




# ***ILMU KESUBURAN TANAH DAN PEMUPUKAN***

Rianida Taisa • Tioner Purba • Sakiah • Jajuk Herawati • Abdus Salam Junaedi  
Halimatus Syahdia Hasibuan • Junairiah • Refa Firgiyanto



A close-up photograph of several small green seedlings with heart-shaped leaves growing out of dark, rich soil. The image is overlaid with several semi-transparent, dark gray geometric shapes, including triangles and squares, which create a modern, layered aesthetic. The text is centered in the upper half of the image.

***ILMU KESUBURAN TANAH  
DAN PEMUPUKAN***

## UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

# **Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan**

Rianida Taisa, Tioner Purba, Sakiah, Jajuk Herawati  
Abdus Salam Junaedi, Halimatus Syahdia Hasibuan  
Junairiah, Refa Firgiyanto



Penerbit Yayasan Kita Menulis



# Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2021

Penulis:

Rianida Taisa, Tioner Purba, Sakiah, Jajuk Herawati  
Abdus Salam Junaedi, Halimatus Syahdia Hasibuan  
Junairiah, Refa Firgiyanto

Editor: Abdul Karim

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: [kitamenulis.id](http://kitamenulis.id)

e-mail: [press@kitamenulis.id](mailto:press@kitamenulis.id)

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Rianida Taisa., dkk.

Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan

Yayasan Kita Menulis, 2021

xii; 110 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-165-2

Cetakan 1, Agustus 2021

- I. Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan
- II. Yayasan Kita Menulis

## Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa  
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

# Kata Pengantar

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat serta karunia-Nya sehingga buku yang berjudul “Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan ” dapat diselesaikan.

Tanah merupakan salah satu sumberdaya yang harus kita jaga kelestariannya. Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk, semakin meningkat pula kebutuhan akan lahan yang produktif. Namun hal ini tidak diikuti dengan perluasan areal pertanian guna untuk mendukung mencukupi kebutuhan pangan. Dengan demikian, untuk mempertahankan kesuburan tanah, diperlukan cara-cara pengelolaan yang tepat. Buku ini diharapkan dapat menjadi pegangan bagi mahasiswa di bidang pertanian serta membantu menambah pengetahuan bagi para masyarakat umum yang sudah atau berminat untuk berkecimpung di bidang pertanian.

Buku ini membahas :

Bab 1 Pengantar Kesuburan Tanah Dan Pemupukan

Bab 2 Kesuburan Fisik Tanah

Bab 3 Kesuburan Kimia Tanah

Bab 4 Unsur Hara Dan Penyerapannya Oleh Tanaman

Bab 5 Kesuburan Biologi Tanah

Bab 6 Kemasaman Dan Alkalinitas Tanah

Bab 7 Dasar Pengelolaan Hara Tanaman

Bab 8 Nitrogen Sebagai Hara Tanaman

Buku ini disusun secara berkolaborasi dengan beberapa dosen dari berbagai institusi sebagai perwujudan dari Tri Dharma Perguruan Tinggi. Dalam penyusunan buku ini kami (penulis) banyak mendapat bantuan

dan dukungan serta saran dari berbagai pihak. Untuk itu kami ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku ini.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penyusunan buku ini. Saran dan kritik dari para mahasiswa, rekan sejawat, dan pembaca lain sangat diharapkan untuk memperbaiki substansi dan penyajian buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa di bidang pertanian khususnya dan bagi pembaca yang tertarik bidang pertanian pada umumnya.

Medan, Juni 2021.

Penulis.



# Daftar Isi

Kata Pengantar .....	V
Daftar Isi .....	Vii
Daftar Gambar .....	Xi
Daftar Tabel .....	Xiii

## **Bab 1 Pengantar Kesuburan Tanah Dan Pemupukan**

1.1 Pendahuluan .....	1
1.1.1 Definisi Kesuburan Tanah .....	2
1.1.2 Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Kesuburan Tanah .....	2
1.1.3 Pengelolaan Kesuburan Tanah .....	4
1.2 Pupuk Dan Pemupukan.....	6
1.2.1 Klasifikasi Pupuk.....	7
1.2.2 Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Pemupukan .....	8
1.2.3 Perhitungan Pupuk.....	10

## **Bab 2 Kesuburan Fisik Tanah**

2.1 Pendahuluan.....	13
2.2 Kesuburan Fisik Tanah .....	14
2.2.1 Tekstur.....	15
2.2.2 Struktur Tanah .....	18
2.2.3 Kerapatan Partikel Tanah (Soil Density) .....	20
2.2.4 Solum Tanah/Kedalaman Efektif.....	21
2.2.5 Warna Tanah.....	21
2.2.6 Porositas Tanah.....	22
2.2.7 Kekuatan Tanah.....	23
2.3 Perbaikan Kesuburan Fisik Tanah .....	24

## **Bab 3 Kesuburan Kimia Tanah**

3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Bahan Organik Tanah .....	28
3.3 Reaksi Tanah (Ph) .....	30
3.3.1 Faktor – Faktor Yang Memengaruhi Kemasaman Tanah.....	32
3.3.2 Tindakan Mengatasi Kemasaman Tanah .....	33

3.3.3 Masalah Terkait Ph Dan Hubungannya Dengan Fungsi Tanah.....	33
3.4 Kapasitas Tukar Kation (Ktk).....	35
3.5 Kejenuhan Basa .....	37

