebih tua atau lebih rendah letaknya banyak terpengaruh; efeknya mengelompok atau Menyebarkan Efeknya umumnya meluas keseluruh tumbuhan, dedaunan di bawah agak mengering atau terbakar, tumbuhan berwarna hijau tua atau hijau muda	Kalsium	Daun muda atau kuncup daun yang terpengaruh, gejala mengelompok Kuncup akhir mati, terjadi setelah perubahan bentuk pada ujung atau pangkal daun muda.

Unsur yang kahat	Gejala	Unsur yang kahat	Gejala
	Tumbuhan hijau muda, dedaunan yang terletak lebih dibawah berwarna kuning, mengering sampai berwarna cokelat terang, tangkai pendek dan pipih bila kekahatan unsur terjadi pada taraf pertumbuhan lanjut		Daun muda pada kuncup akhir mula-mula melengkung secara khas, akhirnya mati pucuk mulai dari ujung dan tepi sehingga pertumbuhan
Fosfor	Tumbuhan hijau tua, sering muncul warna merah dan ungu, tangkai pendek dan pipih jika kekahatan unsur terjadi pada taraf pertumbuhan lanjut	Boron	Daun muda pada kuncup akhir pangkalnya menjadi hijau muda lalu patah. Pada pertumbuhan lanjut daun terpilin akhirnya tangkai kuncup akhir mati pucuk.
Magnesium	Efeknya sering mengelompok, bercak warna atau klorosis dengan atau tanpa bercak jaringan mati pada daun yang terletak lebih bawah, sedikit atau tak ada daun yang terletak di bawah yang mengering	Tembaga	Daun muda layu tetap (ujungnya terbakar) tanpa bercak atau gejala klorosis. Ranting atau tangkai tepat dibawah ujung dan pentul biji sering tak mampu tegak bila kekurangannya parah.

Unsur yang kahat	Gejala	Unsur yang kahat	Gejala
Kalium	Daun dengan bercak warna atau klorosis, berbercak jaringan mati kecil atau besar. Bercak jaringan mati kecil, biasanya diujung dan diantara urat-urat daun, lebih jelas di tepi daun, tangkai pipih.	Mangan	Daun muda tidak layu, klorosis dengan atau tanpa bercak, jaringan mati tersebar diseluruh daun Urat yang kecil cenderung tetap hijau sehingga tampak seperti jala-jala
Seng	Bercak meluas, menyebar dengan cepat, biasanya meliputi daerah antar urat daun dan akhirnya mencapai urat sekunder bahkan primer, daun tebal, tangkai beruas pendek.	Belerang	Belerang Daun muda dengan urat dan jaringan antar urat daun berwarna hijau muda
Besi	Daun muda klorosis, urat pokoknya bewarna hijau khas, tangkai pendek dan pipih		

Sumber: Salisbury dan Ross (1992)

Defisiensi unsur hara dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan sel secara tiba-tiba. Akan tetapi respon sel berbeda-beda menurut jaringan dan organ tanaman. Respon sel akar (*root*) dan tajuk (*shoot*) terhadap defisiensi unsur hara menghasilkan *root/shoot* rasio yang makin besar. Artinya pada kondisi defisiensi, akar memiliki tingkat pertumbuhan yang lebih baik dari pada tajuk. Keadaan ini terjadi disebabkan oleh distribusi asimilat lebih besar ditujukan pada akar dengan harapan akar akan tumbuh lebih cepat, lebih panjang, lebih dalam dan kelak akan mampu memasok nutrisi untuk pertumbuhan tajuk lebih baik (Wiraatmaja, 2017). Berikut Tabel 7 di bawah ini pengaruh defisiensi terhadap organ tanaman.

Tabel 7. Pengaruh defisiensi terhadap organ tanaman

Pengaruh	Jaringan/organ
Defisiensi N - Menekan jumlah sel - Menghambat pembesaran sel - Meningkatkan denukleasi - Meningkatkan pembentukan sel <i>aerenchyma</i>	Akar Daun dan akar Kortek akar Kortek akar
Defisiensi P - Menghambat pembesaran sel - Meningkatkan pembentukan sel <i>aerenchyma</i>	Daun Akar
Defisiensi K - Ukuran sel mengecil	Daun
Defisiensi Ca - Menghambat pembelahan sel - Menghambat pembesaran sel - Meningkatkan denukleas	Berbagai organ <i>Pollen tube</i> Kortek akar
Defisiensi Fe - Memacu pembelahan sel	Akar
Defisiensi Mn - Memacu pembesaran sel - Memacu pembelahan sel	Akar Akar
Defisiensi B - Menekan pembelahan sel - Menekan pembesaran sel - Menekan pemanjangan sel	Akar Akar Akar
Kelebihan Na - Menekn pembelahan sel - Menekan pembesaran sel	Akar Akar

Sumber : Fageria (1992)

3. Rangkuman

Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan suatu tanaman dalam jumlah besar. Unsur hara mikro merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit. Pupuk dapat dibedakan berdasarkan bahan asal, senyawa, fasa, cara penggunaan, reaksi fisiologi, jumlah dan macam hara yang dikandungnya. Berdasarkan asalnya dibedakan yaitu pupuk alam dan buatan, menurut senyawanya dibedakan yaitu pupuk organik dan anorganik. Berdasarkan fasa-nya dibedakan yaitu padat dan cair, Berdasarkan cara penggunaannya dibedakan yaitu pupuk daun dan akar, berdasarkan reaksi fisiologisnya dibedakan yaitu reaksi masam dan basa, berdasarkan jumlah hara yang dikandungnya dibedakan yaitu pupuk tunggal dan majemuk dan berdasarkan macam hara tanaman dibedakan yaitu makro, mikro dan campuran.

Kehilangan hasil yang besar dengan kualitas produk yang rendah disamping kerusakan lingkungan sering terjadi akibat informasi rekomendasi penggunaan pupuk yang tidak memadai. Dalam manajemen produksi pertanian modern, kedepan rekomendasi pemberian nutrisi harus didahului dengan diagnosis hara mineral pada tanaman, misalnya melalui diagnosis berdasarkan gejala visual (*visible symptoms*) dan analisis tanaman (*plant analysis*). Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi ketersediaan unsur hara dalam tanah termasuk air, suhu, jarak unsur hara dari akar, dan pH. Faktor unsur hara yang mempengaruhi ketersediaan unsur hara, disamping kuantitas unsur hara, adalah bentuk unsur hara.

Gejala defisiensi atau toksisitas secara visual umumnya telah cukup membantu dalam mendiagnosis gangguan hara, terutama bila dilakukan oleh orang atau ahli yang sudah berpengalaman pada tanaman spesifik tertentu dan daerah tertentu dimana dia sudah biasa bekerja disana. Tumbuhan menanggapi kurangnya pasokan unsur esensial dengan menunjukkan gejala kekahatan yang khas. Gejala yang terlihat meliputi terhambatnya pertumbuhan akar, batang atau daun, serta klorosis atau nekrosis pada berbagai organ. Bila gangguan yang disebabkan oleh serangga, penyakit, nematoda atau karena kerusakan mekanis dapat dieleminasi, maka gejala visual tiap-tiap jenis hara tertentu dapat dibandingkan dan dicocokkan dengan ciri-ciri gangguan hara masing-masing.

4. Soal Latihan

- a. Sebutkan perbedaan unsur makro dan mikro beserta contohnya
- b. Jelaskan pupuk berdasarkan senyawanya dan cara penggunaannya
- c. Jelaskan grafik hubungan pertumbuhan tanaman dengan ketersediaan hara mineral
- d. Bagaimana apabila tanaman tidak dapat menerima hara yang cukup seperti yang dibutuhkan

5. Kunci Jawaban

- a. Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan suatu tanaman dalam jumlah besar. Unsur hara mikro merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit. Unsur hara makro sendiri terdiri dari utama yang berupa: Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K). Unsur hara makro kedua berupa: Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Belerang atau sulfur (S). Unsur hara Mikro terdiri dari: Boron (B), Tembaga (Cu), Seng atau Zinc (Zn), Besi atau ferro (Fe), Molibdenum (Mo), Mangan (Mn), Klor (Cl), Natrium (Na), Cobalt (Co), Silicone (Si), Nikel (Ni).
- b. Berdasarkan senyawanya yaitu Pupuk organik dan anorganik. Pupuk organik ialah pupuk yang berupa senyawa organik. Kebanyakan pupuk alam tergolong pupuk organik: pupuk kandang, kompos, guano. Pupuk alam yang tidak termasuk pupuk organik misalnya rock phosphat, umumnya berasal dari batuan sejenis apatit. Sedangkan pupuk anorganik atau mineral merupakan pupuk dari senyawa anorganik. Hampir semua pupuk buatan tergolong pupuk anorganik. Berdasarkan cara penggunaannya yaitu pupuk daun dan akar. Pupuk daun ialah pupuk yang cara pemupukan dilarutkan dalam air dan disemprotkan pada permukaan daun. Sedangkan pupuk akar atau pupuk tanah ialah pupuk yang diberikan ke dalam tanah di sekitar akar agar diserap oleh akar tanaman.
- c. Pada zona defisiensi penambahan hara dalam tanah (melalui pemupukan) hanya berakibat meningkatkan produksi berat kering, tetapi konsentrasi hara dalam jaringan tanaman tetap, sedangkan pada zona peralihan penambahan

hara melalui pemupukan disamping berakibat meningkatkan konsentrasi hara dalam jaringan tanaman, juga meningkatkan produksi berat kering. Pada zona cukup penambahan hara melalui pemupukan berakibat meningkatkan kandungan hara dalam jaringan tanaman, tetapi tidak meningkatkan berat kering atau hasil panen. Kurva respon pada bagian ini disebut "*luxury consumption*" (konsumsi berlebihan). Sedangkan pada zona lewat cukup penambahan hara melalui pemupukan berakibat kandungan hara dalam jaringan tanaman bertambah, tetapi hasil panen atau produksi tanaman menurun.

- d. Pertumbuhannya akan lemah dan perkembangannya tampak abnormal. Pertumbuhan yang abnormal juga akan terjadi bila tanaman menyerap hara melebihi untuk kebutuhannya bermetabolisme. Diagnosis defisiensi dan toksisitas hara pada tanaman dapat dilakukan dengan 2 pendekatan yaitu pendekatan dengan diagnosis gejala visual dan analisis tanaman

6. Sumber Informasi dan Referensi

- Baligar, V. C. and R. R. Duncan. 1990. Crops as Enhancers of Nutrient Use. Academic Press, Inc. Toronto. 574p
- Bergmann, W., 1992. Nutritional Disorders of Plants-Development, Visual and Analytical Diagnosis. Gustav Fisher, Verlag Jena, Germany
- Grundon, N. J. 1987. Hungry Crops: A Guide to Nutrient Deficiencies in Field Crops. Department of Primary Industries, Queensland Government. Information Series Q187002. 242p
- Hoeft R.G., E.D. Nafziger, R.R. Johnson, and S.R. Aldrich. 2000. Modern Corn and Soybean Production. MCSP Publications. Champaign, IL. 353p
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press Inc, London Ltd. 674p. Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, Inc. Toronto. 412p.
- Mc Cauley, N., Jones, C. and Jacobsen, J., 2011. Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms. Nutrient Management Module No.

9. Montana State University. <http://landresources.montana.edu/nm/documents/NM9.pdf>
- Römheld, V., 2012. Diagnosis of deficiency and toxicity of Nutrients. In “Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants”, P. Marschner (ed.). Third Edition, Elsevier, Academic Press. 299-312 pp
- Römheld, V. and Kirkby, E.A., 2010. Research on potassium in agriculture: Needs and prospects. *Plant Soil*, 335:155-180
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1992. *Plant Physiology*. 4th Edition. Terjemahan : Diah R. Lukman dan Sumaryono. Fisiologi Tumbuhan. Jilid
- Sitompul, S.M. 2015. *Nutrisi Tanaman: Diagnosis Defisiensi Nutrisi Tanaman*. Universitas Brwijaya: Surabaya
- Winarso, S. 2005. *Kesuburan Tanah: Dasar Kesehatan dan Kualitas Tanah*. Gava media. Jogjakarta. 269 hal
- Wiraatmaja, I. W. 2017. *Defisiensi dan Toksisitas Hara Mineral Serta Responnya terhadap Hasil*. Universitas Udayana: Bali

C. Penilaian

1. **Sikap** : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi
2. **Pengetahuan** : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
3. **Keterampilan** : kemampuan mengaplikasikan pupuk yang fektif dan efesien

Kegiatan Pembelajaran 4:

4. DEFINISI, JENIS-JENIS, PERANAN, DAN MANFAAT PUPUK ORGANIK

A. Deskripsi

Bab ini membahas tentang ruang lingkup dasar pupuk organik meliputi definisi pupuk organik, sumber bahan organik, peranan pupuk organik sebagai pembenah tanah, jenis-jenis pupuk organik, kandungan utama pupuk organik,

kombinasi pupuk organik dan anorganik, metode pemupukan organik, proses pengomposan, keunggulan pupuk cair, proses pengolahan limbah, karakteristik pupuk cair, peranan pupuk organik untuk produksi pertanian, dan manfaat pupuk terhadap tanaman.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Dengan penguasaan materi pembelajaran dalam bab ini pada akhir pembelajaran, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan pengertian pupuk organik, mampu memahami jenis-jenis pupuk organik, mampu menganalisis keunggulan pupuk organik, mampu mengetahui hasil kombinasi pupuk organik dan anorganik, mampu menjelaskan peranan dan manfaat pupuk organik untuk tanaman.

2. Uraian Materi

a. Definisi Pupuk Organik

Pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan dan/atau bagian hewan dan/atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dapat diperkaya dengan bahan mineral dan/atau mikroba, yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah serta memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Permentan No 70, 2011). Pupuk organik adalah nama kolektif untuk semua jenis bahan organik asal tanaman dan hewan yang dapat dirombak menjadi hara tersedia bagi tanaman.

Definisi tersebut menunjukkan bahwa pupuk organik lebih ditujukan kepada kandungan C-organik atau bahan organik daripada kadar haranya; nilai C-organik itulah yang menjadi pembeda dengan pupuk anorganik. Bila C-organik rendah dan tidak masuk dalam ketentuan pupuk organik maka diklasifikasikan sebagai pembenah tanah organik. Pembenah tanah atau soil ameliorant menurut SK Mentan adalah bahan-bahan sintesis atau alami, organik atau mineral (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006).

Sumber bahan organik dapat berupa kompos, pupuk hijau, pupuk kandang, sisa panen (jerami, brangkasan, tongkol jagung, bagas tebu, dan sabut kelapa), limbah ternak, limbah industri yang menggunakan bahan pertanian, dan limbah kota. Kompos merupakan produk pembusukan dari limbah tanaman dan hewan hasil perombakan oleh fungi, aktinomiset, dan cacing tanah. Pupuk hijau merupakan keseluruhan tanaman hijau maupun hanya bagian dari tanaman seperti sisa batang dan tunggul akar setelah bagian atas tanaman yang hijau digunakan sebagai pakan ternak. Sebagai contoh pupuk hijau ini adalah sisa-sisa tanaman, kacang-kacangan, dan tanaman paku air *Azolla*.

Pupuk kandang merupakan kotoran ternak. Limbah ternak merupakan limbah dari rumah potong berupa tulang-tulang, darah, dan sebagainya. Limbah industri yang menggunakan bahan pertanian merupakan limbah berasal dari limbah pabrik gula, limbah pengolahan kelapa sawit, penggilingan padi, limbah bumbu masak, dan sebagainya. Limbah kota yang dapat menjadi kompos berupa sampah kota yang berasal dari tanaman, setelah dipisah dari bahan-bahan yang tidak dapat dirombak misalnya plastik, kertas, botol, dan kertas (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006).

Pupuk organik merupakan bahan pembenah tanah yang paling baik dan alami dari pada bahan pembenah buatan/sintesis. Pada umumnya pupuk organik mengandung hara makro N, P, K rendah tetapi mengandung hara mikro dalam jumlah cukup yang sangat diperlukan pertumbuhan tanaman. Sebagai bahan pembenah tanah, pupuk organik mencegah terjadinya erosi, pergerakan permukaan tanah (*crusting*) dan retakan tanah, mempertahankan kelengasan tanah serta memperbaiki pengatusan dakhil (*internal drainase*). Pemberian pupuk organik kedalam tanah dapat dilakukan seperti pupuk kimia

Pupuk organik bukanlah untuk menggantikan peran pupuk kimia melainkan sebagai pelengkap fungsi pupuk kimia. Pupuk organik dan pupuk kimia akan lebih optimal dan lebih efisien penggunaannya bila dimanfaatkan secara bersamaan. Penambahan pupuk organik dapat mengurangi dampak negatif pupuk kimia serta memperbaiki sifat fisik, biologi dan kimia tanah secara bersamaan (Sutanto, 2002).

b. Jenis-jenis Pupuk Organik

Secara umum pupuk organik dibedakan berdasarkan bentuk dan bahan penyusunnya. Dilihat dari segi bentuk, terdapat pupuk organik cair dan padat. Sedangkan dilihat dari bahan penyusunnya terdapat pupuk hijau, pupuk kandang dan pupuk kompos. Berikut jenis pupuk berdasarkan bentuknya yaitu:

1) Pupuk Organik Padat

Pada dasarnya semua bahan-bahan organik padat dapat dikomposkan, misalnya: limbah organik rumah tangga, sampah-sampah organik pasar/kota, kertas, kotoran/limbah peternakan, limbah-limbah pertanian, limbah-limbah agroindustri, limbah pabrik kertas, limbah pabrik gula, limbah pabrik kelapa sawit dan lain-lain. Bahan organik yang sulit untuk dikomposkan antara lain: tulang, tanduk, dan rambut.

2) Pupuk Kandang Padat

Pupuk kandang (pukan) didefinisikan sebagai semua produk buangan dari binatang peliharaan yang dapat digunakan untuk menambah hara, memperbaiki sifat fisik, dan biologi tanah. Apabila dalam memelihara ternak tersebut diberi alas seperti sekam pada ayam, jerami pada sapi, kerbau dan kuda, maka alas tersebut akan dicampur menjadi satu kesatuan dan disebut sebagai pukan pula (Hartatik dan Widowati, 2006).

Pupuk kandang (pukan) padat yaitu kotoran ternak yang berupa padatan baik belum dikomposkan maupun sudah dikomposkan sebagai sumber hara terutama N bagi tanaman dan dapat memperbaiki sifat kimia, biologi, dan fisik tanah. Penanganan pukan padat akan sangat berbeda dengan pukan cair. Penanganan pukan padat oleh petani umumnya adalah sebagai berikut: kotoran ternak besar dikumpulkan 1-3 hari sekali pada saat pembersihan kandang dan dikumpulkan dengan cara ditumpuk di suatu tempat tertentu.

Petani yang telah maju ada yang memberikan mikroba dekomposer dengan tujuan untuk mengurangi bau dan mempercepat pematangan, tetapi banyak pula yang hanya sekedar ditumpuk dan dibiarkan sampai pada waktunya digunakan ke lahan (Hartatik dan Widowati, 2006).

Penggunaan bahan organik berupa pukan sudah dilakukan petani sejak lama, tapi penggunaannya dalam jumlah besar menimbulkan kesulitan dalam sumber penyediaan, pengangkutan dan aplikasinya. Bahan organik dari kotoran hewan dapat berupa pukan ayam, kambing, sapi, kerbau, baik digunakan secara langsung atau dikomposkan terlebih dahulu. Pupuk kandang dapat berasal dari peternakan sendiri, dari sekitar lokasi lahan pertanian atau didatangkan dari lokasi lain. Pupuk kandang adalah sumber beberapa hara seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan lainnya. Bagaimanapun, nitrogen adalah salah satu hara utama bagi sebagian besar tanaman yang dapat diperoleh dari pukan (Hartatik dan Widowati, 2006).

Kekurangan kalium pada sebagian lokasi tertentu tidak dapat dikoreksi dengan takaran umum pukan. Kebutuhan beberapa tanaman dapat diperoleh dengan aplikasi pukan >25 ton/ha. Nitrogen dari pukan umumnya dirubah menjadi bentuk nitrat tersedia. Nitrat adalah mudah larut dan bergerak ke daerah perakaran tanaman. Bentuk ini sama dengan bentuk yang bisa diambil oleh tanaman dari sumber pupuk anorganik dari pabrik. Pupuk kandang mengandung unsur hara dengan konsentrasi yang bervariasi tergantung jenis ternak, makanan, umur, dan kesehatan ternak. Biasanya petani selain mengusahakan lahan juga mengusahakan ternak, sehingga pukan merupakan komponen pupuk pertanian.

Akan tetapi pukan yang tersedia kurang mencukupi kebutuhan, sehingga penggunaannya kadang kurang memberikan peningkatan hasil yang berarti dan kontinu. Penggunaan pukan sebagai pupuk tanaman merupakan suatu siklus unsur hara yang sangat bermanfaat dalam mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam yang terbarukan, disisi lain penggunaan pukan dapat mengurangi unsur hara yang bersifat racun bagi tanaman (Hartatik dan Widowati, 2006).

Pemanfaatan pukan untuk padi sawah jumlahnya jauh lebih sedikit daripada untuk lahan kering (pangan dan sayuran). Jumlah maksimum pukan yang umum dipergunakan petani padi sawah <2 ton pukan/ha, sedangkan petani sayuran mencapai 25-75 ton/ha. Hasil-hasil penelitian aplikasi pukan pada lahan sawah yang dikombinasikan dengan pupuk anorganik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk anorganik dalam kisaran 2 - 20%. Pukan selain mengandung

hara-hara yang dibutuhkan oleh tanaman juga mengandung asam-asam humat, fulvat, hormon tumbuh dan lain-lain yang bersifat memacu pertumbuhan tanaman sehingga serapan hara oleh tanaman meningkat (Tan, 1993).

Kombinasi pemupukan SP-36 100 kg/ha dengan kompos jerami dan pukan kerbau masing-masing 5 ton/ha meningkatkan pertumbuhan tanaman dan bobot kering gabah. Pemberian jerami dan pukan kerbau meningkatkan serapan hara K. Berdasarkan hal tersebut, pemupukan P yang dikombinasikan dengan pemberian jerami dan pukan disarankan pada lahan sawah yang berkadar bahan organik rendah dan kahat K (Suriadikarta et al., 2003).

Pada lahan kering, pukan dapat diaplikasikan dengan beberapa cara yaitu disebar di permukaan tanah kemudian dicampur pada saat pengolahan tanah, dalam larikan, dan dalam lubang-lubang tanam. Metode aplikasi berkaitan dengan jenis tanaman yang akan ditanam. Selain itu jumlah pukan yang diberikanpun jumlahnya sangat berbeda. Seperti pemberian pukan pada tanaman sayuran mencapai 20-30 ton/ha, sedangkan tanaman pangan lahan kering seperti jagung, kedelai, padi gogo dan lain-lain sejumlah 1-2 ton/ha. Kualitas pukan sangat berpengaruh terhadap respon tanaman. Pupuk kandang (pukan) ayam secara umum mempunyai kelebihan dalam kecepatan penyediaan hara, komposisi hara seperti kadar N, P, K, dan Ca dibanding pukan sapi dan kambing (Hartatik dan Widowati, 2006).

Pupuk kandang merupakan pupuk yang berasal dari kotoran hewan baik dalam bentuk segar atau sudah dikomposkan berupa padat atau cair. Pupuk kandang bersifat bulky dengan kandungan hara makro dan mikro rendah sehingga sebagai pupuk diperlukan dalam jumlah banyak. Keuntungan utama penggunaan pukan selain sebagai sumber hara tanaman adalah dapat memperbaiki kesuburan tanah baik sifat kimia, fisik, dan biologi tanah. Selain mengandung hara bermanfaat, pukan juga mengandung bakteri saprolitik, pembawa penyakit, dan parasit mikroba dan pembawa biji-biji gulma (Hartatik dan Widowati, 2006).

3) Pupuk kompos

Kompos merupakan bahan organik, seperti daun-daunan, jerami, alang-alang, rumput-rumputan, dedak padi, batang jagung, sulur, carang-carang serta kotoran

hewan yang telah mengalami proses dekomposisi oleh mikroba pengurai, sehingga dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah. Kompos mengandung hara-hara mineral yang esensial bagi tanaman.

Sisa tanaman, hewan, atau kotoran hewan, juga sisa jutaan makhluk kecil yang berupa bakteri jamur, ganggang, hewan satu sel, maupun banyak sel merupakan sumber bahan organik yang sangat potensial bagi tanah, karena perannya yang sangat penting terhadap perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah, namun bila sisa hasil tanaman tidak dikelola dengan baik maka akan berdampak negatif terhadap lingkungan, seperti mengakibatkan rendahnya keberhasilan pertumbuhan benih karena imobilisasi hara, allelopati, atau sebagai tempat berkembangbiaknya patogen tanaman (Setyorini et al. 2006).

Bahan-bahan ini menjadi lapuk dan busuk bila berada dalam keadaan basah dan lembap, seperti halnya daun-daun menjadi lapuk bila jatuh ke tanah dan menyatu dengan tanah. Selama proses perubahan dan peruraian bahan organik, unsur hara akan bebas menjadi bentuk yang larut dan dapat diserap tanaman. Sebelum mengalami proses perubahan, sisa hewan dan tumbuhan ini tidak berguna bagi tanaman, karena unsur hara masih dalam bentuk terikat yang tidak dapat diserap oleh tanaman.

Di lingkungan alam terbuka, proses pengomposan bisa terjadi dengan sendirinya. Lewat proses alami, rumput, daun-daunan dan kotoran hewan serta sampah lainnya lama kelamaan membusuk karena adanya kerja sama antara mikroba dengan cuaca. Proses tersebut bisa dipercepat oleh perlakuan manusia, yaitu dengan menambahkan mikroba pengurai sehingga dalam waktu singkat akan diperoleh kompos yang berkualitas baik (Setyorini et al. 2006).

Penggunaan kompos sebagai bahan pembenah tanah (*soil conditioner*) dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah sehingga mempertahankan dan menambah kesuburan tanah pertanian. Karakteristik umum dimiliki kompos antara lain: (1) mengandung unsur hara dalam jenis dan jumlah bervariasi tergantung bahan asal; (2) menyediakan unsur hara secara lambat (*slow release*) dan dalam jumlah terbatas; dan (3) mempunyai fungsi utama memperbaiki kesuburan dan kesehatan tanah (Setyorini et al. 2006).

Bahan organik tidak dapat digunakan secara langsung oleh tanaman karena perbandingan kandungan C/N dalam bahan tersebut tidak sesuai dengan C/N tanah. Rasio C/N merupakan perbandingan antara karbohidrat (C) dan nitrogen (N). Rasio C/N tanah berkisar antara 10-12. Apabila bahan organik mempunyai rasio C/N mendekati atau sama dengan rasio C/N tanah, maka bahan tersebut dapat digunakan tanaman. Namun pada umumnya bahan organik segar mempunyai rasio C/N tinggi (jerami 50-70; dedaunan tanaman 50-60; kayu-kayuan >400; dan lain-lain). Prinsip pengomposan adalah untuk menurunkan rasio C/N bahan organik hingga sama dengan C/N tanah (<20). Semakin tinggi rasio C/N bahan organik maka proses pengomposan atau perombakan bahan semakin lama. Waktu yang dibutuhkan bervariasi dari satu bulan hingga beberapa tahun tergantung bahan dasar (Setyorini et al. 2006).

Di lingkungan alam terbuka, kompos bisa terjadi dengan sendirinya. Proses pembusukan terjadi secara alami namun tidak dalam waktu yang singkat, melainkan secara bertahap. Lewat proses alami, rumput, daundaunan, dan kotoran hewan serta sampah lainnya lama kelamaan membusuk karena kerja sama antara mikroba dengan cuaca. Lamanya proses pembusukan tersebut lebih kurang sekitar 5 minggu hingga 2 bulan.

Namun jika kita ingin waktu yang lebih singkat, 2 minggu, proses tersebut dapat dipercepat dengan menggunakan bioaktivator perombak bahan organik, seperti *Trichoderma* sp. Kompos merupakan sumber bahan organik dan nutrisi tanaman. Kemungkinan bahan dasar kompos mengandung selulosa 15-40%, bahan mineral (abu) 3-5%, selain itu terdapat bahan larut air panas dan dingin (gula, pati, asam amino, urea, dan garam amonium) sebanyak 2-30%, dan 1-15% lemak larut eter dan alkohol, minyak dan lilin.

Komponen organik ini mengalami proses dekomposisi di bawah kondisi mesofilik dan termofilik. Pengomposan dengan metode timbunan di permukaan tanah, lubang galian tanah, sistem *indore* menghasilkan bahan yang terhumifikasi berwarna gelap setelah 3-4 bulan dan merupakan sumber bahan organik untuk pertanian berkelanjutan (Setyorini et al. 2006). Hasil kompos terbaik mempunyai pH mendekati netral atau sedikit ke arah alkali.

Untuk mencapai nilai pH netral, untuk bahan kompos yang sifatnya masam perlu ditambahkan kapur pada saat proses pengomposan. Bahan kapur yang biasa digunakan adalah kapur pertanian (kaptan), dolomit, dan kalsium karbonat. Selain itu, limbah atau hasil samping industri berupa ampas bijih atau terak dapat pula digunakan sebagai bahan pengapuran kompos (Setyorini et al. 2006).

4) Pupuk hijau

Jenis pupuk organik tertua yang digunakan pada budi daya pertanian adalah pupuk hijau, yaitu pupuk organik yang berasal dari tanaman/tumbuhan atau berupa sisa panen. Bahan dari tanaman ini dapat ditanamkan pada waktu masih hijau atau segera setelah dikomposkan (FFTC, 1995). Tujuan pemberian pupuk hijau adalah untuk meningkatkan kandungan bahan organik dan unsur hara dalam tanah, sehingga terjadi perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah, yang akhirnya berdampak pada peningkatan produktivitas tanah dan ketahanan tanah terhadap erosi (Rachman et al. 2006).

Jenis tanaman/tumbuhan yang dijadikan sumber pupuk hijau diutamakan dari jenis legum, karena tanaman ini mempunyai kandungan hara (utamanya nitrogen) yang relatif tinggi dibanding jenis tanaman lainnya. Namun demikian, sesungguhnya dari jenis nonlegum pun misalnya sisa tanaman jagung, ubi-ubian, jerami padi, dan lain-lain, dapat juga dimanfaatkan sebagai sumber pupuk hijau, karena meskipun kandungan nitrogennya relatif rendah, namun beberapa unsur lainnya seperti kalium relatif tinggi.

Alasan lain dipilihnya jenis legum sebagai pupuk hijau adalah karena tanaman atau sisa tanaman dari jenis legum relatif lebih mudah terdekomposisi, sehingga penyediaan haranya menjadi lebih cepat. Tanaman atau sisa tanaman dari jenis nonlegum sebaiknya dikomposkan terlebih dahulu bila akan digunakan sebagai pupuk organik, atau sering pula dimanfaatkan sebagai bahan mulsa (dimulsakan). Tanaman penambat N seperti *Sesbania rostrata*, *Aeshynomene*, dan *Azolla pinata* dapat juga digunakan sebagai pupuk hijau (Rachman et al. 2006).

Beberapa kriteria penting yang harus dipenuhi jika bahan-bahan tersebut akan digunakan sebagai pupuk organik yaitu: kandungan bahan kering, kandungan humus total dan yang mudah dimineralisasi, kandungan N yang dapat

dimanfaatkan secara cepat (*quick-acting*), C/N rasio, tingkat kandungan bahan-bahan berbahaya bagi pertumbuhan, kualitas hasil tanaman terutama unsur-unsur logam berat harus di bawah ambang batas yang sudah ditentukan), dan tidak mengandung senyawa yang bersifat allelopati terhadap tanaman utama (Rachman et al. 2006).

Tanaman pupuk hijau yang akan ditanam hendaknya dipilih tanaman yang sesuai (*adapted*) dengan kondisi lokal, mudah ditanam, tumbuh cepat, hasil tinggi, kaya kandungan unsur hara, dan tidak mempunyai pengaruh negatif terhadap tanaman pokok. Lebih disenangi jika tanaman pupuk hijau yang ditanam dapat menghasilkan biji dengan mudah sehingga petani dapat dengan mudah mengadakan benih sendiri. Petani juga lebih menyukai bila tanaman pupuk hijau yang ditanam dapat menghasilkan produk yang dapat dikonsumsi. Misalnya petani di Jawa Tengah relatif menyukai tanaman mukuna (benguk), karena bijinya dapat diolah menjadi bahan makanan misalnya tempe (Rachman et al. 2006).

Aplikasi pupuk hijau sangat ditentukan oleh tujuan utama dari pemberian pupuk hijau tersebut dan bahan atau sisa tanaman yang digunakan. Bila tujuan utama dari pemberian pupuk hijau adalah untuk penambahan dan penyediaan hara secara relatif cepat, maka lebih baik pemberian pupuk hijau dilakukan dengan cara dicampur atau ditanamkan. Takaran pemberian pupuk hijau perlu dipertimbangkan baik kandungan hara yang diharapkan tersedia bagi tanaman dan keperluan untuk mengurangi kehilangan unsur hara atau pengaruh-pengaruh yang merugikan.

Hara yang terkandung dalam pupuk hijau tidak seluruhnya tersedia untuk tanaman secara sekaligus. Jumlah minimum yang diperlukan untuk mempertahankan aktivitas kehidupan dalam tanah adalah sekitar 3-5 ton/ha. Pada lahan tanaman sereal yang berproduksi tinggi pelapukan jerami dalam jumlah banyak perlu dibantu dengan pemberian nitrogen sekitar 1 kg N/ha jerami (Rachman et al. 2006).

5) Pupuk cair

Pupuk organik cair merupakan salah satu jenis pupuk yang banyak beredar di pasaran. Pupuk organik cair kebanyakan diaplikasikan melalui daun atau disebut

sebagai pupuk cair Foliar yang mengandung hara makro dan mikro esensial (N, P, K, S, Ca, Mg, B, Mo, Cu, Fe, Mn dan bahan organik). Pupuk organik cair selain dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah, juga membantu meningkatkan produksi tanaman, meningkatkan kualitas produk tanaman, mengurangi penggunaan pupuk anorganik dan sebagai alternatif pengganti pupuk kandang (Yuanita, 2010).

Menurut Hadisuwito (2007: 13) pupuk organik cair adalah larutan yang berasal dari hasil pembusukan bahan-bahan organik yang berasal dari sisa tanaman, kotoran hewan, dan manusia yang kandungan unsur haranya lebih dari satu unsur. Kelebihan dari pupuk organik cair adalah secara cepat mengatasi defisiensi hara, tidak bermasalah dalam pencucian hara, dan mampu menyediakan hara yang cepat

Berdasarkan dari segi fisiknya pupuk cair memang lebih bau dibandingkan pupuk kandang padat, namun, pupuk cair memiliki berbagai keunggulan. Pupuk cair mengandung unsur-unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan, perkembangan, dan kesehatan tanaman. Unsur-unsur itu terdiri dari nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Nitrogen digunakan untuk pertumbuhan tunas dan batang dan daun. fosfor (P) digunakan untuk merangsang pertumbuhan akar, buah dan biji. Sementara kalium (K) digunakan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit (Aldhita, 2013).

Pemberian pupuk organik cair (POC) harus memperhatikan konsentrasi atau dosis yang diaplikasikan terhadap tanaman. Berdasarkan beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk organik cair melalui daun memberikan pertumbuhan dan hasil tanaman yang lebih baik daripada pemberian melalui tanah. Semakin tinggi dosis pupuk yang diberikan maka kandungan unsur hara yang diterima oleh tanaman akan semakin tinggi, begitu pula dengan semakin seringnya frekuensi aplikasi pupuk daun yang dilakukan pada tanaman, maka kandungan unsur hara juga semakin tinggi. Namun, pemberian dengan dosis yang berlebihan justru akan mengakibatkan timbulnya gejala kelayuan pada tanaman. Oleh karena itu, pemilihan dosis yang tepat perlu diketahui oleh para peneliti maupun petani dan hal ini dapat diperoleh melalui pengujian-pengujian di lapangan (Abdul dan Jumiati, 2007).

Menurut Said (2014), yang menyatakan bahwa urin ternak sebagai salah satu contoh limbah yang setidaknya harus mengalami berbagai proses pengolahan yaitu sebagai berikut:

- a) Pengolahan limbah secara fisik, disebut juga pengolahan secara primer (*primary treatment*). Proses ini merupakan proses termurah dan termudah karena tidak memerlukan biaya operasi yang tinggi. Metode ini hanya digunakan untuk memisahkan partikel-partikel padat didalam limbah, beberapa kegiatan yang termasuk dalam pengolahan secara fisik yaitu floatasi, sedimentasi dan filtrasi
- b) Pengolahan limbah cair secara kimia, disebut juga pengolahan secara sekunder yang biasanya relative lebih mahal dibandingkan dengan proses pengolahan secara fisik.
- c) Pengolahan limbah secara biologis merupakan tahap akhir dari pengolahan bahan organik yang terkandung dalam bahan organik cair. Limbah yang mengandung bahan organik saja dan tidak mengandung bahan kimia yang berbahaya, dapat langsung digunakan atau didahului dengan pengolahan secara fisik.

Dalam pembuatan pupuk organik cair dilakukan fermentasi selama 14 hari dengan penambahan urin sebagai fermentator. Fermentasi merupakan bahan organik yang dihancurkan oleh mikroba dalam kisaran temperature dan kondisi tertentu. Fermentasi bertujuan untuk memecah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selama proses fermentasi terjadi proses fiksasi N dari udara oleh mikroba yang ada didalam urin sapi (Indriani, 2003).

Ciri fisik pupuk organik cair yang telah matang dengan sempurna adalah berwarna kuning kecoklatan dan berbau bahan pembentuknya sudah membusuk serta adanya bercak-bercak putih (semakin banyak semakin bagus). Kisaran pH yang baik untuk pupuk organik adalah sekitar 6,5 – 7,5 (netral). Biasanya pH agak turun pada awal proses pengomposan karena aktivitas bakteri yang menghasilkan asam, dengan munculnya mikroba lain bahan yang di dekomposisikan, maka pH bahan akan naik setelah beberapa hari dan kemudian berada pada kondisi netral (Indriani, 2003).

c. Peranan Pupuk Organik

Peranan bahan organik terhadap tanah

Peranan pupuk organik sangat bermanfaat bagi peningkatan produksi pertanian baik kualitas maupun kuantitas, mengurangi pencemaran lingkungan, dan meningkatkan kualitas lahan secara berkesinambungan. Penggunaan pupuk organik dalam jangka panjang dapat meningkatkan produktivitas lahan dan dapat mencegah degradasi lahan. Sumber bahan untuk pupuk organik sangat beranekaragam, dengan karakteristik fisik dan kandungan kimia/hara yang sangat beragam sehingga pengaruh dari penggunaan pupuk organik terhadap lahan dan tanaman dapat bervariasi. Bahan organik mempunyai peranan sangat penting dalam meningkatkan kesuburan tanah, baik terhadap pertumbuhan maupun hasil tanaman.

Bahan organik tanah merupakan sumber nitrogen tanah yang utama dan berperan cukup besar dalam proses perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Bahan organik berupa sisa tanaman yang ditambahkan kedalam tanah akan mengalami beberapa kali fase perombakan oleh organisme untuk menjadi humus atau bahan organik tanah. Semua aktivitas biokimia tersebut tergantung atau berhubungan dengan adanya enzim. Karena bahan organik yang digunakan sebagai sumber energi oleh jasad renik begitu kompleks dan macam-macam jenisnya, maka di dalam tanah terdapat berbagai jenis enzim dan tiap tanah mempunyai enzim-enzim yang spesifik dengan pola khusus. Seperti diketahui populasi dan jenis jasad renik, aktivitas enzimatik tidak stabil, tergantung keadaan biotik dan non biotik dalam tanah. Perubahan yang besar akan terjadi pada macam dan jumlah enzim dalam tanah bila terjadi pengalihan fungsi atau penggunaan tanah.

Bahan organik dan liat merupakan komponen utama dalam pembentukan agregat yang dikenal sebagai bentuk kompleks liat-organik. Diperkirakan bahwa 51,6-97,8% dari jumlah karbon dalam tanah merupakan bentuk kompleks liat-organik (Suriadikarta et al., 2002) pada tanah berpasir dalam pembentukan dan pematangan agregat lebih besar daripada liat sendiri. Namun demikian telah

lama diketahui bahwa bahan organik merupakan pengikat butiran primer tanah dalam pembentukan agregat yang mantap.

Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap dinamika agregat dan status bahan organik adalah perubahan penggunaan lahan, pengolahan tanah dan pengelolaan tanah dan tanaman. Pengelolaan tanah dan tanaman mempercepat oksidasi bahan organik karena hancurnya agregat tanah, sehingga memperluas permukaan koloid yang dapat diserang oleh mikroba dan akhirnya berpengaruh pada meningkatnya nilai redoks tanah. Kecepatan perubahan kadar bahan organik tanah akibat pengelolaan tanah dan tanaman sangat dipengaruhi kadar bahan organik awal.

Kandungan bahan organik dalam tanah yang rendah mengakibatkan kekurangan daya sangga dan efisiensi penggunaan pupuk dan berkurangnya sebagian hara dari lingkungan perakaran (Adiningsih et al., 1995). Dalam hubungannya dengan sifat fisik tanah, bahan organik berupa pupuk kandang dan kompos dapat berperan dalam pembentukan agregat yang mantap karena dapat mengikat butiran primer menjadi butiran sekunder. Hal ini terjadi karena pemberian pupuk organik menyebabkan adanya gum polisakarida yang dihasilkan bakteri tanah dan adanya pertumbuhan hifa serta fungi dari aktinomisetes di sekitar partikel tanah. Perbaikan kemantapan agregat tanah meningkatkan porositas tanah, dan mempermudah penyerapan air ke dalam tanah, sehingga meningkatkan daya simpan air tanah.

Pupuk organik memiliki fungsi kimia dalam tanah seperti (1) penyediaan hara makro (N, P, K, Ca, Mg, dan S) dan mikro (Zn, Cu, Mo, Co, B, Mn, dan Fe) meskipun jumlahnya sedikit (2) meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah; dan (3) membentuk senyawa kompleks dengan ion logam beracun (Al, Fe, Mn). Pupuk organik tanah juga berperan dalam memperbaiki sifat biologi tanah yaitu sebagai sumber energi dan makanan bagi mikroba tanah. Mikroba tanah memperoleh energi dari proses perombakan bahan yang mengandung karbon.

Dengan adanya sumber energi yang cukup, maka mikroba tanah akan mampu beraktivitas dengan optimum, yang antara lain menghasilkan peningkatan

ketersediaan kadar hara bagi tanaman. Pupuk organik selain dapat memberikan hara yang tidak terdapat dalam pupuk pabrik, seperti unsur hara mikro, juga sangat bermanfaat untuk perbaikan dan pemeliharaan sifat fisik dan biologi tanah. Lahan kering akan mampu menyediakan air dan udara yang cukup bagi tanaman, bila struktur tanahnya baik. Perbaikan struktur tanah juga mendukung peningkatan efisiensi pemupukan, karena akar tanaman dapat berkembang dengan baik, sehingga penyerapan hara menjadi maksimal.

d. Manfaat Pupuk Organik terhadap Tanaman

Menurut Yuanita (2010), yang menyatakan bahwa pupuk organik cair mempunyai beberapa manfaat diantaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Dapat mendorong dan meningkatkan pembentukan klorofil daun dan pembentukan bintil akar pada tanaman leguminosae sehingga meningkatkan kemampuan fotosintesis tanaman dan penyerapan nitrogen dari udara.
- 2) Dapat meningkatkan vigor tanaman sehingga tanaman menjadi kokoh dan kuat, meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kekeringan, cekaman cuaca dan serangan patogen penyebab penyakit.
- 3) Merangsang pertumbuhan cabang produksi.
- 4) Meningkatkan pembentukan bunga dan bakal buah.
- 5) Mengurangi gugurnya daun, bunga dan bakal buah.

3. Rangkuman

Pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan dan/atau bagian hewan dan/atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dapat diperkaya dengan bahan mineral dan/atau mikroba, yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah. Sumber bahan organik dapat berupa kompos, pupuk hijau, pupuk kandang, sisa panen (jerami, brangkas, tongkol jagung, bagas tebu, dan sabut kelapa), limbah ternak, limbah industri yang menggunakan bahan pertanian, dan limbah kota.

Dilihat dari segi bentuk, terdapat pupuk organik cair dan padat. Sedangkan dilihat dari bahan penyusunnya terdapat pupuk hijau, pupuk kandang dan pupuk kompos. Pupuk kandang merupakan pupuk yang berasal dari kotoran hewan baik dalam bentuk segar atau sudah dikomposkan berupa padat atau cair. Kompos merupakan bahan organik, seperti daun-daunan, jerami, alang-alang, rumput-rumputan, dedak padi, batang jagung, sulur, carang-carang serta kotoran hewan yang telah mengalami proses dekomposisi oleh mikroba pengurai.

Pupuk hijau yaitu pupuk organik yang berasal dari tanaman/tumbuhan atau berupa sisa panen. pupuk organik cair adalah larutan yang berasal dari hasil pembusukan bahan-bahan organik yang berasal dari sisa tanaman, kotoran hewan, dan manusia yang kandungan unsur haranya lebih dari satu unsur. Peranan pupuk organik sangat bermanfaat bagi peningkatan produksi pertanian baik kualitas maupun kuantitas, mengurangi pencemaran lingkungan, dan meningkatkan kualitas lahan secara berkesinambungan.

4. Soal Latihan

- a. Jelaskan yang utama membedakan pupuk organik dengan anorganik
- b. Sebutkan dan jelaskan sumber-sumber bahan organik
- c. Bagaimana aplikasi pupuk kandang pada lahan kering? Jelaskan
- d. Jelaskan karakteristik umum kompos

5. Kunci Jawaban

- a. Pupuk organik lebih ditujukan kepada kandungan C-organik atau bahan organik daripada kadar haranya; nilai C-organik itulah yang menjadi pembeda dengan pupuk anorganik. Bila C-organik rendah dan tidak masuk dalam ketentuan pupuk organik maka diklasifikasikan sebagai pembenah tanah organik.
- b. Sumber bahan organik dapat berupa kompos, pupuk hijau, pupuk kandang, sisa panen (jerami, brangkasan, tongkol jagung, bagas tebu, dan sabut kelapa), limbah ternak, limbah industri yang menggunakan bahan pertanian, dan limbah kota. Kompos merupakan produk pembusukan dari limbah tanaman dan hewan hasil perombakan oleh fungi, aktinomiset, dan cacing

tanah. Pupuk hijau merupakan keseluruhan tanaman hijau maupun hanya bagian dari tanaman seperti sisa batang dan tunggul akar setelah bagian atas tanaman yang hijau digunakan sebagai pakan ternak. Sebagai contoh pupuk hijau ini adalah sisa-sisa tanaman, kacang-kacangan, dan tanaman paku air Azolla. Pupuk kandang merupakan kotoran ternak. Limbah ternak merupakan limbah dari rumah potong berupa tulang-tulang, darah, dan sebagainya. Limbah industri yang menggunakan bahan pertanian merupakan limbah berasal dari limbah pabrik gula, limbah pengolahan kelapa sawit, penggilingan padi, limbah bumbu masak, dan sebagainya.

- c. Pada lahan kering, pukan dapat diaplikasikan dengan beberapa cara yaitu disebar di permukaan tanah kemudian dicampur pada saat pengolahan tanah, dalam larikan, dan dalam lubang-lubang tanam. Metode aplikasi berkaitan dengan jenis tanaman yang akan ditanam. Selain itu jumlah pukan yang diberikanpun jumlahnya sangat berbeda. Seperti pemberian pukan pada tanaman sayuran mencapai 20-30 ton/ha, sedangkan tanaman pangan lahan kering seperti jagung, kedelai, padi gogo dan lain-lain sejumlah 1-2 ton/ha.
- d. Karakteristik umum dimiliki kompos antara lain: (1) mengandung unsur hara dalam jenis dan jumlah bervariasi tergantung bahan asal; (2) menyediakan unsur hara secara lambat (slow release) dan dalam jumlah terbatas; dan (3) mempunyai fungsi utama memperbaiki kesuburan dan kesehatan tanah.

6. Sumber Informasi dan Referensi

- Abdul, R, Jumiaty. 2007. Pengaruh Konsentrasi dan waktu Penyemprotan Pupuk Organik Cair super Aci Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jagung Manis. Fakultas Pertanian Universitas Udayana, Denpasar.
- Adiningsih SJ., IGP Wigena, S Rochayati, W Hartatik dan S Desire. 1995. Penelitian efisiensi pemupukan di Kuamang Kuning Jambi. Dalam Penelitian Pola Usahatani Terpadu di Daerah Transmigrasi Jambi, Pusat Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian. hlm. 41-72.
- Aldhita, T, R. 2013. Persepsi Petani Peternak terhadap Penggunaan Pupuk Organik Cair dari Urin Sapi Potong di Desa Pattallasang Kecamatan Sinjai Timur

- Kabupaten Sinjai [skripsi]. Jurusan Sosial Ekonomi Peternakan Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin, Makassar.
- FFTC. 1995. Soil Conservation Handbook. English Edition. Prepared by the Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region. Taipei, Taiwan. ROC.
- Hadisuwito, S. 2007. Membuat Pupuk Kompos cair. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta. 51 hlm.
- Hartatik dan Widowati. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor
- Rachman A, Dariah A, dan Santoso J. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor.
- Said, I, M. 2014. By product Ternak. IPB Press, Bogor.
- Setyorini D, Saraswati R, Anwar EK. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor.
- Suriadikarta, D.A. dan I P.G. Widjaja- Adhi. 1986. Pengaruh residu pupuk fosfat, kapur dan bahan organik terhadap kesuburan tanah dan hasil kedelai pada Ultisol Rangkasbitung. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 6: 15-19.
- Suriadikarta dan Simanungkalit. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor.
- Suriadikarta DA, T Prihatini, D Setyorini, dan W Hartatik. 2002. Teknologi Pengelolaan Bahan Organik
- Sutanto, R. 2002. Penerapan Pertanian Organik. Kanisius. Yogyakarta. 232 hlm.
- Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian. 183-238
- Tan, K.H. 1993. Environmental Soil Science. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Yuanita, D. 2010. Cara Pembuatan Pupuk Organik Cair. <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pengabdian/dewi-yuanita-lestari-ssi-msc/carapembuatan-pupuk-organik-cair.pdf>. diakses 2 Oktober 2016.

C. Penilaian

1. Sikap : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi
2. Pengetahuan : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
3. Keterampilan : kemampuan membuat pupuk organik yang bermutu

Kegiatan Pembelajaran 5:

5. DEFINISI, KLASIFIKASI DAN PERANAN MIKROBA AGENSIA HAYATI

A. Deskripsi

Bab ini menjelaskan pengertian tentang mikroba agensia hayati, contoh-contoh pengendali hayati dan mekanismenya, klasifikasi mikroba agensia hayati, cara kerja bakteri endofit, aktinobakteri endofit, cendawan endofit, cendawan entomopatogen, dan peranan agensia hayati terhadap tanaman.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Mahasiswa diharapkan memahami dan mampu menjelaskan mikroba agensia hayati dan contoh-contohnya, mampu menganalisis klasifikasi mikroba agensia hayati dan peranannya terhadap tanaman, dan mampu menjelaskan cara kerja bakteri endofit, aktinobakteri endofit, cendawan endofit, dan cendawan entomopatogen.

2. Uraian Materi

a. Definisi Agensia Hayati

Agensia hayati adalah organisme yang dapat berkembang biak sendiri seperti parasitoid, predator, parasit, artropoda pemakan tumbuhan, dan patogen. Definisi terakhir mempunyai pengertian bahwa agensia hayati tidak hanya digunakan untuk mengendalikan OPT, tetapi juga mencakup pengertian penggunaannya untuk mengendalikan jasad pengganggu pada proses produksi

dan pengolahan hasil pertanian. Pengendalian hayati merupakan perlindungan pada tanaman dari patogen tanaman termasuk mikroba antagonis pada saat setelah atau sebelum terjadinya infeksi patogen. Mekanisme biokontrol organisme yaitu dalam melemahkan atau membunuh patogen tanaman dengan perlawanan yaitu memparasit patogen secara langsung, memproduksi antibiotik (toksin), dan kemampuannya dalam kompetisi ruang dan nutrisi, produksi enzim untuk melawan komponen sel patogen, menginduksi respon ketahanan tanaman, dan produksi metabolisme tanaman dalam menstimulasi perkecambahan spora patogen.

Pengendalian hayati dapat dilakukan dengan beberapa cara misalnya dengan manipulasi lingkungan, introduksi agen antagonis, introduksi patogen avirulen alami serta mikroba endofit untuk menginduksi sistem ketahanan tanaman inang. Pemanfaatan mikroba endofit menjadi salah strategi satu pengendalian yang ramah lingkungan. Keberhasilan pengembangan agensia hayati untuk pengendalian patogen tanaman adalah ketepatan dalam pemilihan jenis dan sumber agensia hayati yang akan dikembangkan.

Pada umumnya jenis agensia hayati yang dikembangkan adalah mikroba alami, baik yang hidup sebagai saprofit di dalam tanah, air dan bahan organik, maupun yang hidup di dalam jaringan tanaman (endofit) yang bersifat menghambat pertumbuhan dan berkompetisi dalam ruang dan nutrisi dengan patogen sasaran, atau bersifat menginduksi ketahanan tanaman. Tahap pertama dalam pengembangan agensia hayati adalah seleksi agensia hayati nonpatogen. Seleksi dilakukan dengan mengisolasi calon agensia hayati dari populasi alaminya, seperti kelompok mikroba saprofit atau non patogen dari tanah atau dari bagian tanaman.

Sejumlah bakteri telah dilaporkan efektif sebagai agens hayati pengendali hama dan penyakit tanaman di antaranya ialah dari genus-genus *Bacillus*, *Bdellovibrio*, *Dactylella*, *Gliocladium*, *Penicillium*, *Pseudomonas*, dan *Trichoderma* (Fravel 1988). Zuraidah (2012) melaporkan bahwa bakteri *P. aeruginosa* dan *B. cereus* memiliki potensi yang baik dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen tanaman padi *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo). *Bacillus* sp. dapat digunakan

sebagai agen hayati pengendali penyakit tanaman yang aman dan lebih efektif daripada penggunaan bahan kimia (Kim et al. 2009). *Bacillus* merupakan bakteri Gram positif penghasil endospora sehingga tahan pada kondisi kering dan panas. *Bacillus* cocok untuk aplikasi di lapangan sebagai pengendali hayati tanaman (Mubarik et al. 2010). *Pseudomonas* dan *Serratia* termasuk bakteri Gram negatif yang dapat tumbuh pada kondisi nutrisi sederhana dan mudah berkolonisasi di rhizosfer (*Pseudomonas*) dan filosfer (*Serratia*) tanaman padi. Bahan pembawa formulasi yang banyak digunakan dalam pengendali hayati antara lain bentuk padat (granul), tepung, dan suspensi (Ardakani et al. 2009; Riana 2011; Syachroni 2011).

Menurut Nurhayati (2011), beberapa agensia pengendali hayati tanaman pada Tabel 8 sebagai berikut:

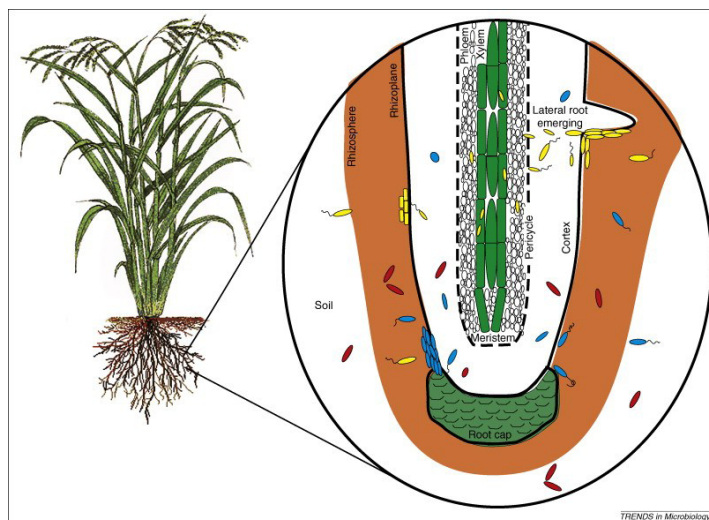
Tabel 8. Mekanisme pengendalian hayati oleh jamur dan bakteri

Agensia hayati	Nama ilmiah	Mekanisme pengendalian
Jamur	<i>Trichoderma viride</i> , <i>T. harzianum</i> , <i>T. koningii</i> , <i>T. hamatum</i> , <i>T. Pseudokoningii</i>	Mikoparasit, pesaing, antibiotik dan enzimatis
	<i>Penicillium</i> sp, <i>Peniophora gigantea</i>	Pesaing dan antibiosis
	<i>Phytium oligandrum</i> , <i>Sporodermium sclerotivorum</i> , <i>Gliocladium virens</i>	Mikoparasit
	<i>Laccaria laccata</i> , <i>Lactarius</i> sp	
	<i>Fusarium solani</i> , <i>F. Oxysporum</i>	Pesaing, proteksi silang dengan jenis <i>Fusarium</i> yang tidak virulen
	<i>Ampelomyces quisqualis</i>	Mikoparasit
Bakteri	<i>Bacillus cereus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>Erwinia herbicola</i>	Antibiosis
	<i>Pseudomonas</i> sp, <i>Streptomyces praecox</i> , <i>S. Griseus</i>	Pesaing, Antibiosis dan kolonisasi

b. Jenis-jenis dan Peranan Agensia hayati

1) Bakteri endofit

Bakteri Endofit Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit pada tanaman tersebut dan dapat diisolasi dari jaringan tanaman yang sudah disteilisasi permukaannya atau diekstrak dari jaringan tanaman bagian dalam. Bakteri endofit yang mengkolonisasi jaringan tanaman memperoleh nutrisi dan perlindungan dari tanaman inangnya. Bakteri ini dapat hidup pada bagian tanaman seperti akar, batang, daun, dan buah (Bacon & Hinton 2006). Bakteri endofit gram positif dan gram negatif telah diisolasi dari beberapa jenis jaringan dalam berbagai jenis tumbuhan. Berikut Gambar 10 di bawah ini ilustrasi bakteri endofit di dalam akar tanaman.



Gambar 10. Ilustrasi bakteri endofit di dalam perakaran tanaman

(sumber: www.nrcs.usda.gov)

Populasi bakteri endofit melimpah dan beragam. Bakteri endofit masuk ke dalam jaringan tanaman terutama melalui zona akar, bagian tanaman, seperti bunga, batang, dan kotiledon. Bakteri endofit dapat bersifat obligat ataupun fakultatif dalam mengkolonisasi inangnya. Meskipun bakteri ini memiliki kisaran inang yang luas, namun ada beberapa bakteri endofit yang hanya dapat berasosiasi dengan

inang dari famili tertentu. Simbiosis antara tanaman dengan bakteri endofit bersifat netral, mutualisme, atau komensalisme (Bacon & Hinton 2006).

Simbiosis mutualisme antara endofit dan tanaman, dalam hal ini bakteri endofit mendapatkan nutrisi dari hasil metabolisme dari tanaman dalam melawan patogen, sedangkan tanaman mendapat derivat nutrisi dan senyawa aktif yang diperlukan selama hidupnya (Tanaka et al 1999 dalam Simarmata et al. 2007). Karena tumbuh dalam jaringan tanaman, dimana tanaman yang satu tentunya berbeda dengan tanaman lainnya, maka tempat hidup bakteri sangat unik sifatnya. Bahkan, fisiologi tumbuhan tinggi termasuk yang berasal dari spesies yang sama akan beda di lingkungan yang berbeda. Karena itu keanekaragaman bakteri endofit sangatlah tinggi.

Berdasarkan pertimbangan tersebut endofit dapat menjadi sumber berbagai metabolit sekunder baru yang berpotensi untuk dikembangkan dalam bidang medis, pertanian, dan industri. Bakteri endofit yang hidup di dalam jaringan tanaman yang tidak merugikan bagi tanaman tersebut dapat digunakan sebagai kandidat yang baik untuk pengendalian secara biologi bagi beberapa hama dan penyakit.

Bakteri endofit dapat berperan sebagai agensia pengendali hayati jika bakteri telah berasosiasi dengan tanaman sebelum patogen menyerang tanaman tersebut (Bacon & Hinton 2006). Banyak spesies dari bakteri endofit yang bersifat antagonis diantaranya: *Bacillus subtilis*, *Ralstonia solanacearum*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Agrobacterium radiobacter*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Erwinia herbicola*, dan *Serratia marcescens*. Berikut Gambar 11 menggambarkan wujud bakteri *Bacillus subtilis*.



Gambar 11. Contoh *Bacillus subtilis*

(sumber: <http://microbe-canvas.com>)

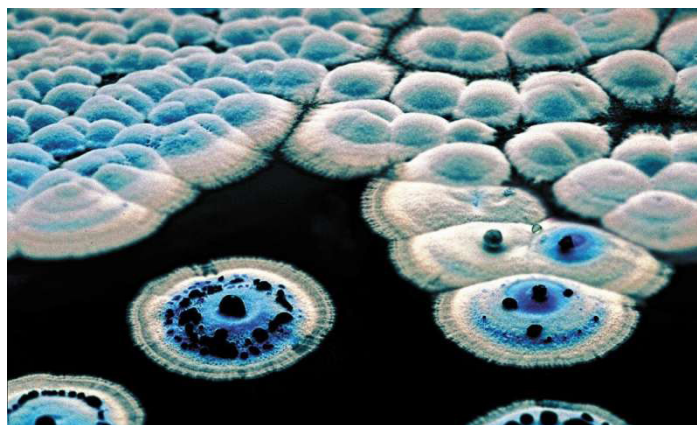
Cara kerja dari bakteri endofit sebagai agensia pengendali hayati diantaranya: memproduksi bahan campuran antimikroba, kompetisi ruang dan nutrisi; kompetisi mikronutrisi seperti zat besi dan produksi siderofor; serta dapat menyebabkan tanaman inang menjadi resisten (Bacon & Hinton 2006). Disamping itu beberapa bakteri endofit juga menghasilkan senyawa antibiotik seperti phenazines, pyrrolnitrin, pycocyanin, dan phloroglucianol dan enzim ekstraselluler serta asam pseudomonat. Keanekaragaman spesies bakteri endofit merefleksikan banyaknya cara kerja yang mungkin terjadi untuk melawan patogen, yang memungkinkan patogen memproduksi senyawa antibiotik untuk melawan bakteri endofit tersebut (Bacon & Hinton 2006).

Enzim ekstraselluler yang dihasilkan bakteri endofit diantaranya adalah kitinase, protease, dan selulase. Enzim kitinase merupakan enzim penting yang dihasilkan oleh bakteri antagonis untuk mengendalikan patogen tular tanah, karena enzim ini dapat mendegradasi dinding sel patogen yang terdiri dari kitin seperti dinding sel cendawan, nematoda, dan serangga. Enzim protease yang dihasilkan oleh bakteri selain berperan dalam mendegradasi dinding sel patogen, protease dapat digunakan oleh bakteri tersebut untuk melakukan penetrasi secara aktif ke dalam jaringan tanaman. Enzim selulase dan pektinase yang dihasilkan *Pseudomonas fluorescens* dapat digunakan oleh bakteri tersebut untuk mengkolonisasi daerah interselluler jaringan korteks akar, sehingga terjadi penghambatan invasi patogen.

Pseudomonas putida dapat menekan perkembangan penyakit tanaman dengan persaingan ruang dan nutrisi (unsur karbon), merangsang pertumbuhan tanaman dan menginduksi ketahanan tanaman. *Bacillus* sp. strain CHM1 dapat menghambat pertumbuhan miselium *Fusarium oxysporum* dan *Rhizoctonia solani* dalam uji in vitro. Satu agen biokontrol mungkin memiliki lebih dari satu mekanisme.

2) Aktinobakteri endofit

Aktinobakteri adalah bakteri berfilamen yang dapat menghasilkan beragam senyawa metabolit sekunder, Gram positif, 55% DNA nya terdiri atas guanin dan sitosin, dan digolongkan kedalam fillum aktinobakteri (Valan et al.2008). Aktinobakteri memiliki miselia seperti cendawan tetapi hifanya jauh lebih kecil, berukuran 10-25 μm dan diameter 0.5-1 μm (Madigan et al. 2006). Mayoritas siklus hidupnya dalam keadaan spora dorman (Mayfield et al. 1972) dan sporanya berantai seperti spiral atau heliks. Hifa aktinobakteri yang tumbuh cepat dan membentuk miselium aerial merupakan karakteristik yang dimiliki *Streptomyces*. *Streptomyces* merupakan genus terbesar aktinobakteri yaitu sekitar 77% dari total aktinobakteri. Berikut Gambar 12 adalah contoh koloni *Streptomyces*.



Gambar 12. Contoh koloni *Streptomyces*

(sumber: <https://phys.org>)

Streptomyces banyak dikembangkan untuk bidang kesehatan karena memiliki kemampuan dalam menghasilkan berbagai macam senyawa metabolit sekunder seperti antifungi, antivirus, antitumor, antihipersensitivitas, immunosupresan,

dan antibiotik (Procipio et al. 2012). Aktinobakteri yang tidak membentuk miselium aerial digolongkan ke dalam kelompok non *Streptomyces*, misalnya *Actinomadura*, *Actinoplanes*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Saccharopolyspora*, *Microbispora*, dan *Micromonospora* (Madigan et al. 2006). Aktinobakteri ini merupakan penghasil antibiotik terbesar diantara mikrob lainnya. Sebanyak 22.500 senyawa bioaktif dihasilkan oleh mikrob, 45% senyawa tersebut dihasilkan oleh aktinobakteri, 38% oleh fungi dan, 18% dihasilkan bakteri non aktinobakteri (Adhikari et al. 2001). Sekitar 10.000 jenis senyawa antibiotik yang telah ditemukan, 70-80% nya diisolasi dari aktinobakteri (Ganesan et al. 2016; Messaodi et al. 2015). Genus *Streptomyces* adalah genus terbesar sebagai produsen obat-obatan.

Menurut penelitian Lestari (2006) aktinobakteri dari tanah menghasilkan senyawa antibakteri yang mampu menghambat bakteri patogen *Bacillus subtilis* dan *Xanthomonas axonopodis*. *Streptomyces glaucescens* menghasilkan senyawa metabolit sekunder seperti acarbose yang berperan sebagai inhibitor enzim α -glukosidase, sehingga dapat menurunkan kadar gula darah (Rockser dan Wehemeier 2008). *Actinoplanes* sp. dari hasil penelitian Zhang et al. (2003) diketahui dapat menghasilkan inhibitor α -glukosidase yang digunakan untuk mengobati penyakit diabetes melitus tipe 2. *Streptomyces* sp. dari tanaman *Tinospora crispa* memiliki gen penyandi inhibitor α -glukosidase dan berpotensi sebagai antihiperglikemik (Pujiyanto et al. 2012).

Selain bidang kesehatan, aktinobakteri juga banyak berperan dalam bidang pertanian seperti menghasilkan siderofor, selulase, lipase, protease, kitinase, asam hidrosianik, asam indol asetat, 1.3 glukanase, dan meningkatkan nodulasi akar (Sreevidya et al. 2015). Menurut penelitian Hastuti et al. (2012) aktinobakteri endofit asal padi mampu menghambat bakteri patogen *Xanthomonas oryzae* penyebab penyakit hawar daun pada padi. Kemampuan aktinobakteri dalam memproduksi berbagai macam metabolit sekunder seperti antifungi dan antibakteri menjadikannya sebagai mikrob potensial yang berfungsi sebagai *Plant Growth Regulators* (PGRs), dan telah dikembangkan pada bidang pertanian (Suzuki et al. 2000; Ilic et al. 2007).

Streptomyces sp. yang merupakan aktinobakteri endofit dari padi dapat memproduksi hormon *indole acetic acid* dan mampu memfiksasi nitrogen sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan padi (Lestari et al. 2014). Aktinobakteri endofit yang diisolasi dari akar gandum seperti *Streptomyces* spp, *Micromonospora*, *Microbispora*, *Nocardioides*, *Actinomadura*, *Kitasatospora*, dan *Dactylosporangium*. *Streptomyces* spp. memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan cendawan patogen tanaman (Coombs dan Franco 2003).

3) Cendawan Endofit

Cendawan endofit merupakan simbiosis mutualis, yang hidup dalam jaringan tanaman. Endofit didefinisikan sebagai organisme yang hidup dalam periode waktu tertentu dan dalam siklus hidupnya mengkolonisasi jaringan hidup tanaman inangnya tanpa menimbulkan gejala apapun (Schulz dan Boyle 2005). Keragaman endofit selain ciri morfospesiesnya, dapat diketahui berdasarkan beberapa karakteristiknya.

Karakteristik cendawan endofit meliputi interaksi mutualistik dan sifat simbiosis antara inang dengan endofit, kemampuan endofit dalam menginduksi ketahanan pada inang, relatifitas dari infeksi utama dalam hubungannya dengan evolusi terkait asal cendawan endofit, kelimpahan, keragaman, atau komposisi cendawan endofit pada inang, mutualistik vertikal dan horizontal cendawan endofit, regulasi intrinsik cendawan endofit pada tanaman terkait hubungannya dengan kemampuan kompetisi, antagonisme, dan sifat interaksi lainnya (Arnold et al. 2003).

Asosiasi tanaman inang dengan beberapa cendawan endofit, mampu memberikan perlindungan bagi tanaman inang terhadap patogen virulen dan/ atau kondisi ekstrim lingkungan maupun hama (herbivora). Cendawan endofit juga dapat memacu pertumbuhan dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan suhu tinggi (Lehtonen et al. 2005), serta sebagai bioindikator kesehatan tanaman (Genarro et al. 2003). Peran protektif cendawan endofit pada tanaman rumput dapat meningkatkan ketahanan tanaman tersebut terhadap penyakit (Popay dan Bonos 2008).

Beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan adanya perlindungan inang terhadap serangan cendawan patogen (Clarke et al. 2006;. Tian et al. 2008). Cendawan endofit dapat bersifat komensalis (Gundel et al. 2012) atau bahkan membentuk simbiosis mutualis bagi inangnya (Krauss et al. 2007). Cendawan endofit mampu menghasilkan perubahan fisiologis dan ekologis tanaman, yang berdampak pada peningkatan vigor tanaman (Gundel et al. 2011; Uchitel et al. 2011). Cendawan endofit membantu tanaman dalam mengatasi stres abiotik dan biotik (Rasmussen et al. 2008; White dan Torres 2010).

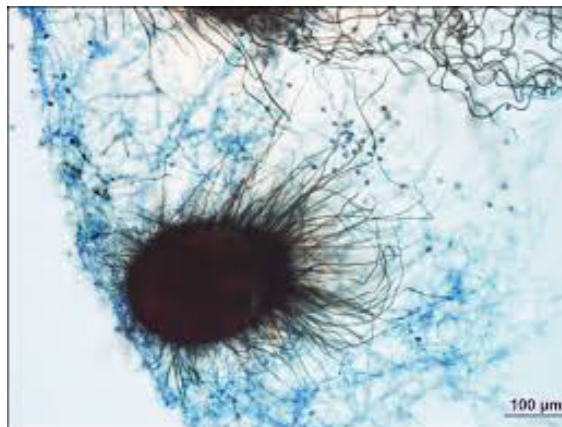
Pengendalian hayati didefinisikan sebagai pemanfaatan organisme hidup, hidup selain ketahanan genetik tanaman, untuk menekan aktivitas dan populasi satu atau lebih patogen tanaman, serta membantu dalam pembentukan ketahanan inang terhadap suatu penyakit (Cook dan Baker 1993). Beberapa cendawan dalam perannya di alam, hidup di dalam tanaman tanpa menimbulkan kerusakan jaringan atau gejala akibat adanya infeksi dari cendawan tersebut (Hyde dan Soyong 2008). Kohabitasi tanaman dan cendawan tersebut berkembang menjadi asosiasi mutualistik yang spesifik, asosiasi tersebut dapat menghasilkan keunggulan kompetitif.

Penelitian Saikkonen et al. (2010) menunjukkan bahwa beberapa spesies *Neotyphodium* dapat membantu tanaman dalam membangun ketahanan terhadap cendawan lainnya dan serangga, serta tanaman toleran terhadap kekeringan. Interaksi ini secara signifikan dapat mempengaruhi kesehatan tanaman dengan berbagai mekanisme. Mekanisme pengendalian dapat dipahami melalui cara interaksi organisme tersebut.

Organisme yang bersifat biotrof dan hidup dalam tanaman, secara langsung memanfaatkan fotosintat tanaman inang. Interaksi tersebut belum dapat diungkapkan dengan pasti, akan tetapi pada interaksi tertentu cendawan endofit berperan dalam efisiensi fotosintesis (Yan et al. 2013). Beberapa cendawan endofit mampu mengurangi infeksi patogen dalam pengendalian penyakit.

Dingle dan Mc Gee (2003) mengemukakan bahwa filtrat kultur *Chaetomium* dan *Phoma* sp. dapat mengaktifasi reaksi pertahanan aktif dari tanaman, sehingga mampu membatasi penyebaran dan replikasi *Puccinia recondite tritici*.

Cendawan endofit dapat menghasilkan senyawa metabolit yang berperan melindungi inang. Li et al. (2004) menunjukkan bahwa kultur cendawan endofit *Neotyphodium* sp. yang diisolasi dari rumput *Poa ampla* Merr. dapat membantu mengekskresikan enzim kitinase, yang berperan sebagai enzim hidrolitik dalam menyediakan nutrisi, pertumbuhan atau pertahanan bagi endofit. Kapang endofit *Monotospora* sp. yang berasal dari tanaman *Cynodon dactylon* mampu menghasilkan enzim lakase (Wang et al. 2006). Gambar 13 merupakan contoh cendawan *Chaetomium*.



Gambar 13. Contoh cendawan *Chaetomium*

(sumber: <https://www.inspq.qc.ca>)

Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh kapang endofit pun bervariasi dan memiliki aktivitas biologis yang bervariasi pula, sehingga pemanfaatan cendawan endofit atau pun senyawa metabolit yang dihasilkan banyak dimanfaatkan di bidang pertanian, industri, maupun farmasi (Tan dan Zou 2001; Zhang et al. 2006). Mejía et al. (2008) mengemukakan bahwa cendawan endofit yang diisolasi dari jaringan sehat *Theobroma cacao* dan diseleksi secara *in vitro* diketahui bersifat antagonis terhadap patogen utama kakao. Cendawan endofit umumnya pada kondisi alami dalam tanaman inang mampu mengkolonisasi inang dengan baik dan secara *in vitro* dapat tumbuh cepat serta memiliki kemampuan antibiosis yang relatif langka terjadi secara alami. Beberapa cendawan endofit secara *in vitro* juga cenderung tumbuh lambat, dan tidak mampu mengkolonisasi inang dengan baik.

Clay dan Schardl (2002) menyatakan bahwa hubungan antara dua cendawan dari famili yang sama menimbulkan efek yang berbeda pada tanaman *Lolium multiflorum*, yaitu endofit mutualistik (*Neotyphodium occultans*) dan patogenik (*Claviceps purpurea*). *Neotyphodium* merupakan cendawan endofit yang membentuk simbiosis sistemik dan tanpa gejala dengan rumput pada musim dingin. Infeksi alami berpengaruh dalam menghasilkan interaksi simbiotik atau pun nonsimbiotik dengan tanaman pada berbagai kondisi stres terhadap herbisida *N. occultans* secara signifikan mengurangi 70% dari infeksi yang ditimbulkan oleh *C. purpurea* (Pérez et al. 2013).

Penelitian Pérez et al. (2013) menunjukkan bahwa cendawan endofitik dapat menjadi simbiosis konstitutif yang bersifat sistemik dan dapat memediasi interaksi antara inang dengan patogen, pada tingkat stres tanaman terhadap lingkungan.

4) Cendawan entomopatogen

Cendawan merupakan organisme heterotrof, yaitu memperoleh nutrisi bahan organik yang berasal dari organisme hidup atau mati untuk pemenuhan kebutuhan hidup dan perkembangbiakannya. Pemanfaatan nutrisi tersebut oleh cendawandapat berlangsung secara saprob maupun parasit, dengan cara absorpsi molekul sederhana dan mengeluarkan enzim ekstrasel untuk mendegradasi molekul berukuran besar. Cendawan parasit bersifat merugikan karena dapat menimbulkan penyakit dan dapat mematikan inang yang diserangnya.

Cendawan yang memiliki sifat parasit di antaranya adalah cendawan entomopatogen. Cendawan entomopatogen merupakan cendawan parasit yang mampu menginfeksi serangga dengan cara masuk ke tubuh serangga inang melalui kulit, saluran pencernaan, dan spirakel (Herdatiarni et al. 2014). Cendawan entomopatogen di alam banyak ditemukan di tanah dengan keadaan lembap, serasah, pada bagian abaksial daun, dan pada daerah yang berbukit dekat aliran air mengalir (Luangsa-Ard et al. 2006).

Cendawan entomopatogen meskipun bersifat merugikan ternyata dapat dimanfaatkan sebagai agen hayati untuk pengendalian hama seperti beberapa jenis serangga, terutama ordo Coleoptera, Hemiptera, Homoptera,

dan Lepidoptera. Cendawan entomopatogen telah dimanfaatkan untuk mengendalikan hama tanaman perkebunan dan sayuran (Fausiah et al. 2011).

Beauveria bassiana banyak digunakan untuk mengendalikan hama, seperti kepik pengisap polong kedelai dan walang sangit (Prayogo 2006). Selain itu, cendawan entomopatogen *Verticillium lecanii* yang diisolasi dari *Leptocoriza acuta* telah diketahui potensinya untuk mengendalikan hama tanaman pangan Riptortus linearis dengan tingkat mortalitas sekitar 80% (Prayogo dan Tengkan 2002). Berikut Gambar 14 adalah contoh konidia cendawan entomopatogen dari *Verticillium* sp.



Gambar 14. Contoh konidia *Verticillium* sp

(sumber: <http://www.naro.affrc.go.jp>)

Luangsa-Ard et al. (2008) menyebutkan manfaat dari cendawan entomopatogen, yaitu sebagai antikanker, antivirus, antimikroba, dan mereduksi tingkat kolesterol untuk melindungi hati. Pemanfaatan lain dari cendawan entomopatogen dapat dimanfaatkan dalam bidang farmakologi, yaitu *Cordyceps sinensis* dan *C. militaris*, dengan cara mengambil metabolit sekunder yang dihasilkannya (Hywel-Jones 2002).

Faktor yang sangat menentukan dan berpengaruh dalam perkembangan cendawan entomopatogen, yaitu propagul cendawan entomopatogen, komponen makanan atau unsur nutrisi, dan lingkungan. Propagul cendawan entomopatogen dalam hal ini berkaitan dengan keefektifan proses infeksi

cendawan ke inang. Keefektifan proses infeksi tersebut bergantung pada virulensi patogen (cendawan), sifat resistensi inang, perubahan stadia nimfa (instar), dan kondisi lingkungan mikro di tubuh inang. Unsur nutrisi, terutama gula, protein, dan karbohidrat yang sangat diperlukan cendawan untuk pertumbuhan dan pembentukan spora (Prayogo dan Tengkanono 2002; Hasyim et al. 2005).

Sebelum menemukan inang, cendawan entomopatogen memerlukan lingkungan yang sesuai seperti tersedia nutrisi yang cukup agar viabilitas konidia tetap tinggi dan konidia tidak mengalami kekeringan (*desiccation*) bahkan kematian sebelum proses infeksi. Cendawan *V. lecanii* bersifat parasit, namun akan berubah menjadi saprofit bila kondisi tidak menguntungkan, misalnya dengan hidup pada serasah atau sisa hasil pertanian. Cendawan *V. lecanii* mampu hidup pada bahan organik yang mati dalam rentang waktu yang sangat panjang (Tanada dan Kaya 1993).

3. Rangkuman

Agensia hayati tidak hanya digunakan untuk mengendalikan OPT, tetapi juga mencakup pengertian penggunaannya untuk mengendalikan jasad pengganggu pada proses produksi dan pengolahan hasil pertanian. Pengendalian hayati dapat dilakukan dengan beberapa cara misalnya dengan manipulasi lingkungan, introduksi agen antagonis, introduksi patogen avirulen alami serta mikroba endofit. Sejumlah bakteri telah dilaporkan efektif sebagai agens hayati pengendali hama dan penyakit tanaman di antaranya ialah dari genus-genus *Bacillus*, *Bdellovibrio*, *Dactylella*, *Gliocladium*, *Penicillium*, *Pseudomonas*, dan *Trichoderma*.

Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit pada tanaman tersebut dan dapat diisolasi dari jaringan tanaman yang sudah disterilisasi permukaannya atau diekstrak dari jaringan tanaman bagian dalam. Aktinobakteri adalah bakteri berfilamen yang dapat menghasilkan beragam senyawa metabolit sekunder. endawan endofit merupakan simbiosis mutualis, yang hidup dalam jaringan tanaman. Endofit didefinisikan sebagai organisme yang hidup dalam periode waktu tertentu dan dalam siklus hidupnya mengkolonisasi jaringan hidup tanaman inangnya tanpa menimbulkan gejala apapun. Cendawan entomopatogen merupakan cendawan

parasit yang mampu menginfeksi serangga dengan cara masuk ke tubuh serangga inang melalui kulit, saluran pencernaan, dan spirakel.

4. Soal Latihan

- a. Sebutkan klasifikasi agensia hayati
- b. Bagaimana mekanisme biokontrol organisme oleh mikroba agensia hayati
- c. Jelaskan bakteri dan cendawan endofit
- d. Jelaskan asosiasi bakteri endofit dengan tanaman

5. Kunci Jawaban

- a. Agensia hayati adalah organisme yang dapat berkembang biak sendiri seperti parasitoid, predator, parasit, artropoda pemakan tumbuhan, dan pathogen.
- b. Mekanisme biokontrol organisme yaitu dalam melemahkan atau membunuh patogen tanaman dengan perlawanan yaitu memparasit patogen secara langsung, memproduksi antibiotik (toksin), dan kemampuannya dalam kompetisi ruang dan nutrisi, produksi enzim untuk melawan komponen sel patogen, menginduksi respon ketahanan tanaman, dan produksi metabolisme tanaman dalam menstimulasi perkecambahan spora pathogen.
- c. Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit pada tanaman tersebut dan dapat diisolasi dari jaringan tanaman yang sudah disteilisasi permukaannya atau diekstrak dari jaringan tanaman bagian dalam. Cendawan endofit merupakan simbiosis mutualis, yang hidup dalam jaringan tanaman. Endofit didefinisikan sebagai organisme yang hidup dalam periode waktu tertentu dan dalam siklus hidupnya mengkolonisasi jaringan hidup tanaman inangnya tanpa menimbulkan gejala apapun.
- d. Simbiosis mutualisme antara endofit dan tanaman, dalam hal ini bakteri endofit mendapatkan nutrisi dari hasil metabolisme dari tanaman dalam melawan patogen, sedangkan tanaman mendapat derivat nutrisi dan senyawa aktif yang diperlukan selama hidupnya. Karena tumbuh dalam jaringan tanaman, dimana tanaman yang satu tentunya berbeda dengan tanaman lainnya, maka tempat hidup bakteri sangat unik sifatnya.

6. Sumber Informasi dan Referensi

- Adhikari TB, Joseph CM, Yang G, Donal A, Nelsom LM. 2001. Evaluation of bacteria isolated from rice for plant growth promotion and biological rice. *Can J Microbiol.* 47(10): 916-924.
- Arnold AE, Mejía LC, Kyllö D, Rojas EI, Maynard Z, Robbins N, Herre EA. 2003. Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree. *PNAS* 100:15649-15654.
- Ardakani SS, Heydari A, Khorasani N, Arjmandi R. 2010. Development of new bioformulation of *Pseudomonas fluorescens* and evaluation of these products against damping-off of cotton seedlings. *J Plant Pathol* 92: 83-88
- Clarke BB, White Jr JF, Hurley RH, Torres MS, Sun S, Huff DR, 2006. Endophyte-mediated suppression of dollar spot disease in fine fescues. *Plant Dis.* 90: 994-998.
- Clay K, Schardl C. 2002. Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *American Naturalist* 160:99-127.
- Coombs JT, Franco CMM. 2003. Isolation and identification of actinobacteria from surface sterilized wheat roots. *J Appl Environ Microbiol.* 69(9):5603-5608.
- Dingle J, Mc Gee PA. 2003. Some endophyte fungi reduce the density of pustules of *Puccinia recondita* sp. *tritici* in wheat. *Mycol Res.* 107:310-316.
- Fausiah TL, Santoso T, Nurhayati E. 2011. Potensi cendawan entomopatogen *Verticillium lecanii* dan *Beauveria bassiana* dalam mengendalikan wereng hijau dan menekan intensitas penyakit tungro. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan.* 30(2):114-120.
- Fravel DR. 1988. Role of antibiosis in the biocontrol of plant disease. *Ann Rev Phytopathol* 26:75-91
- Genarro M, Gonthier P, Nicolotti G. 2003. Fungal endophytic communities in healthy and declining *Quercus robur* L. and *Q. cerris* L. trees in Northern Italy. *J Phytopathol.* 151:529-534.
- Ganesan P, Reegan AD, David RHA, Gandhi MR, Paulraj MG, Al-Dhabi NA, Ignacimuthu S. 2016. Antimicrobial activity of some actinomycetes from Western Ghats of Tamil Nadu, India. *Alex J Med.* 3(4):1-10.

- Gundel PE, Helander M, Casas C, Hamilton C, Faeth S, Saikkonen K. 2012. Neotyphodium fungal endophyte in tall fescue (*Schedonorus phoenix*): a comparison of three Northern European wild populations and the cultivar Kentucky-31. *Fungal Divers.* 1-10.
- Gundel PE, Rudgers JA, Ghera CM. 2011. Incorporating the process of vertical transmission into understanding of host symbiont dynamics. *Oikos* 120: 1121-1128
- Hastuti RD, Lestari Y, Suwanto A, Saraswati R. 2012. Endophytic *Streptomyces* spp. as biocontrol agents of rice bacterial leaf blight pathogen (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*). *HAYATI J Bio Sci.* 19(4):155-162.
- Hasyim A, Yasir H, Azwana. 2005. Seleksi substrat untuk perbanyakan *Beauveria bassiana* (Bals.amo) Vuillemin dan infektivitasnya terhadap hama penggerek bonggol pisang *Cosmopolites sordidus* Germar. *J. Hort.* 15(2):116-123.
- Herdatiarni F, Himawan T, Rachmawati R. 2014. Eksplorasi cendawan entomopatogen *Beauveria* sp. menggunakan serangga umpan pada komoditas jagung, tomat, dan wortel organik di Batu, Malang. *Jurnal HPT.* 1(3): 1-11.
- Hywel-Jones NL. 2002. The importance of invertebrate pathogenic fungi from the tropics. *Trop Mycol.* 2:133-142.
- Kim GH, Lim MT, Hur JS, Yum KJ, Koh YJ. 2009. Biological control of tea anthracnose using an antagonistic bacterium of *Bacillus subtilis* isolated from tea leaves. *J Plant Pathol* 25:99-102
- Lehtonen P, Helander M, Saikkonen K. 2005. Are endophyte-mediated effects on herbivores conditional on soil nutrients?. *Oecologia* 142:38-45.
- Lestari Y. 2006. Identification of indigenous *Streptomyces* spp. producing antibacterial compounds. *J Microbiol Indones.* 11:99-101.
- Lestari Y, Yusepi TT, Pratyasto AP, Mubarik NR, Hamim. 2014. In vitro capability of rice endophytic *Streptomyces* spp. in producing Indole acetic acid and fixing nitrogen. *Advance in Environ Biol.* 8(13):728-735.
- Li HM, Sullivan R, Moy M, Kobayashi DY, Belanger FC. 2004. Expression of a novel chitinase by the fungal endophyte in *Poa ampla*. *Mycologia* 96 (3): 526-536.

- Luangsa-Ard JJ, Tasanathai K, Mongkolsamrit S, Hywel-Jones NL, Spatafora JW. 2006. The Collection, Isolation, and Taxonomy of Invertebrate-Pathogenic Fungi [Workshop Manual]. Pathum Thani (TH): NSTDA
- Madigan MT, Martinko JM, Parker J. 2006. Brock Biology Of Microorganism. Toronto (CA): Prentice Hall Canada Inc.
- Mayfield CI, Williams ST, Ruddick SM, Hatfield HL. 1972. Studies on the ecology of actinomycetes in soil. IV. Observations on the form and growth of Streptomycetes in soil. Soil Biol Biochem. 4:79-91.
- Mejía LC, Rojas EI, Maynard Z, Bael SV, Arnold AE, Hebbbar P, Samuels GJ, Robbins N, Herre EA. 2008. Endophytic fungi as biocontrol agents of Theobroma cacao pathogens. Bio Cont. 46:4-14.
- Messaoudi O, Bendahou M, Benamar I, Abdelwouhid DE. 2015. Identification and preliminary characterization of non-polyene antibiotics secreted by new strain of actinomycete isolated from sebkha of Kenadsa, Algeria. Asian Pac J Trop Biomed. 5(6): 438-445.
- Mubarik NR, Mahagiani I, Putri AA, Santoso S, Rusmana I. 2010. Chitinolytic bacteria isolated from chili rhizosphere: chitinase characterization and application as biocontrol for whitefly (*Bemisia tabaci* Genn.). Am J Agric Biol Sci 5:430-535.
- Nurhayati. 2011. Penggunaan Jamur dan Bakteri dalam Pengendalian Penyakit tanaman secara Hayati yang Ramah Lingkungan. hal 316-321. Prosiding Semirata Bidang Ilmu-ilmu Pertanian BKS-PTN Wilayah Barat Tahun 2011. Universitas Sriwijaya. Palembang 23 Mei 2011
- Pérez LI, Gundel PE, Ghera CM, Omacini M. 2013. Family issues: fungal endophyte protects host grass from the closely related pathogen *Claviceps purpurea*. Fungal Ecol. 6:379-386.
- Prayogo Y. 2006. Upaya mempertahankan keefektifan cendawan entomopatogen untuk mengendalikan hama tanaman pangan. Jurnal Penelitian Pertanian. 25(2):47-54.
- Prayogo Y, Tengkan W. 2002. Pengaruh media tumbuh terhadap daya berkecambah, sporulasi, dan virulensi *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff)

- Procópio REL, Silvaa IR, Martins MK, Azevedo JL, Araújo JM. 2012. Antibiotics produced by *Streptomyces*. *Braz J Infect Dis*. 16(5):466-471
- Rasmussen S, Parsons AJ, Popay A, Xue H., Newman JA. 2008. Plant-endophyteherbivore interactions: more than just alkaloids?. *Plant Signal and Behav*. 3:974-977.
- Riana E. 2011. Seleksi dan Formulasi Konsorsium Bakteri untuk Mengendalikan Penyakit Blas (*Pyricularia oryzae*) pada Tanaman Padi [skripsi]. Bogor: FMIPA, IPB
- Saikkonen K, Saari S, Helander M. 2010. Defensive mutualism between plants and endophytic fungi?. *Fungal Divers*. 41:101-113. doi:10.1007/s13225-010-0023-7.
- Schulz B, Boyle C. 2005. The endophytic continuum. *Mycologia* 109(6):661-686. Sorokin isolat kendal payak pada larva *Spodoptera litura*. *Jurnal IlmiahSainteks*. 9(4): 233-241.
- Suzuki S, Yamamoto K, Okuda T, Nishio M, Nakanishi N, Komatsubara S. 2000. Selective isolation and distribution of *Actinomadura rugatobispora* strains in soil. *Actinomycetologica*. 14:27-33.
- Sreevidya M, Gopalakrishnan S, Kudapa H, Varshney R.K. 2015. Exploring plant growth-promotion actinomycetes from vermicompost and rhizosphere soil for yield enhancement in chickpea. *Brazilian J. Mikrobiol*. 4 (7): 85-95.
- Syachroni FA. 2011. Efektivitas formulasi konsorsium bakteri sebagai pengendali penyakit hawar pelepah daun tanaman padi [skripsi]. Bogor: FMIPA, IPB
- Tan RX, Zou WX. 2001. Endophytes : A rich source of functional metabolites. *Nat. Prod. Rep*. 18:448-459.
- Tanada Y, Kaya HK. 1993. *Insect Pathology*. San Diego (US): Academic Press.
- Tian P, Nan Z, Li C, Spangenberg G. 2008. Effect of the endophyte *Neotyphodium lolii* on susceptibility and host physiological response of perennial rye grass to fungal pathogens. *Euro J Plant Pathol*. 122:593-602.

- Uchitel A, Omacini M, Chaneton EJ. 2011. Inherited fungal symbionts enhance establishment of an invasive annual grass across successional habitats. *Oecologia* 165:465-475.
- Valan Arasu M, Duraipandiyar V, Agastian P, Ignacimuthu S. 2008. Antimicrobial activity of *Streptomyces* sp. ERI-26 recovered from Western Ghats of Tamil Nadu. *J Mycol Med* 18:147-53.
- Wang JW, Wu JH, Huang YW, Tan RX. 2006. Laccase production by *Monotropa* sp. an endophytic fungus in *Cynodon dactylon*. *Biores Technol.* 97:786-789.
- White Jr, J.F., Torres, MS, 2010. Is plant endophyte-mediated defensive mutualism the result of oxidative stress protection?. *Plant Physiol.* 138:440-446.
- Yan N, Wang XQ, Xu XF, Guo DP, Wang ZD, Zhang JZ, Hyde KD, Liu HL. 2013. Plant growth and photosynthetic performance of *Zizania latifolia* are altered by endophytic *Ustilago esculenta* infection. *Physiol and Molecular plant Pathol.* 83:75-83.
- Zhang CS, Podeschwa M, Block O, Altenbach HJ, Piepersberg W, Wehmeier UF. 2003. Identification of a lepi-valienol 7-kinase activity in the producer of acarbose, *Actinoplanes* sp. *FEBS Lett.* 540(1): 53-57.
- Zhang HW, YC Song, RX Tan. 2006. Biology and chemistry of endophytes. *Nat. Prod Rep.* 23:753-771.
- Zuraidah. 2012. Potensi beberapa bakteri penghambat pertumbuhan *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* penyebab penyakit hawar daun bakteri pada tanaman padi [tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.

C. Penilaian

1. **Sikap** : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi
2. **Pengetahuan** : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
3. **Keterampilan** : kemampuan membedakan jenis-jenis agensia hayati

Kegiatan Pembelajaran 6:

6. MEDIA PERTUMBUHAN DAN TEKNIK PRODUKSI MIKROBA AGENSIA HAYATI

A. Deskripsi

Bab ini menjelaskan tentang jenis-jenis media pertumbuhan agensia hayati, contoh media perbanyakan untuk cendawan, contoh media alternatif pada bakteri dan cendawan, teknik memproduksi agensia hayati, dan hasil aplikasi agensia hayati terhadap pertumbuhan tanaman.

B. Kegiatan Pembelajaran

1. Tujuan Pembelajaran

Mahasiswa diharapkan memahami jenis-jenis media pertumbuhan yang berasal dari bahan kimia atau organik untuk bakteri atau cendawan sebagai agensia hayati serta teknik produksi agensia hayati.

2. Uraian Materi

a. Jenis-Jenis Media Pertumbuhan Agensia Hayati

Media pertumbuhan mikroba adalah suatu bahan yang terdiri atas campuran nutrisi (*nutrient*) yang digunakan oleh suatu mikroba untuk tumbuh dan berkembangbiak pada media tersebut. Mikroba memanfaatkan nutrisi pada media berupa molekul-molekul kecil yang dirakit untuk menyusun komponen sel-nya. Dengan media pertumbuhan juga bisa digunakan untuk mengisolasi mikroba, identifikasi dan membuat kultur murni.

Komposisi media pertumbuhan dapat dimanipulasi untuk tujuan isolasi dan identifikasi mikroba tertentu sesuai dengan tujuan masing-masing pembuatan suatu media. Media adalah suatu bahan yang terdiri dari campuran zat-zat hara (*nutrient*) yang berguna untuk membiakkan mikroba. Dengan mempergunakan bermacam-macam media dapat dilakukan isolasi, perbanyakan, pengujian sifat-sifat fisiologis dan perhitungan jumlah mikroba. Media untuk kultur bakteri dalam mikrobiologi ada banyak jenisnya dan dapat menjadi tiga kelompok besar berdasarkan bentuk, komposisi/susunannya.

1) Berdasarkan Bentuknya

Bentuk media ada tiga macam yang dapat dibedakan dari ada atau tidaknya bahan tambahan berupa bahan pematat seperti agar-agar atau gelatin. Bentuk media tersebut yaitu:

a) Media Padat

Media padat merupakan media yang mengandung banyak agar atau zat pematat kurang lebih 15% agar sehingga media menjadi padat. Media ini dapat dibedakan menjadi tiga jenis menurut bentuk dan wadahnya yaitu, media tegak, media miring, dan media lempeng. Media tegak menggunakan tabung reaksi yang ditegakkan sebagai wadahnya, media miring menggunakan tabung reaksi yang dimiringkan, sedangkan media lempeng menggunakan petridish (*plate*) sebagai wadahnya. Media ini umumnya digunakan untuk pertumbuhan koloni bakteri atau kapang.

Kalau ke dalam media ditambahkan antara 10-15 gram tepung agar-agar per 1000 ml media. Jumlah tepung agar-agar yang ditambahkan tergantung kepada jenis atau kelompok mikroba yang dipelihara. Kalau ke dalam media tidak ditambahkan zat pematat, umumnya dipergunakan untuk pembiakkan mikroalga tetapi juga mikroba lain, terutama bakteri dan ragi. Ada yang memerlukan kadar air tinggi sehingga jumlah tepung agar-agar rendah. Tetapi ada pula yang memerlukan kandungan air rendah sehingga penambahan tepung agar-agar haru sedikit. Media padat umumya dipergunakan untuk bakteri, ragi, jamur dan kadang-kadang juga mikroalga.

b) Media semi padat

Media semi padat atau semi cair merupakan media yang mengandung agar kurang dari yang seharusnya kurang lebih 0,3% - 0,4% sehingga media menjadi kenyal, tidak padat dan tidak begitu cair. Umumnya digunakan untuk pertumbuhan mikroba yang banyak memerlukan air dan hidup anerobik dan untuk melihat pergerakan mikroba. Kalau penambahan zat pematat hanya 50% atau kurang dari yang seharusnya. Ini umumnya diperlukan untuk pertumbuhan mikroba yang banyak memerlukan kandungan air dan hidup anaerob atau fakultatif.

c) Media cair

Media cair merupakan media yang tidak ditambahi bahan pematat, umumnya digunakan untuk pertumbuhan mikroalga. Kalau ke dalam media tidak ditambahkan zat pematat, umumnya dipergunakan untuk pembiakkan mikroalge tetapi juga mikroba lain, terutama bakteri dan ragi.

2) Berdasarkan Komposisi/Susunannya

Berdasarkan komposisinya media di bagi atas :

- a) Media alami/non sintetis merupakan media yang disusun dari bahan-bahan alami dimana komposisinya yang tidak dapat diketahui secara pasti dan biasanya langsung diekstrak dari bahan dasarnya seperti: kentang, tepung, daging, telur, ikan sayur, dan sebagainya. Contohnya: *Tomato juice agar*.
- b) Media semi sintesis merupakan media yang disusun dari bahan-bahan alami dan bahan-bahan sintesis. Contohnya: Kaldu nutrisi disusun dari: Pepton 10,0 g, Ekstrak daging 10,0 g, NaCl 5,0 g, dan Aquadest 1000 ml.
- c) Media sintesis, yaitu media yang disusun dari senyawa kimia yang jenis dan takarannya diketahui secara pasti. Contohnya: Mac Conkey Agar.

3) Berdasarkan Bentuknya

- Media alami, yaitu media yang disusun oleh bahan-bahan alami seperti kentang, tepung, daging, telur, ikan, umbi-umbian lainnya dan sebagainya. Pada saat sekarang
- Media alami yang banyak dipergunakan adalah dalam kultur jaringan tanaman maupun hewan. Media untuk budidaya mikroba memiliki sumber karbon untuk dimasukkan ke dalam biomassa. Kalau ke dalam media tidak ditambahkan zat pematat, umumnya dipergunakan untuk pembiakkan mikroalge tetapi juga mikroba lain, terutama bakteri dan ragi. Contoh media alami yang paling banyak dipergunakan adalah telur untuk pertumbuhan dan perkembangbiakkan virus
- Media sintetis yaitu media yang disusun oleh senyawa kimia seperti media untuk pertumbuhan dan perkembangbiakkan bakteri *clostridium* tersusun oleh:

Tabel 9. Komposisi media pertumbuhan sintetis

Nama bahan	Berat (gram)
K_2HPO_4	0,5
KH_2PO_4	0,5
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,1
NaCl	0,1
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0,01
$MnSO_4 \cdot 7H_2O$	0,01
$CaCO_3$	0,01

- Media semi sintetis yaitu media yang tersusun oleh campuran bahan-bahan alami dan bahan-bahan sintetis.

4) Berdasarkan Fungsinya

- Media Basal (media dasar) adalah media yang digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat media lain yang lebih kompleks. Media ini dapat mendukung pertumbuhan hampir semua jenis mikroba, contohnya adalah *nutrient broth*, kaldu pepton, dan sebagainya.
- Media diferensial adalah media yang bila ditumbuhi oleh mikroba yang berbeda, mikroba tersebut akan tumbuh dengan ciri khusus sehingga dapat dibedakan. Contohnya: Media *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), Media *Sulfit Indol Motility* (SIM), dan sebagainya. Media differensial merupakan media yang ditambahkan bahan-bahan kimia atau reagensia tertentu yang menyebabkan mikroba yang tumbuh memperlihatkan perubahan-perubahan spesifik sehingga dapat dibedakan dengan jenis lainnya.
- Media selektif adalah media yang memungkinkan suatu jenis mikroba tumbuh dengan pesat, sementara jenis mikroba yang lain terhambat. Contohnya: Media *Salmonella Shigella Agar* (SSA), *Thiosulphate Citrate Bile Salt* (TCBS), dan sebagainya. Media selektif, merupakan media yang ditambahkan bahan-bahan tertentu yang akan menghambat pertumbuhan mikroba yang tidak diinginkan yang ada dalam suatu spesimen. Inhibitor yang digunakan berupa antibiotik, garamk dan bahan-bahan kimia lainnya.

- Media diperkaya (*enrichment*) adalah media yang dirancang untuk mendukung pertumbuhan mikroba. Media tersebut memiliki konstituen nutrisi yang mendorong pertumbuhan mikroba tertentu. Contohnya: kaldu selenit, atau kaldu tetrasonat untuk memisahkan bakteri *Salmonella typhosa* dari tinja. Media diperkaya (*enrichment media*), media yang ditambahkan bahan-bahan tertentu untuk menstimulasi pertumbuhan mikroba yang diinginkan. Hal ini dilakukan untuk menstimulasi pertumbuhan mikroba yang jumlahnya sedikit dalam suatu campuran berbagai mikroba contoh *Chocolate media* dan *Yeast-Extract-potassium Nitrat Agar*.
- Media pengkayaan adalah media ini umumnya mengandung bahan-bahan tertentu yang di satu pihak dapat menghambat pertumbuhan bakteri tertentu, tetapi di lain pihak sebaliknya dapat menunjang pertumbuhan bakteri tertentu lainnya. misalnya media muller-kauffman mengandung natrium tetrasonat yang menunjang pertumbuhan salmonella tetapi menghambat pertumbuhan *Escherichia*.
- Media uji (identifikasi) adalah media yang digunakan untuk identifikasi mikroba, medium *litmus milk*. umumnya ditambah dengan substansi tertentu yang menjadi indikator, misalnya
- Medium umum, media yang ditambahkan bahan-bahan yang bertujuan menstimulasi pertumbuhan mikroba secara umum. Contoh *Nutrien Agar* (NA) untuk menstimulasi pertumbuhan bakteri, *Potato Dextrose Agar* (PDA) untuk menstimulir pertumbuhan fungi.
- Medium khusus (spesifik), merupakan medium untuk menentukan tipe pertumbuhan mikroba dan kemampuannya untuk mengadakan perubahan-perubahan kimia tertentu misalnya, medium tetes tebu untuk *Saccharomyces cerevisiae*.
- Medium penguji (*Assay medium*), yaitu medium dengan susunan tertentu yang digunakan untuk pengujian senyawa-senyawa tertentu dengan bantuan bakteri misalnya medium untuk menguji vitamin-vitamin, antibiotika dan lain-lain.

- Medium perhitungan jumlah mikroba yaitu medium spesifik yang digunakan untuk menghitung jumlah mikroba dalam suatu bahan, misalnya medium untuk menghitung jumlah bakteri *E. coli* air sumur.

Berikut ini beberapa media yang sering digunakan secara umum dalam mikrobiologi

1) ***Lactose Broth***

Lactose broth digunakan sebagai media untuk mendeteksi kehadiran koliform dalam air, makanan, dan produk susu, sebagai kaldu pemer kaya (*pre-enrichment broth*) untuk *Salmonellae* dan dalam mempelajari fermentasi laktosa oleh bakteri pada umumnya. Pepton dan ekstrak beef menyediakan nutrisi esensial untuk metabolisme bakteri. Laktosa menyediakan sumber karbohidrat yang dapat difermentasi untuk organisme koliform.

2) **EMBA (*Eosin Methylene Blue Agar*)**

Media *Eosin Methylene Blue* mempunyai keistimewaan mengandung laktosa dan berfungsi untuk memilah mikroba yang memfermentasikan laktosa seperti *S. aureus*, *P. aeruginosa*, dan *Salmonella*. Mikroba yang memfermentasi laktosa menghasilkan koloni dengan inti berwarna gelap dengan kilap logam. Sedangkan mikroba lain yang dapat tumbuh koloninya tidak berwarna.

3) ***Nutrient Agar***

Nutrien agar adalah medium umum untuk uji air dan produk dairy. NA juga digunakan untuk pertumbuhan mayoritas dari mikroba yang tidak selektif, dalam artian mikroba heterotrof. Media ini merupakan media sederhana yang dibuat dari ekstrak *beef*, pepton, dan agar. Na merupakan salah satu media yang umum digunakan dalam prosedur bakteriologi seperti uji biasa dari air, *sewage*, produk pangan, untuk membawa stok kultur, untuk pertumbuhan sampel pada uji bakteri, dan untuk mengisolasi organisme dalam kultur murni.

4) ***Nutrient Broth***

Nutrient broth merupakan media untuk mikroba yang berbentuk cair. Intinya sama dengan *nutrient agar*.

5) **MRSA (*deMann Rogosa Sharpe Agar*)**

MRSA merupakan media yang diperkenalkan oleh De Mann, Rogosa, dan Shape (1960) untuk memperkaya, menumbuhkan, dan mengisolasi jenis *Lactobacillus* dari seluruh jenis bahan. MRS agar mengandung polysorbat, asetat, magnesium, dan mangan yang diketahui untuk beraksi/bertindak sebagai faktor pertumbuhan bagi *Lactobacillus*, sebaik nutrisi diperkaya.

6) ***Trypticase Soy Broth (TSB)***

TSB adalah media broth diperkaya untuk tujuan umum, untuk isolasi, dan penumbuhan bermacam mikroba. Media ini banyak digunakan untuk isolasi bakteri dari spesimen laboratorium dan akan mendukung pertumbuhan mayoritas bakteri patogen. Media TSB mengandung kasein dan pepton kedelai yang menyediakan asam amino dan substansi nitrogen lainnya yang membuatnya menjadi media bernutrisi untuk bermacam mikroba.

7) ***Plate Count Agar (PCA)***

PCA digunakan sebagai medium untuk mikroba aerobik dengan inokulasi di atas permukaan. Media PCA ini baik untuk pertumbuhan total mikroba (semua jenis mikroba) karena di dalamnya mengandung komposisi *casein enzymic hydrolysate* yang menyediakan asam amino dan substansi nitrogen kompleks lainnya serta ekstrak *yeast* mensuplai vitamin B kompleks.

8) ***Potato Dextrose Agar (PDA)***

PDA digunakan untuk menumbuhkan atau mengidentifikasi *yeast* dan kapang. Dapat juga digunakan untuk enumerasi *yeast* dan kapang dalam suatu sampel atau produk makanan. PDA cocok untuk pertumbuhan jamur. PDA mengandung sumber karbohidrat dalam jumlah cukup yaitu terdiri dari 20% ekstrak kentang dan 2% glukosa sehingga baik untuk pertumbuhan kapang dan khamir tetapi kurang baik untuk pertumbuhan bakteri.

b. **Contoh Media Perbanyak untuk Cendawan**

Cendawan adalah organisme heterotrof, sehingga mereka memerlukan senyawa organik sebagai sumber nutrisi. Pertumbuhan fungi melibatkan banyak

faktor yang menentukan seperti faktor organisme itu sendiri dan lingkungan (Griffin 1991). Media kultur dapat dijadikan sebagai sarana untuk mengukur pertumbuhan fungi berdasarkan fungsi waktu baik pada media kultur padat maupun media kultur cair (Chang dan Miles 2004). Komposisi masing-masing media tumbuh disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Macam-macam media dan komposisi yang digunakan

Media	Komposisi	gr/lt
Media Padat	<i>Peptone</i>	2.5
	<i>Sabouraud dextrose agar with yeast extract (SDAY)</i>	<i>Dextrose</i> 10
	<i>Agar</i>	3.75
	<i>Yeast extract</i>	2.5
	<i>Malt extract agar (MEA)</i>	<i>Malt extract</i> 15
	<i>Agar</i>	15
	<i>Kentang</i>	200
	<i>Potato dextrose agar (PDA)</i>	<i>Dextrose</i> 20
Media Cair	<i>Agar</i>	15
	<i>Peptone</i>	2.5
	<i>Sabouraud dextrose broth with yeast extract (SDBY)</i>	<i>Dextrose</i> 10
	<i>Yeast extract</i>	2.5
	<i>Malt extract broth (MEB)</i>	<i>Malt extract</i> 15
	<i>Potato dextrose broth (PDB)</i>	<i>Kentang</i> 200
	<i>Dextrose</i>	20

Menurut Chang dan Miles (2004), sumber karbon merupakan unsur yang penting bagi pembentukan struktur dan sumber energi pertumbuhan sel cendawan. Ketiga jenis media tumbuh yang digunakan dalam penelitian ini (*potato dextrose*, *malt extract*, dan *sabouraud dextrose with yeast extract*) memiliki sumber nutrisi yang berbeda. *Potato dextrose* terdiri dari ekstrak kentang yang merupakan sumber karbohidrat, vitamin dan mineral dengan tambahan *dextrose* yang juga merupakan sumber karbohidrat. Kentang tersusun atas pati dengan kandungan

amilosa dan amilopektin. Amilosa dan amilopektin termasuk molekul kompleks karbohidrat golongan polisakarida.

Proses penguraian karbohidrat kompleks golongan polisakarida tidak semudah pada molekul karbohidrat yang lebih sederhana seperti halnya glukosa yang tergolong ke dalam monosakarida. Dengan demikian cendawan membutuhkan waktu untuk menguraikan senyawa karbohidrat yang terkandung dalam kentang. Akan tetapi cendawan mendapat tambahan *dextrose* yang merupakan molekul karbohidrat sederhana dan mudah diurai, sehingga aktivitas seluler dapat berlangsung dari energi yang dihasilkan dari penguraian *dextrose* terlebih dahulu. *Malt extract* mengandung sumber karbon maltosa yang tinggi (Vanderzant dan Splittstoesser 1992 dalam Syafiih 2015).

Maltosa merupakan kelompok karbohidrat disakarida yang tersusun atas 2 molekul glukosa. Pertumbuhan miselium *B. bassiana* lebih lambat pada media *malt extract* dibandingkan dengan media *potato dextrose* diduga karena struktur maltosa yang merupakan disakarida lebih kompleks dibandingkan dengan *dextrose*.

Cendawan membutuhkan waktu lebih lama dalam menyederhanakan struktur malt dibandingkan dengan struktur *dextrose*, sehingga energi yang dihasilkan pada media malt lebih lambat dibandingkan dengan media *potato dextrose*. Media sabouraud dextrose with *yeast extract* tersusun atas pepton dan *yeast extract* yang merupakan sumber nitrogen serta *dextrose* sebagai sumber karbon. Nitrogen berperan dalam pembentukan molekul protein dan asam nukleat. Salah satu fungsi nitrogen adalah sebagai sumber energi, sehingga isolat *B. bassiana* yang ditumbuhkan pada media yang lebih banyak mengandung molekul nitrogen memiliki sumber energi lebih besar untuk membentuk sel-sel baru. Selain itu, karbon dalam *dextrose* merupakan unsur penting sebagai penyusun komponen dinding sel.

Pertumbuhan radial koloni dan produksi biomassa *B. bassiana* lebih cepat dan lebih tinggi pada media *sabouraud dextrose with yeast extract* dibandingkan dengan media *potato dextrose* dan *malt extract*. Media PDA dan PDB yang merupakan media kaya nutrisi ternyata tidak menghasilkan pertumbuhan radial

koloni dan produksi biomassa yang lebih baik dari media SDAY dan SDBY. Hal ini didukung oleh Santoro et al. (2014) yang menyatakan bahwa, media PDA mengandung banyak unsur karbon namun sedikit unsur nitrogen.

c. Contoh Media Alternatif pada Bakteri dan Cendawan

Media alternatif adalah media yang digunakan untuk menumbuhkan mikroba dengan menggunakan bahan-bahan yang murah dan mudah didapat seperti dedak padi, gula merah, *monosodium glutamate*, terasi dan molases.

1) Dedak Padi

Dedak padi merupakan hasil samping penggilingan padi yang berasal dari lapisan luar beras pecah kulit dalam proses penyosohan beras. Proses pengolahan gabah menjadi beras akan menghasilkan dedak padi kira-kira sebanyak 10% pecahan-pecahan beras atau menir sebanyak 17%, tepung beras 3%, sekam 20% dan berasnya sendiri 50%. Persentase tersebut sangat bervariasi tergantung pada varietas dan umur padi, derajat penggilingan serta penyosohannya (Grist, 1972).

Dedak merupakan limbah dalam proses pengolahan gabah menjadi beras yang mengandung “bagian luar” beras yang tidak terbawa, tetapi tercampur pula dengan bagian penutup beras itu. Hal inilah yang mempengaruhi tinggi atau rendahnya kandungan serat kasar dedak (Rasyaf, 1990). Hartadi et al. (1990) menyatakan bahwa dedak dengan kandungan serat kasar 6-12 % memiliki kandungan lemak 14,1%, protein kasar 13,8%, sedangkan menurut National Research Council (1994) dedak padi mengandung energy metabolis sebesar 2100 kkal/kg, protein kasar 12,9%, lemak 13%, serat kasar 11,4%, Ca 0,07%, P tersedia 0,21%, serta Mg 0,22%.

Dedak padi sangat kaya dengan minyak dan tinggi serat kasarnya. Serat kasar adalah karbohidrat yang tidak larut setelah dimasak berturut-turut dalam larutan H_2SO_4 1,25% mendidih selama 30 menit dan dalam larutan NaOH 1,25% mendidih selama 30 menit. Serat kasar diduga kaya akan lignin dan selulosa sehingga sulit dicerna (hewan) (Amrullah, 2002).

2) Gula Merah

Gula merah atau gula Jawa biasanya diasosiasikan dengan segala jenis gula yang dibuat dari nira, yaitu cairan yang dikeluarkan dari bunga pohon dari keluarga palma, seperti kelapa, aren, dan siwalan. Bunga (mayang) yang belum mekar diikat kuat (kadang-kadang dipres dengan dua batang kayu) pada bagian pangkalnya sehingga proses pemekaran bunga menjadi terhambat. Sari makanan yang seharusnya dipakai untuk pemekaran bunga menumpuk menjadi cairan gula.

Mayang membengkak setelah proses pembengkakan berhenti, batang mayang diiris-iris untuk mengeluarkan cairan gula secara bertahap. Cairan biasanya ditampung dengan timba yang terbuat dari daun pohon palma tersebut. Cairan yang ditampung diambil secara bertahap, biasanya 2-3 kali. Cairan ini kemudian dipanaskan dengan api sampai kental. Setelah benar-benar kental, cairan dituangkan ke dalam bentuk setengah mangkok atau setengah elip yang terbuat dari daun palma. Bentuk demikian ini dihasilkan dari cetakan yang digunakan berupa setengah tempurung kelapa, adapula yang menggunakan cetakan bambu, sehingga bentuknya bulat silindris.

3) Monosodium Glutamat

Monosodium Glutamate (MSG) adalah zat penambah rasa pada makanan yang dibuat dari hasil fermentasi zat tepung dan tetes dari gula beet atau gula tebu. Dan natrium (sodium) dari asam glutamat (salah satu asam amino non-esensial penyusun protein). MSG terdiri dari 78% glutamat, 12% natrium dan 10% air. MSG dijual sebagai kristal halus berwarna putih, dan penampakkannya mirip gula pasir atau garam dapur. Glutamat adalah salah satu dari 20 asam amino penyusun protein. Sebagai asam amino, glutamat termasuk dalam kelompok non esensial, yang artinya tubuh mampu memproduksi sendiri.

Glutamat ada di setiap makhluk hidup baik dalam bentuk terikat maupun bebas. Glutamat sebagai asam amino non-esensial ditemukan pada tahun 1866 oleh seorang ilmuwan Jerman bernama Prof. Ritthausen yang berhasil mengisolasi dari gluten (protein gandum). Glutamat yang masih terikat dengan asam amino lain sebagai protein tidak memiliki rasa. Hanya jika glutamat yang dalam bentuk

bebas memiliki rasa Umami (gurih). Dengan demikian, semakin tinggi kandungan glutamate bebas dalam suatu makanan, semakin kuat rasa umaminya.

Kadar glutamat dalam makanan bervariasi tergantung dari macam makanan, kondisi makanan (mentah atau matang) dan proses pengolahannya. Tomat mentah yang berwarna hijau hanya mengandung 20 mg/100 g glutamat bebas dan setelah matang meningkat drastis menjadi 246 mg/100 g. Sementara air susu sapi yang hanya mengandung 1 mg/100 g glutamat bebas, setelah melalui proses enzimatik, fermentasi dan disimpan selama dua tahun meningkat kandungan glutamat bebasnya menjadi 1680 mg/100 g sebagai keju Parmegiana Regiano.

4) Terasi

Terasi merupakan produk awetan ikan-ikan kecil atau rebon yang telah diolah melalui proses pemeraman atau fermentasi, penggilingan atau penumbukan, dan penjemuran yang berlangsung kurang lebih 20 hari. Ke dalam produk terasi tersebut, ditambahkan garam yang berfungsi sebagai pengawet.

Ada beberapa jenis terasi. Bila dilihat dari bahan dasar yang digunakan, terdapat tiga macam terasi. Ada terasi udang, ikan, dan terasi campuran antara ikan dan udang. Kualitas terasi bisa dilihat dari tekstur dan warnanya. Terasi yang bermutu baik, teksturnya tidak terlalu keras, juga tidak terlalu lembek. Terasi yang berwarna merah sebaiknya dihindari karena warna merah itu berasal dari bahan pewarna rhodamin B yang biasa digunakan untuk tekstil.

5) Molases

Molasses merupakan cairan kental, rasanya agak pahit dan berwarna gelap, hasil produk samping dari pabrik gula. Menurut Paturau (1982), molases adalah keluaran terakhir yang diperoleh dari pembuangan gula tebu setelah melalui kristalisasi berulang dan merupakan sisa sirup yang tidak dapat mengkristal lagi dengan perlakuan sederhana. Menurut Baikow (1982), molases merupakan sisa sirup yang terbuang dari maskuit dan tidak dapat dikristalisasi lagi dalam pembuatan gula.

Menurut Paturau (1982), berdasarkan jumlah tebu yang digiling, jumlah molases yang dihasilkan bervariasi antara 2,2% – 3,7%, dengan rata-rata 2,7%.

Molases sebagai hasil samping pabrik gula mempunyai kandungan gula sekitar 40% - 45% sangat dimungkinkan untuk diolah menjadi gula kembali, mengingat harga molases yang relatif lebih murah daripada harga gula kristal. Molases dapat digunakan secara langsung atau dapat dijadikan bahan baku pembuatan produk-produk yang bernilai ekonomis, misalnya untuk kecap, pupuk, pakan ternak, ataupun untuk industri fermentasi.

Menurut Kirk dan Othmer (1963), molases dari gula tebu mempunyai nilai pH 5,5 – 6,5. Sifat yang masam dan pH yang rendah pada molases disebabkan oleh kandungan asam alifatik pada proses klarifikasi. Kandungan gula dalam molases sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain varietas tebu, tanah, iklim, periode penanaman, cara pengolahan tebu di perusahaan (Paturau, 1982). Kandungan gula dalam molases juga dipengaruhi oleh efisiensi operasi pabrik gula, sistem pemanasan dan tipe serta kapasitas kristalizer (Baikow, 1982). Paturau (1982) menyatakan bahwa molases terdiri dari berbagai komposisi kimia.

d. Teknik Memproduksi Agensia Hayati

Tahapan memproduksi agensia hayati yaitu:

1) Isolasi Bakteri dan Cendawan Endofit

Metode isolasi bakteri endofit dapat menggunakan metode dari Munif et al. (2012). Isolasi dilakukan pada bagian akar, batang dan daun tanaman. Bahan tanaman dicuci dengan air mengalir sampai bersih, kemudian ± 1 g dipotong menjadi beberapa bagian dengan panjang 3-5 cm. Potongan daun dan akar disterilisasi menggunakan sterilisasi permukaan bertingkat menggunakan alkohol 70 % selama 0.5 menit kemudian dilanjutkan merendam sampel pada NaOCl 1 % selama 1 menit.

Potongan bagian batang menggunakan alkohol 70 % selama 1 menit, dilanjutkan dengan merendam sampel pada NaOCl 1 % selama 2 menit kemudian dibilas dengan aquades steril sebanyak 3 kali lalu dikeringkan di atas tissue steril. Uji sterilisasi permukaan dilakukan dengan menempelkan potongan sampel tanaman pada media *tryptic soy agar* (TSA) kosong untuk mengetahui keberhasilan hasil sterilisasi permukaan dan diinkubasi selama 2 hari.

Apabila pada media tersebut terdapat mikroba yang tumbuh, berarti sterilisasi permukaan belum berhasil dan harus diulang sampai diperoleh akar yang benar-benar steril permukaannya. Setelah itu bagian tanaman yang telah disterilisasi permukaan dihancurkan dengan mortar steril sampai halus dengan penambahan air 1:10. Sebanyak 1 ml suspensi dicampur dengan 9 mL air steril dalam tabung reaksi, suspensi akar dibuat pengenceran berseri yaitu 10⁻², 10⁻³, dan 10⁻⁴. Sebanyak 0.1 ml diambil dari masing-masing suspensi daun, akar dan batang tersebut kemudian ratakan pada media TSA 20 %. Setelah 1 hari sampai 2 hari diinkubasi pada suhu ruang, bakteri yang muncul dimurnikan.

Isolasi cendawan endofit dilakukan dengan meletakkan sampel pada media *malt extract agar* (MEA) 10% tanpa digerus dan diinkubasi selama 7 hari. Uji kesterilan dilakukan untuk mengetahui tingkat sterilisasi permukaan bagian tanaman yang diisolasi dengan menggunakan air bilasan terakhir dari pencucian bagian tanaman dan dioleskan pada media *potato dextrose agar* (PDA) sebanyak 0.1 mL menggunakan mikropipet. Bakteri dan cendawan pada media MEA 10% atau TSA 20%, selanjutnya dimurnikan berdasarkan bentuk dan warnanya. Masing-masing jenis disimpan pada media PDA untuk cendawan dan TSA 100% untuk bakteri sebagai bahan stok.

2) Seleksi Bakteri dan Cendawan Endofit

Seleksi bakteri endofit dilakukan melalui 3 tahap yaitu pengujian reaksi hipersensitif terhadap tanaman tembakau (Wick, 2010), pengujian terhadap pertumbuhan benih padi dan pengujian aktivitas hemolisis bakteri (Chang et al. 2000). Suspensi bakteri yang digunakan disiapkan pada media *tryptic soy broth* (TSB) dan digoyang menggunakan *rotary shaker* selama 24 jam. Suspensi bakteri yang telah disiapkan disuntikkan ke dalam daun tanaman tembakau. Reaksi positif ditandai dengan munculnya gejala nekrotik dalam waktu 12-24 jam.

Uji selanjutnya yaitu uji DPM, benih terlebih dahulu disterilkan menggunakan teknik sterilisasi permukaan dengan perendaman menggunakan alkohol 70% selama 30 detik dan NaOCl 1% selama 1 menit, dibilas sebanyak 2 kali menggunakan air steril.

Benih padi ditanam dalam cawan petri yang telah ditumbuhi bakteri endofit hasil pemurnian yang berumur 24 jam, serta benih padi ditanam dalam cawan petri tanpa bakteri pada media TSA 20% sebagai perlakuan kontrol. Benih yang ditanam sejumlah 10 bulir pada setiap perlakuan. Pengamatan perkecambahan benih dilakukan setelah 14 hari dan menghitung persentase benih berkecambah normal, persentase benih berkecambah nekrotik, persentase benih tidak berkecambah, panjang akar dan tinggi tajuk. Perlakuan benih yang memiliki pertumbuhan melebihi perlakuan kontrol dan tidak menimbulkan nekrotik pada kecambah akan digunakan pada uji berikutnya.

Pengujian aktivitas hemolisis bakteri dilakukan untuk mengetahui keamanan penggunaan bakteri tersebut dalam kehidupan manusia. Koloni bakteri ditumbuhkan pada media agar darah dan diinkubasi selama 3 sampai 7 hari pada suhu ruang. Media agar darah yang dipakai memiliki komposisi TSA 100% dan darah kambing 5%, media TSA 100% yang telah di sterilisasi menggunakan autoklaf dengan suhu 121° C selama 5 menit, kemudian dicampur dengan darah kambing 5% yang telah disaring menggunakan milipore 0.22 µm. Indikasi positif bahwa bakteri tersebut dapat melakukan lisis pada agar darah adalah terbentuknya zona bening pada media disekitar koloni bakteri.

Pengujian cendawan endofit dilakukan sesuai dengan pengujian bakteri tahap kedua yaitu dengan pengujian cendawan endofit terhadap perkecambahan dan perkembangan benih padi. Cendawan endofit yang digunakan adalah cendawan yang berumur 5 hari pada media PDA. Benih terlebih dahulu disterilkan menggunakan teknik sterilisasi permukaan dengan perendaman menggunakan alkohol 70% selama 30 detik dan NaOCl 1% selama 1 menit, dibilas sebanyak 2 kali menggunakan air steril.

Benih padi ditanam dalam cawan petri yang telah ditumbuhi cendawan endofit hasil pemurnian, serta benih padi ditanam dalam cawan petri tanpa cendawan pada media PDA sebagai perlakuan kontrol. Benih yang ditanam sejumlah sepuluh bulir pada setiap perlakuan. Pengamatan perkecambahan benih dilakukan setelah 14 hari dan menghitung persentase benih berkecambah normal, persentase benih berkecambah nekrotik, persentase benih tidak

berkecambah, panjang akar dan tinggi tajuk. Perlakuan benih yang memiliki pertumbuhan melebihi perlakuan kontrol dan tidak menimbulkan nekrotik pada kecambah akan digunakan pada uji berikutnya.

3) Uji Penghambatan Pertumbuhan Penyakit pada tanaman oleh Bakteri dan Cendawan Endofit

Sebagai contoh, penyebab penyakit blas oleh *Pyricularia oryzae* yang akan diuji oleh bakteri dan cendawan endofit. Uji antagonisme cendawan endofit terhadap *P. Oryzae* dilakukan dengan menggunakan metode Li et al. (2007) dengan 15 perlakuan dan 3 ulangan. Cendawan endofit berumur 2 minggu dipindah ke cawan petri berisi media PDA tepat di tengah cawan petri. Setelah itu diinkubasi selama 3 sampai 4 hari sebelum ditanam *P. oryzae*, 4 plak *P. oryzae* diambil dari biakan yang telah berumur 7 hari dan ditanam pada media PDA yang terdapat cendawan endofit pada bagian tengah cawan petri dan tanpa ada cendawan endofit sebagai kontrol.

4) Uji Penghambatan Penyakit pada tanaman

Sebagai contoh, penyebab penyakit blas oleh *Pyricularia oryzae* yang akan diuji oleh bakteri dan cendawan endofit.

a) Persiapan suspensi isolat cendawan endofit tidak memproduksi konidia

Isolat cendawan endofit yang dipilih berdasarkan tingkat persentase pertumbuhan benih padi pada uji patogenesitas yang melebihi perlakuan kontrol dan tidak mengalami nekrotik pada kecambah. Masing-masing cendawan endofit diambil 3 potongan agar berdiameter 5 mm dan dimasukkan ke dalam *potato dextrose broth* (PDB) 100 ml kemudian diaduk menggunakan *rotary shaker* dengan kecepatan 120 rpm selama 6 hari. Masa cendawan yang sudah berkembang dihomogenkan terlebih dahulu dengan cara mengaduk massa cendawan tersebut (Simanjuntak 2006). Pengamatan kepadatan propagul dilakukan menggunakan hemasitometer, dihitung dengan rumus :

Jumlah propagul per ml = (Jumlah Propagul 5 Kotak x 5 x 10⁴ / Faktor Pengenceran). Kepadatan yang diperoleh akan diencerkan sampai tingkat kerapatan 10⁵ propagul/ml.

b) Persiapan suspensi isolat cendawan endofit yang memproduksi konidia

Air steril sebanyak 10 ml dimasukkan ke dalam biakan murni cendawan endofit dalam cawan petri. Suspensi kemudian digerus-gerus dengan spatula sampai keruh. Apabila suspensi telah cukup keruh, dilakukan pengenceran suspensi sampai diperoleh tingkat kerapatan 10^5 propagul/ml. Suspensi cendawan endofit yang telah diencerkan kemudian dihitung kerapatan sporanya dengan menggunakan hemasitometer (Hermawati 2007).

c) Persiapan suspensi isolat bakteri endofit

Bakteri endofit yang diperoleh dari hasil seleksi uji patogenesitas benih padi ditumbuhkan pada media TSA selama 2 hari, kemudian dipanen dan disuspensikan dengan 7-8 ml akuades steril dalam tabung reaksi kemudian dihitung kepadatan bakteri sampai diperoleh koloni 10^8 cfu/ml (Munif et al. 2012).

d) Persiapan suspensi isolat cendawan *Pyricularia oryzae*

Pembuatan larutan konidia *P. oryzae* sebagai inokulum dilakukan dengan cara menggosok koloni berumur 10 hari pada media oat meal agar (OMA) menggunakan kuas No 10 dengan air steril ditambah streptomycin 100 ppm kemudian diinkubasi dalam laminar air flow selama 2×24 jam. Masing-masing cawan petri ditambahkan air steril yang mengandung Tween 20 sebanyak 0,1%, kemudian disaring menggunakan saringan teh dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer, dilakukan perhitungan tingkat kerapatan sampai 10^9 propagul/ml.

Uji dilakukan dengan menginduksi ketahanan pada tanaman padi melalui perendaman benih tanaman padi pada suspensi endofit yang telah dibuat. Benih yang akan diuji direndam terlebih dahulu menggunakan air panas selama 20 menit pada suhu 50°C untuk mempercepat pertumbuhan benih padi dan menghilangkan mikroba kontaminan pada permukaan benih padi. Benih kemudian direndam dalam larutan NaOCl 3% selama 1 menit, dibilas dengan air steril 3 kali untuk sterilisasi benih padi. Benih selanjutnya direndam dalam suspensi cendawan dan bakteri endofit selama 6 jam dan ditanam dalam bak

persemaian $\pm$ 12-14 hari setelah tanam (hst), bibit yang telah tumbuh diinokulasi cendawan *P. oryzae* dengan cara penyemprotan.

Tanaman yang telah diinokulasi disimpan dalam kamar lembap selama 2x24 jam, kemudian dipindah ke dalam ruang pengkabut selama $\pm$ 1 minggu (Munif et al. 2012). Pengamatan aktivitas cendawan *P. oryzae* pada tanaman padi dilakukan pada minggu ke 3, 4 dan ke 5 setelah tanam (Sobrizal et al. 2010). Pengukuran keparahan penyakit dilakukan selama 3 hari sekali. Penilaian kerusakan daun secara visual dapat dilihat pada Tabel 11 di bawah ini.

Rumus pengukuran keparahan penyakit :

$$S = \Sigma (n \times V) / (N \times V) \times 100\%$$

Keterangan :

S = Keparahan penyakit,

n = jumlah daun dengan skor tertentu,

v = skor daun yang terserang,

N = jumlah daun yang diamati,

V = skala skor tertinggi (IRRI 1996).

Tabel 11. Penilaian kerusakan daun secara visual

Skor	Kerusakan Daun	Klasifikasi
0	Tidak ada bercak	Sangat tahan
1	Bercak kecil berwarna coklat sebesar ujung jarum	Tahan
2	Bercak nekrotik kecil membulat, abu-abu, sedikit memanjang, panjang 1-2 mm, tepi coklat, bercak , banyak ditemukan di bagian bawah daun	Cukup tahan
3	Tipe bercak mirip dengan skor 2, tetapi sejumlah besar bercak sudah ditemukan pada bagian atas daun	Agak tahan
4	Bercak khas blas (belah ketupat), panjang 3 mm atau lebih, luas daun terserang kurang dari 2 %	Moderat

Skor	Kerusakan Daun	Klasifikasi
5	Bercak khas blas, panjang 3 mm atau lebih, luas daun terserang 2-10%	Moderat
6	Bercak khas blas, panjang 3 mm atau lebih, panjang 3 mm atau lebih, luas daun terserang 11-25%	Moderat
7	Bercak khas blas, panjang 3 mm atau lebih, luas daun terserang 26-50%	Agak rentan
8	Bercak khas blas, panjang 3 mm atau lebih, luas daun terserang 51-75%, beberapa daun mulai mati	Rentan
9	Semua daun mati, luas daun terserang lebih dari 75%	Sangat rentan

(IRRI 1996; Kharisma et al. 2013)

e. Pengaruh Bakteri dan Cendawan Endofit terhadap Pertumbuhan Tanaman

Pengaruh bakteri dan cendawan endofit terhadap pertumbuhan tanaman misalnya padi dilihat berdasarkan beberapa parameter pertumbuhan tanaman meliputi pengukuran tinggi tajuk tanaman, pengukuran panjang akar, bobot basah dan bobot kering biomassa serta jumlah anakan tanaman padi. Tinggi tajuk tanaman diukur mulai dari pangkal batang hingga ke ujung daun terpanjang. Pengamatan dilakukan pada akhir pengamatan intensitas penyakit di rumah kaca. Bobot kering diukur setelah tanaman dikeringkan pada oven selama 12 jam dengan suhu 90° C.

f. Hasil Aplikasi Agensia Hayati terhadap Pertumbuhan Tanaman

Berikut di bawah ini hasil penelitian penggunaan agensia hayati yang memacu pertumbuhan tanaman.

1) Aplikasi Agens Hayati dan Bahan Nabati Sebagai Pengendalian Layu Bakteri (*Ralstonia solanacearum*) pada Budidaya Tanaman Tomat (Maharina et al. 2014)

Tindakan PHT dapat dilakukan dengan memanfaatkan agens hayati dan bahan nabati yang lebih ramah lingkungan. Terdapat beberapa jenis agens hayati yang

bersifat antagonis terhadap *Ralstonia solanacearum* antara lain; *Streptomyces* sp., *Pseudomonas fluorescens*, dan *Trichoderma viride* (Paath, 1994 dalam Paath., 2005). Bahan nabati juga dapat digunakan sebagai pestisida nabati karena menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat antibakteri. Daun sirih dan kubis ialah beberapa diantara bahan nabati yang memiliki kemampuan mencegah perkembangan bakteri di dalam tanah.

Larutan agens hayati yang digunakan mengandung beberapa jenis mikroba yaitu *Streptomyces* sp., *Pseudomonas fluorescens*, dan *Trichoderma viride*. Secara umum, agens hayati memiliki mekanisme penghambatan terhadap patogen dengan cara menghasilkan senyawa antibiotik, kompetisi terhadap nutrisi, maupun parasitisme langsung terhadap patogen (Soesanto, 2004). Agens hayati mampu menghasilkan hormon yang dapat membantu meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman tomat. Hormon yang dihasilkan oleh *Streptomyces* sp. ialah hormon auksin IAA (*Indole-3-Acetic Acid*) yang berperan untuk menstimulasi pertumbuhan tanaman (Ulya, 2009).

Penggunaan agens hayati berpotensi menekan persentase tanaman sakit akibat layu bakteri dan perkembangan *Ralstonia solanacearum* di dalam tanah, selain itu juga berpotensi meningkatkan produksi buah tomat hingga 1301,67 gram per tanaman. Penggunaan pestisida nabati ekstrak daun sirih interval 3 hari dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman tomat dalam hal tinggi tanaman dan jumlah daun (Maharina et al. 2014).

2) Kombinasi Pupuk Organik dan Agen Hayati untuk Mengendalikan Hama *Spodoptera exigua* pada Tanaman Bawang Merah di Kecamatan Gending, Kabupaten Probolinggo (Agustini et al. 2017)

Pemanfaatan agen hayati yang ramah lingkungan, tidak berbahaya bagi musuh alami, dan tidak berbahaya bagi hewan dan manusia adalah cara yang bisa dilakukan untuk mengurangi penggunaan insektisida kimia. Beberapa jenis agens hayati yang bisa digunakan diantaranya adalah Nematoda Entomopatogen (NEP), jamur *Bauveria bassiana*, bakteri merah, *Bacillus thuringiensis*, dll. Selain itu petani juga ada yang memanfaatkan pestisida nabati dari pohon mimba (Agustini et al. 2017).

Tahapan dimulai dari inokulasi, yaitu kontak antara propagul cendawan dengan tubuh serangga, penempelan dan perkecambahan, penetrasi, destruksi, dan kolonisasi dalam hemolimfa, menginfeksi saluran makanan dan sistem pernapasan, baru kemudian serangga akan mati. Pada umumnya proses ini berlangsung selama 1-2 hari pada kondisi lingkungan yang sesuai (Prasetyo dan Wagiyana, 2015).

Berdasarkan hasil penelitian aplikasi kombinasi pupuk organik dan agen hayati di Kecamatan Gending Kabupaten Probolinggo dapat disimpulkan bahwa aplikasi kombinasi pupuk organik granul plus NEP dan agen hayati NEP *Heterorhabditis* sp. menurunkan populasi hama *Spodoptera exigua* sampai 72,260%. Aplikasi kombinasi pupuk organik granul plus NEP dan agen hayati NEP *Heterorhabditis* sp. meningkatkan pertumbuhan tanaman bawang merah lebih optimal. Jadi kombinasi pupuk organik granul plus NEP dan agen hayati NEP *Heterorhabditis* sp. (P2A1) lebih efektif dibandingkan dengan kombinasi yang lain (Agustini et al. 2017).

3) Peran Agen Hayati *Azotobacter-Trichoderma* terhadap Pertumbuhan dan Hasil Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.) pada Percobaan Pot (Hindersah dan Asmiran, 2017).

Mikroba tanah dapat digunakan sebagai input pertanian. Rizobakteri *Azotobacter* pemfiksasi nitrogen menjaga ketersediaan unsur hara nitrogen dan pertumbuhan tanaman sedangkan *Trichoderma* mampu menurunkan kejadian penyakit tular tanah melalui aktivitas antagonistik. Percobaan pot ini bertujuan untuk mendapatkan dosis dan waktu aplikasi inokulan *Azotobacter* dan *Trichoderma* yang dapat meningkatkan ketersediaan nitrogen tanah, pertumbuhan dan hasil tanaman cabai (*Capsicum annuum* L.).

Bibit cabai ditanam di tanah dengan kesuburan rendah yang dicampur dengan pupuk kotoran sapi. Rancangan percobaan adalah rancangan petak terbagai yang menguji empat taraf dosis inokulan dan tiga waktu aplikasi. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa tidak ada pengaruh agen biologi terhadap tinggi tanaman pada tiga dan enam minggu setelah tanam. Inokulasi 7,5 g pot⁻¹ inokulan padat Azoto-Tricho pada saat tanam secara signifikan meningkatkan

kadar NO_3^- tanah jika diikuti dengan penyiraman inokulan cair *Azotobacter* ke tanah pada 10 hari setelah tanam. Inokulan padat Azoto-Tricho meningkatkan hasil tanaman.

Hasil tertinggi, 290 g per tanaman diperoleh dari tanaman yang diberi 7,5 g Azoto-Tricho pada saat tanam diikuti aplikasi inokulan cair *Azotobacter*. Percobaan pot ini menjelaskan bahwa inokulan padat *Azotobacter-Trichoderma* berpotensi untuk digunakan sebagai agen hayati pada produksi cabai.

3. Rangkuman

Media pertumbuhan mikroba adalah suatu bahan yang terdiri atas campuran nutrisi (*nutrient*) yang digunakan oleh suatu mikroba untuk tumbuh dan berkembangbiak pada media tersebut. Bentuk media ada tiga macam yang dapat dibedakan dari ada atau tidaknya bahan tambahan berupa bahan pematat seperti agar-agar atau gelatin. Bentuk media berdasarkan komposisinya yaitu media alami, semi sintesis, dan sintesis. beberapa media yang sering digunakan secara umum dalam mikrobiologi yaitu: *lactose broth*, *emba* (*eosin methylene blue agar*), *nutrient agar*, *nutrient broth*, *mrsa* (*demann rogosa sharpe agar*), *trypticase soy broth* (*tsb*), *plate count agar* (*pca*), dan *potato dextrose agar* (*pda*).

Berdasarkan fungsinya, media dapat dibedakan menjadi sepuluh yaitu media dasar, media diferensial, media selektif, media diperkaya, media pengkayaan, media uji (identifikasi), medium khusus (spesifik), medium penguji, medium perhitungan jumlah mikroba. Media alternatif adalah media yang digunakan untuk menumbuhkan mikroba dengan menggunakan bahan-bahan yang murah dan mudah didapat seperti dedak padi, gula merah, monosodium glutamate, terasi dan molases. Tahapan memproduksi agensia hayati yaitu isolasi bakteri dan cendawan endofit, seleksi bakteri dan cendawan endofit, uji penghambatan pertumbuhan penyakit pada tanaman oleh bakteri dan cendawan endofit, dan uji penghambatan penyakit pada tanaman.

4. Soal Latihan

- a. Jelaskan pengertian media pertumbuhan mikroba
- b. Sebutkan klasifikasi media mikroba

- c. Jelaskan perbedaan media diperkaya dan media pengkayaan
- d. Sebutkan tahapan produksi agensia hayati

5. Kunci Jawaban

- a. Media pertumbuhan mikroba adalah suatu bahan yang terdiri atas campuran nutrisi (*nutrient*) yang digunakan oleh suatu mikroba untuk tumbuh dan berkembangbiak pada media tersebut. Mikroba memanfaatkan nutrisi pada media berupa molekul-molekul kecil yang dirakit untuk menyusun komponen sel-nya. Dengan media pertumbuhan juga bisa digunakan untuk mengisolasi mikroba, identifikasi dan membuat kultur murni. Komposisi media pertumbuhan dapat dimanipulasi untuk tujuan isolasi dan identifikasi mikroba tertentu sesuai dengan tujuan masing-masing pembuatan suatu media.
- b. Bentuk media ada tiga macam yang dapat dibedakan dari ada atau tidaknya bahan tambahan berupa bahan pematat seperti agar-agar atau gelatin. Bentuk media berdasarkan komposisinya yaitu media alami, semi sintesis, dan sintesis. Berdasarkan fungsinya, media dapat dibedakan menjadi sepuluh yaitu media dasar, media diferensial, media selektif, media diperkaya, media pengkayaan, media uji(identifikasi), medium khusus(spesifik), medium penguji, medium perhitungan jumlah mikroba.
- c. Media diperkaya (*enrichment*) adalah media yang dirancang untuk mendukung pertumbuhan mikroba. Media tersebut memiliki konstituen nutrisi yang mendorong pertumbuhan mikroba tertentu. Contohnya: kaldu selenit, atau kaldu tetrasyonat untuk memisahkan bakteri *Salmonella thyposa* dari tinja. Sedangkan, media pengkayaan adalah media ini umumnya mengandung bahan-bahan tertentu yang di satu pihak dapat menghambat pertumbuhan bakteri tertentu,tetapi di lain pihak sebaliknya dapat menunjang pertumbuhan bakteri tertentu lainnya.misalnya media muller-kauffman mengandung natrium tetrasyonat yang menunjang pertumbuhan salmonella tetapi menghambat pertumbuhan *Escherichia*.
- d. Tahapan memproduksi agensia hayati yaitu isolasi bakteri dan cendawan endofit, seleksi bakteri dan cendawan endofit, uji penghambatan

pertumbuhan penyakit pada tanaman oleh bakteri dan cendawan endofit, dan uji penghambatan penyakit pada tanaman.

6. Sumber Informasi dan Referensi

- Amrullah, K. I. 2002. *Nutrisi Ayam Broiler*. Lembaga Satu Gunung Budi. Bogor
- Baikow, V. E. 1982. *Manufacture and Refining of Sugar Cane*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam
- Chang ST, Miles PG. 2004. *Mushroom: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect and Environmental Impact*. 2 nd Ed. Florida (US): CRC Press LLC
- Hartadi, H. S., Reksohadiprodjo dan A. D. Tillman. 1990. *Tabel Komposisi Pakan untuk Indonesia*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Grist, D. H. 1972. *Rice*. 4th Edition. Lowe and Brydine Ltd. London.
- Griffin DH. 1991. *Fungal Physiology*. New York (US): J Willey
- Paturau, J. M. 1982. *By-Products of The Cane Sugar Industry*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam
- Rasyaf, M. 1990. *Bahan Makanan Unggas*. Kanisius. Yogyakarta.
- Santoro PH, Janaina Z, Kelly C, Pedro MOJN. 2014. Conidial Production, Virulence, and Stress Tolerance of *Beauveria bassiana* Conidia After Successive In Vitro Subculturing. *Revista Colombiana de Entomología* 40(1):85-90
- Syafiih A. 2015. *Efektivitas Media Kultur dengan Penambahan Serbuk Gergaji dan Sumber Nutrisi terhadap Pertumbuhan Miselia *Pleurotus ostreatus** [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor

C. Penilaian

1. **Sikap** : keikutsertaan dan partisipasi aktif dalam diskusi
2. **Pengetahuan** : kemampuan menjawab pertanyaan dengan benar soal latihan.
3. **Keterampilan** : kemampuan memproduksi agensia hayati

BAB III.

PENUTUP

Bahan ajar ini ditulis merupakan hasil studi kepustakaan dengan berpedoman pada capaian pembelajaran mata kuliah teknologi pemupukan ramah lingkungan. Sumber data yang digunakan adalah buku-buku teks, jurnal, skripsi, tesis, seminar, dan informasi dari internet.

Bahan ajar ini dilengkapi dengan soal latihan untuk mereview pemahaman teori serta tugas praktik yang harus dilakukan untuk mengimplementasikan materi. Selanjutnya tugas praktik dipandu tersendiri dengan buku petunjuk praktikum pada buku lainnya.

Terimakasih disampaikan kepada Pusat Pendidikan Pertanian Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian yang telah memfasilitasi proses penyusunan bahan ajar ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, R, Jumiati. 2007. Pengaruh Konsentrasi dan waktu Penyemprotan Pupuk Organik Cair super Aci Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jagung Manis. Fakultas Pertanian Universitas Udayana, Denpasar.
- Adhikari TB, Joseph CM, Yang G, Donal A, Nelsom LM. 2001. Evaluation of bacteria isolated from rice for plant growth promotion and biological rice. *Can J Microbiol.* 47(10): 916-924.
- Adiningsih SJ., IGP Wigena, S Rochayati, W Hartatik dan S Desire. 1995. Penelitian efisiensi pemupukan di Kuamang Kuning Jambi. Dalam Penelitian Pola Usahatani Terpadu di Daerah Transmigrasi Jambi, Pusat Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian. hlm. 41-72.
- Aldhita, T, R. 2013. Persepsi Petani Peternak terhadap Penggunaan Pupuk Organik Cair dari Urin Sapi Potong di Desa Pattallasang Kecamatan Sinjai Timur Kabupaten Sinjai [skripsi]. Jurusan Sosial Ekonomi Peternakan Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Amrullah, K. I. 2002. Nutrisi Ayam Broiler. Lembaga Satu Gunung Budi. Bogor
- Anas. I. 1990. Penuntun Praktikum Metode Penelitian Cacing Tanah dan Nematoda. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Dirjen Pendidikan Tinggi dan Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor
- Anwar, S. dan U. Sudadi. 2004. Pengantar Kimia Tanah. Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.
- Ardakani SS, Heydari A, Khorasani N, Arjmandi R. 2010. Development of new bioformulation of *Pseudomonas fluorescens* and evaluation of these products againts damping-off of cotton seedlings. *J Plant Pathol* 92: 83-88
- Arnold AE, Mejía LC, Kylo D, Rojas EI, Maynard Z, Robbins N, Herre EA. 2003. Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tress. *PNAS* 100:15649-15654.
- Arsyad, S. 2006. Konservasi Tanah dan Air. Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB. Bogor.

- Asher, C., Grundon, N. and Menzies, N. 2002. How to unravel and solve soil fertility problems. ACIAR Monograph No. 83, 139p.
- Baikow, V. E. 1982. Manufacture and Refining of Sugar Cane. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam
- Baligar, V. C. and R. R. Duncan. 1990. Crops as Enhancers of Nutrient Use. Academic Press, Inc. Toronto. 574p
- Barber, S.A. 1995. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY. Barber, S.A. 1978. Agron. J. 70:457-461
- Bergmann, W., 1992. Nutritional Disorders of Plants-Development, Visual and Analytical Diagnosis. Gustav Fisher, Verlag Jena, Germany
- Bradshaw. A.D. and M. J. Chadwick. 1980. The Restoration of Land. Black Well Scientific Publication. Oxford.
- Brady, N.C, dan R.R. Weil. 2002. The Nature and Properties of Soils 13th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 935 pp
- Chang ST, Miles PG. 2004. Mushroom: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect and Environmental Impact. 2 nd Ed. Florida (US): CRC Press LLC
- Clarke BB, White Jr JF, Hurley RH, Torres MS, Sun S, Huff DR, 2006. Endophyte mediated suppression of dollar spot disease in fine fescues. Plant Dis. 90: 994-998.
- Clay K, Schardl C. 2002. Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. American Naturalist 160:99-127.
- Coombs JT, Franco CMM. 2003. Isolation and identification of actinobacteria from surface sterilized wheat roots. J Appl Environ Microbiol. 69(9):5603-5608.
- Davidson, D.T. 1965. Penetrometer Measurement. pp. 472-483. In C. A. Black, &. Methods of Soil Analysis, Part I. Monograph 9, Am. Soc. Agron, Inc. Madison.
- Dinas Pertanian Kabupaten Bogor. 2010. Peraturan Bupati Bogor Nomor 13 Tahun 2010. Dinas Pertanian, Kabupaten Bogor.
- Dingle J, Mc Gee PA. 2003. Some endophyte fungi reduce the density of pustules of *Puccinia recondita* sp. *tritici* in wheat. Mycol Res. 107:310-316.

- Djajakirana, G. 2001. Kerusakan Tanah Sebagai Dampak Pembangunan Pertanian. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Donahue, R. L et al. 1983. Soil An Introduction to Soils and Plant Growth. Prentice – Hall, Englewood Cliffs, N J
- Douglass, F.J., T. Landis, T. Luna. 2009. Nursery Manual For Native Plant. Department of Agriculture. Washington.
- Fageria, NK. 2009. The use of nutrients in crop plants. Boca Raton : CRC Press.
- Farming.id. 2019. Berbagai Cara Pemupukan Tanaman Budidaya [internet]. [Waktu dan tempat tidak diketahui]. [diunduh pada 2019 Sept 24]. Tersedia pada <http://farming.id/berbagai-cara-pemupukan-tanaman-budidaya/>
- Fausiah TL, Santoso T, Nurhayati E. 2011. Potensi cendawan entomopatogen *Verticillium lecanii* dan *Beauveria bassiana* dalam mengendalikan wereng hijau dan menekan intensitas penyakit tungro. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan. 30(2):114-120.
- FFTC. 1995. Soil Conservation Handbook. English Edition. Prepared by the Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region. Taipei, Taiwan. ROC.
- Foth, D.H. 1988. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Terjemahan. Gadjah Mada University. Press, Yogyakarta
- Fravel DR. 1988. Role of antibiosis in the biocontrol of plant disease. Ann Rev Phytopathol 26:75-91
- Ganesan P, Reagan AD, David RHA, Gandhi MR, Paulraj MG, Al-Dhabi NA, Ignacimuthu S. 2016. Antimicrobial activity of some actinomycetes from Western Ghats of Tamil Nadu, India. Alex J Med. 3(4):1-10.
- Gelderman, R. 2011. Seed-placed fertilizer decision aid. [On-line] Isensee, A.R. and L.M. Walsh. 1971. J. Agric. Food Chem. 22:105-109
- Genarro M, Gonthier P, Nicolotti G. 2003. Fungal endophytic communities in healthy and declining *Quercus robur* L. and *Q. cerris* L. trees in Northern Italy. J Phytopathol. 151:529-534.

- Griffin DH. 1991. Fungal Physiology. New York (US): J Willey
- Grist, D. H. 1972. Rice. 4th Edition. Lowe and Brydine Ltd. London.
- Grundon, N. J. 1987. Hungry Crops: A Guide to Nutrient Deficiencies in Field Crops. Department of Primary Industries, Queensland Government. Information Series Q187002. 242p
- Gudugi. 2013. Effect of cow dung and variety on the growth and yield of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). Euro. J. Exp. Bio. 3(2): 495-498.
- Gundel PE, Helander M, Casas C, Hamilton C, Faeth S, Saikkonen K. 2012. Neotyphodium fungal endophyte in tall fescue (*Schedonorus phoenix*): a comparison of three Northern European wild populations and the cultivar Kentucky-31. Fungal Divers. 1-10.
- Gundel PE, Rudgers JA, Ghera CM. 2011. Incorporating the process of vertical transmission into understanding of host symbiont dynamics. Oikos 120: 1121-1128
- Gusmini, Darmawan, Asmar, Siska P. 2009. Penelitian pemanasan sekam padi terhadap ketersediaan Si (Silika) pada pertumbuhan dan hasil tanaman padi (*Oryza sativa* L.). [Internet]. [Waktu dan tempat pertemuan tidak diketahui]. Padang (ID): Universitas Andalas. hlm 9 – 18
- Hadisuwito, S. 2007. Membuat Pupuk Kompos cair. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta. 51 hlm.
- Hakim, N.M, Yusuf Nyakpa, A.M.Lubis, S.G.Nugroho, M.R, Saul, M.Amina Diha, Go.Ban,Hong, H.H,Bailey. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah, UNILA, Lampung.
- Hardjowigeno, S. 1993. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hardjowigeno, S. 2007. Ilmu Tanah. Penerbit Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hartadi, H. S., Reksohadiprodjo dan A. D. Tillman. 1990. Tabel Komposisi Pakan untuk Indonesia. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Hartatik dan Widowati. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor

- Hasriani. 2013. Kajian serbuk sabut kelapa (*cocopeat*) sebagai media tanam. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hastuti RD, Lestari Y, Suwanto A, Saraswati R. 2012. Endophytic *Streptomyces* spp. as biocontrol agents of rice bacterial leaf blight pathogen (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*). HAYATI J Bio Sci. 19(4):155-162.
- Hasyim A, Yasir H, Azwana. 2005. Seleksi substrat untuk perbanyak *Beauveria bassiana* (Bals.amo) Vuillemin dan infektivitasnya terhadap hama penggerek bonggol pisang *Cosmopolites sordidus* Germar. J. Hort. 15(2):116-123.
- Herdatiarni F, Himawan T, Rachmawati R. 2014. Eksplorasi cendawan entomopatogen *Beauveria* sp. menggunakan serangga umpan pada komoditas jagung, tomat, dan wortel organik di Batu, Malang. Jurnal HPT. 1(3): 1-11.
- Hillel, D. 1980. Soil and Water. Physical Principles and Processes. Akademik. Press. New York.
- Hoefl R.G., E.D. Nafziger, R.R. Johnson, and S.R. Aldrich. 2000. Modern Corn and Soybean Production. MCSP Publications. Champaign, IL. 353p
- Husnain. 2010. Mengenal silika sebagai unsur hara. Warta Litbang Pertanian Indonesia [Internet].; 32(3):19-20. Tersedia pada: pustaka.litbang.deptan.go.id/publikasi/wr323109.pdf
- Hywel-Jones NL. 2002. The importance of invertebrate pathogenic fungi from the tropics. Trop Mycol. 2:133-142.
- IPNI. 2017. 4T Hara Tanaman: Pedoman Peningkatan Manajemen Hara Tanaman, (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski), International Plant Nutrition Institute, Penang, Malaysia.
- Islami, T. dan Utomo, W.H. 1995. Hubungan Tanah, Air dan Tanaman. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Kaspar, T.C. et al. 1991. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:1390-1394.
- Kim GH, Lim MT, Hur JS, Yum KJ, Koh YJ. 2009. Biological control of tea anthracnose using an antagonistic bacterium of *Bacillus subtilis* isolated from tea leaves. J Plant Pathol 25:99-102

- Lakitan, B. 1995. Hortikultura : Teori, Budidaya dan Pasca Panen. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta. Hlm 219
- Lehtonen P, Helander M, Saikkonen K. 2005. Are endophyte-mediated effects on herbivores conditional on soil nutrients?. *Oecologia* 142:38-45.
- Lestari Y, Yusepi TT, Pratyasto AP, Mubarik NR, Hamim. 2014. In vitro capability of rice endophytic *Streptomyces* spp. in producing Indole acetic acid and fixing nitrogen. *Advance in Environ Biol.* 8(13):728-735.
- Lestari Y. 2006. Identification of indigenous *Streptomyces* spp. producing antibacterial compounds. *J Microbiol Indones.* 11:99-101.
- Li HM, Sullivan R, Moy M, Kobayashi DY, Belanger FC. 2004. Expression of a novel chitinase by the fungal endophyte in *Poa annua*. *Mycologia* 96 (3): 526-536.
- Lindsay, W. L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley and Sons. New York.
- Luangsa-Ard JJ, Tasanathai K, Mongkolsamrit S, Hywel-Jones NL, Spatafora JW. 2006. The Collection, Isolation, and Taxonomy of Invertebrate-Pathogenic Fungi [Workshop Manual]. Pathum Thani (TH): NSTDA
- Ma'shum, J. Soedarsono dan L. Endang. 2003. Biologi Tanah. Bagpro Peningkatan Kualitas SDM, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Madigan MT, Martinko JM, Parker J. 2006. Brock Biology Of Microorganism. Toronto (CA): Prentice Hall Canada Inc.
- Mariati, N. 2014. Utilization of maize cob biochar and rice husk charcoal as soil amendments for improving acid soil fertility and productivity. *JDMLM.* 2(1):223-230.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press Inc, London Ltd. 674p. Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, Inc. Toronto. 412p.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press Inc, London Ltd. 674p. Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, Inc. Toronto. 412p.

- Mashall, T.J and J. W. Holmes. 1988. Soil Physics, Cambridge University Press, New York.
- Mayfield CI, Williams ST, Ruddick SM, Hatfield HL. 1972. Studies on the ecology of actinomycetes in soil. IV. Observations on the form and growth of Streptomycetes in soil. Soil Biol Biochem. 4:79-91.
- Mc Cauley, N., Jones, C. and Jacobsen, J., 2011. Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms. Nutrient Management Module No. 9. Montana State University.
- Mc. Kenzie, R, dan Pauly, D. 2013. Potassium Fertilizer Application in Crop Production, Alberta Agriculture and Rural Development.7 pp
- Mejía LC, Rojas EI, Maynard Z, Bael SV, Arnold AE, Hebbar P, Samuels GJ, Robbins N, Herre EA. 2008. Endophytic fungi as biocontrol agents of Theobroma cacao pathogens. Bio Cont. 46:4-14.
- Messaoudi O, Bendahou M, Benamar I, Abdelwouhid DE. 2015. Identification and preliminary characterization of non-polyene antibiotics secreted by new strain of actinomycete isolated from sebkha of Kenadsa, Algeria. Asian Pac J Trop Biomed. 5(6): 438-445.
- Mubarik NR, Mahagiani I, Putri AA, Santoso S, Rusmana I. 2010. Chitinolytic bacteria isolated from chili rhizosphere: chitinase characterization and application as biocontrol for whitefly (*Bemisia tabaci* Genn.). Am J Agric Biol Sci 5:430-535.
- Muchovej, R.M.C. dan J.E. Rechcigl. 1995. Nitrogen fertilizers. In: Rechcigl JE (ed) Soil amendmets and environmental quality. CRC Press, Inc. Boca Raton
- Musa, L, Mukhlis dan Rauf, A. 2006. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Departement Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Muslimin, I., A. Sofyan. 2007. Pengaruh asal bahan dan media stek terhadap pertumbuhan stek batang tembesu (*Fragraea fragarans* roxb). hal. 201-206. Prosiding Ekspose Hasil-hasil Penelitian: Konservasi dan Rehabilitasi Sumberdaya Hutan. Balai Litbang Hutan Tanaman Palembang. Padang 20 September 2006.

- Nugraha S, Jetty S. 2003. Peluang agribisnis arang sekam. Warta Litbang Pertanian Indonesia [Internet].; 25(3):1-2. Tersedia pada: <http://203.176.181.70/bppi/lengkap/wr254033.pdf>
- Nurhayati. 2011. Penggunaan Jamur dan Bakteri dalam Pengendalian Penyakit tanaman secara Hayati yang Ramah Lingkungan. hal 316-321. Prosiding Semirata Bidang Ilmu-ilmu Pertanian BKS-PTN Wilayah Barat Tahun 2011. Universitas Sriwijaya. Palembang 23 Mei 2011
- Paturau, J. M. 1982. By-Products of The Cane Sugar Industry. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam
- Pérez LI, Gundel PE, Ghera CM, Omacini M. 2013. Family issues: fungal endophyte protects host grass from the closely related pathogen *Claviceps purpurea*. Fungal Ecol. 6:379-386.
- Prastowo, N., J.M. Roshetko. 2006. Teknik Pembibitan dan Perbanyak Vegetatif Tanaman Buah. World Agroforestry Centre (ICRAF) dan Winrock International. Indonesia.
- Prayogo Y, Tengkan W. 2002. Pengaruh media tumbuh terhadap daya berkecambah, sporulasi, dan virulensi *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff)
- Prayogo Y. 2006. Upaya mempertahankan keefektifan cendawan entomopatogen untuk mengendalikan hama tanaman pangan. Jurnal Penelitian Pertanian. 25(2):47-54.
- Procópio REL, Silvaa IR, Martins MK, Azevedo JL, Araújo JM. 2012. Antibiotics produced by *Streptomyces*. Braz J Infect Dis. 16(5):466-471
- Purwantoro, R.S. 2016. Short communication: Effect of growing media on seed germination and seedling growth of *Agnope heptophylla* (Leguminosae). Nusantara Bioscience. 8(2): 150-154.
- Rachim, D. A. dan Suwardi. 1999. Morfologi dan Klasifikasi Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rachman A, Dariah A, dan Santoso J. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor.

- Rao. 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yield in tropical soil. Sect. B. Biol. Sci. 84(3): 505-518.
- Rasmussen S, Parsons AJ, Popay A, Xue H., Newman JA. 2008. Plant-endophyteherbivore interactions: more than just alkaloids?. Plant Signal and Behav. 3:974-977.
- Rasyaf, M. 1990. Bahan Makanan Unggas. Kanisius. Yogyakarta.
- Riadi, Y. A. 2015. Pengaruh komposisi media tanam dan pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kacang hijau [skripsi]. Pontianak (ID): Universitas Tanjungpura.
- Riana E. 2011. Seleksi dan Formulasi Konsorsium Bakteri untuk Mengendalikan Penyakit Blas (*Pyricularia oryzae*) pada Tanaman Padi [skripsi]. Bogor: FMIPA, IPB
- Rochani, S., and D. Retno. 1997. Acid Mine Drainage : General Overview and Strategis to Control Impacts. Indonesia Mining J. 3(2): 36-42.
- Römheld, V. and Kirkby,E.A., 2010. Research on potassium in agriculture: Needs andprospects. Plant Soil, 335:155-180
- Römheld, V., 2012. Diagnosis of deficiency and toxicity of Nutrients. In “Marschner’sMineral Nutrition of Higher Plants”, P. Marschner (ed.). Third Edition, Elsevier,Academic Press. 299-312 pp
- Said, I, M. 2014. By product Ternak. IPB Press, Bogor.
- Saikkonen K, Saari S, Helander M. 2010. Defensive mutualism between plants and endophytic fungi?. Fungal Divers. 41:101-113. doi:10.1007/s13225-010-0023-7.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1992. Plant Physiology. 4thEdition. Terjemahan : Diah R. Lukman dan Sumaryono. Fisiologi Tumbuhan. Jilid
- Santoro PH, Janaina Z, Kelly C, Pedro MOJN. 2014. Conidial Production, Virulence, and Stress Tolerance of *Beauveria bassiana* Conidia After Successive In Vitro Subculturing. Revista Colombiana de Entomología 40(1):85-90
- Sarief, S. 1989. Fisika-Kimia Pertanian. Pustaka Buana, Bandung

- Schulz B, Boyle C. 2005. The endophytic continuum. *Mycologia* 109(6):661-686. Sorokin isolat kendal payak pada larva *Spodoptera litura*. *Jurnal Ilmiah Sainteks*. 9(4): 233-241.
- Setiadi, Y. 1996. The practical application of arbuscular mycorrhiza fungi for enhancing tree establishment in degraded nickel mine site at PT. INCO,
- Setyorini D, Saraswati R, Anwar EK. 2006. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Peneitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor.
- Sharp, R.E. et al. 1988. *Plant Physiol.* 87:50-57.
- Sims, A.L. 2010. *Agron. J.* 102:1369-1378
- Sitompul, S.M. 2015. *Nutrisi Tanaman: Diagnosis Defisiensi Nutrisi Tanaman*. Uniersitas Brwijaya: Surabaya
- Sitorus, S, K.R, Brata dan O.Haridjaja. 1980. *Penuntun Praktikum Fisika Tanah*. IPB, Bogor.
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. Departemen Ilmu Tanah. IPB. Bogor.
- Sreevidya M, Gopalakrishnan S, Kudapa H, Varshney R.K. 2015. Exploring plant growth-promotion actinomycetes from vermicompost and rhizosphere soil for yield enhancement in chickpea. *Brazilian J. Mikrobiol.* 4 (7): 85-95.
- Suradal. 2014. Pembuatan arang sekam sebagai media tanam. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Yogyakarta. <http://yogya.litbang.pertanian.go.id>.
- Suriadikarta DA, T Prihatini, D Setyorini, dan W Hartatik. 2002. *Teknologi Pengelolaan Bahan Organik*
- Suriadikarta dan Simanungkalit. 2006. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Peneitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor.
- Suriadikarta dan Simanungkalit. 2006. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Peneitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian: Bogor.
- Suriadikarta, D.A. dan I P.G. Widjaja- Adhi. 1986. Pengaruh residu pupuk fosfat, kapur dan bahan organik terhadap kesuburan tanah dan hasil kedelai pada Ultisol Rangkasbitung. *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk* 6: 15-19.

- Sutanto, R. 2002. Penerapan Pertanian Organik. Kanisius. Yogyakarta. 232 hlm.
- Suwardi dan H. Wiranegara. 2000. Penuntun Praktikum Morfologi dan Klasifikasi Tanah. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Suzuki S, Yamamoto K, Okuda T, Nishio M, Nakanishi N, Komatsubara S. 2000. Selective isolation and distribution of *Actinomadura rugatobispora* strains in soil. *Actinomycetologica*. 14:27-33.
- Syachroni FA. 2011. Efektivitas formulasi konsorsium bakteri sebagai pengendali penyakit hawar pelepah daun tanaman padi [skripsi]. Bogor: FMIPA, IPB
- Syafiih A. 2015. Efektivitas Media Kultur dengan Penambahan Serbuk Gergaji dan Sumber Nutrisi terhadap Pertumbuhan Miselia *Pleurotus ostreatus* [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor
- Tan RX, Zou WX. 2001. Endophytes : A rich source of functional metabolites. *Nat. Prod. Rep.* 18:448-459.
- Tan, K.H. 1993. Environmental Soil Science. Marcel Dekker. Inc. New York.
- Tanada Y, Kaya HK. 1993. Insect Pathology. San Diego (US): Academic Press.
- Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian. 183-238
- Tian P, Nan Z, Li C, Spangenberg G. 2008. Effect of the endophyte *Neotyphodium lolii* on susceptibility and host physiological response of perennial rye grass to fungal pathogens. *Euro J Plant Pathol.* 122:593-602.
- Uchitel A, Omacini M, Chaneton EJ. 2011. Inherited fungal symbionts enhance establishment of an invasive annual grass across successional habitats. *Oecologia* 165:465-475.
- Valan Arasu M, Duraipandiyar V, Agastian P, Ignacimuthu S. 2008. Antimicrobial activity of *Streptomyces* sp. ERI-26 recovered from Western Ghats of Tamil Nadu. *J Mycol Med* 18:147-53.
- Walker, J.M. 1969. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:729-736.
- Wang JW, Wu JH, Huang YW, Tan RX. 2006. Laccase production by *Monotospora* sp. an endophytic fungus in *Cynodon dactylon*. *Biores Technol.* 97:786-789.

- Wesley, L.D. 1973. Mekanika Tanah. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- White Jr, J.F., Torres, MS, 2010. Is plant endophyte-mediated defensive mutualism the result of oxidative stress protection?. *Plant Physiol.*138:440-446.
- Wijaya, K.A. 2008. Nutrisi tanaman sebagai penentu kualitas hasil dan resistensi alami tanaman. Jakarta: Prestasi Pustaka
- Winarso, S.2005. Kesuburan Tanah:Dasar Kesehatan dan Kualitas Tanah. Gava media. Jogjakarta. 269 hal
- Wiraatmaja, I. W. 2017. Defisiensi dan Toksisitas Hara Mineral Serta Responnya terhadap Hasil. Universitas Udayana: Bali
- Yan N, Wang XQ, Xu XF, Guo DP, Wang ZD, Zhang JZ, Hyde KD, Liu HL. 2013. Plant growth and photosynthetic performance of *Zizania latifolia* are altered by endophytic *Ustilago esculenta* infection. *Physiol and Molecular plant Pathol.* 83:75-83.
- Yuanita, D. 2010. Cara Pembuatan Pupuk Organik Cair. <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pengabdian/dewi-yuanita-lestari-ssi-msc/carapembuatanpupuk-organik-cair.pdf>. diakses 2 Oktober 2016.
- Zhang CS, Podeschwa M, Block O, Altenbach HJ, Piepersberg W, Wehmeier UF. 2003. Identification of a lepi-valienol 7-kinase activity in the producer of acarbose, *Actinoplanes* sp. *FEBS Lett.* 540(1): 53-57.
- Zhang HW, YC Song, RX Tan. 2006. Biology and chemistry of endophytes. *Nat. Prod Rep.* 23:753-771.
- Zhang, J. and S.A. Barber. 1992. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:819-822
- Zuraidah. 2012. Potensi beberapa bakteri penghambat pertumbuhan *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* penyebab penyakit hawar daun bakteri pada tanaman padi [tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.