#### **Bab 4 Unsur Hara Dan Penyerapannya Oleh Tanaman**

4.1 Pendahuluan.....	39
4.2 Tinjauan Tentang Unsur Hara .....	40
4.2.1 Fungsi Unsur Hara Bagi Tanaman.....	41
4.2.2 Jenis-Jenis Penggolongan Unsur Hara Pada Tanaman.....	41
4.3 Penyerapan Unsur Hara Oleh Tanaman .....	44
4.3.1 Proses Penyerapan Unsur Hara Oleh Akar Tanaman.....	44
4.3.2 Proses Penyerapan Unsur Hara Oleh Daun Tanaman .....	48

#### **Bab 5 Kesuburan Biologi Tanah**

5.1 Pendahuluan.....	51
5.2 Fiksasi Nitrogen Oleh Bakteri Endofit.....	52
5.3 Pelarutan Fosfat Oleh Bakteri Endofit .....	55
5.4 Proteksi Dan Biokontrol Bakteri Endofit Terhadap Mikroba Patogen Pada Tanaman .....	57
5.5 Produksi Hormon Iaa Oleh Bakteri Endofit .....	58

#### **Bab 6 Kemasaman Dan Alkalinitas Tanah**

6.1 Kemasaman Dan Alkalinitas Tanah.....	61
6.2 Sumber-Sumber Kemasaman Tanah .....	64
6.2.1 Pemupukan.....	64
6.2.2 Aluminium .....	65
6.2.3 Oksida Mineral Sulfida .....	65
6.2.4 Bahan Induk Tanah .....	65
6.2.5 Air Hujan.....	65
6.2.6 Hujan Asam .....	66
6.2.7 Dekomposisi Bahan Organik.....	66
6.2.8 Nutrisi Tanaman .....	66
6.3 Sumber-Sumber Alkalinitas Tanah.....	66
6.3.1 Mineral .....	66
6.3.2 Hujan .....	67
6.3.3 Hujan .....	67
6.3.4 Akumulasi Garam.....	67
6.3.5 Aktivitas Manusia.....	67
6.4 Pengaruh Ph Terhadap Hara Tanah .....	67

6.5 Pengelolaan Kemasaman Dan Alkalinitas Tanah.....	68
6.5.1 Pengapuran.....	68
6.5.2 Penggunaan Tanaman Toleran Al.....	69
6.5.3 Pemberian Gypsum.....	69

## **Bab 7 Dasar Pengelolaan Hara Tanaman**

7.1 Pendahuluan.....	71
7.2 Pengelolaan Hara Pada Tanaman Pangan.....	73
7.2.1 Pengelolaan Hara Pada Tanaman Padi.....	74
7.2.2 Pengelolaan Hara Pada Tanaman Kedelai.....	76
7.2.3 Pengelolaan Hara Pada Tanaman Jagung.....	76
7.2.4 Pengelolaan Hara Pada Tanaman Kentang.....	77
7.2.5 Pengelolaan Hara Pada Tanaman Singkong.....	77
7.3 Pengelolaan Hara Pada Tumpang Sari Kapas Dan Kacang Hijau.....	78
7.4 Pengelolaan Hara Pada Cabai Merah.....	79

## **Bab 8 Nitrogen Sebagai Hara Tanaman**

8.1 Pendahuluan.....	81
8.2 Reduksi Nitrat.....	84
8.3 Peran Nitrogen.....	86
8.4 Gejala Defisiensi Nitrogen.....	87
8.5 Gejala Kelebihan Nitrogen.....	88
8.6 Kehilangan Nitrogen Dalam Tanah.....	88
8.6.1 Digunakan Mikro Organisme Dan Diserap Oleh Tanaman.....	88
8.6.2 Pencucian.....	89
8.6.3 Proses Denitrifikasi.....	89
8.6.4 Volatilisasi (Penguapan).....	90
8.7 Macam-Macam Pupuk Nitrogen.....	90
Daftar Pustaka.....	93
Biodata Penulis.....	105





# Daftar Gambar

Gambar 1.1: Hubungan pH tanah dengan ketersediaan unsur hara.....	4
Gambar 3.1: Kisaran nilai pH yang terdapat pada tanah .....	31
Gambar 3.2: Hubungan ketersediaan unsur hara dengan reaksi tanah .....	34
Gambar 3.3. Hubungan ketersediaan fosfor dengan rentang pH tanah .....	34
Gambar 3.4. Diagram skema yang menunjukkan pertukaran kation antara permukaan tanah dengan larutan tanah.....	35
Gambar 3.5: Pengaruh pH terhadap muatan permukaan tanah dan komponennya.....	37
Gambar 4.1: Mekanisme Penyerapan Hara .....	47
Gambar 4.2: Penampang Melintang Daun .....	49
Gambar 5.1: Bakteri rizosfir .....	52
Gambar 5.2: Pergerakan fosfat di tanah .....	55
Gambar 5.3: Mekanisme pelarutan fosfat oleh bakteri pelarut fosfat. ....	57
Gambar 5.4: Skema mekanisme sintesis hormon IAA.....	60
Gambar 6.1: Reaksi tanah .....	62
Gambar 8.1: Gambar tersebut merangkum jalur regulasi dan hubungan metabolisme di antara transporter utama yang terlibat di serapan N oleh akar, mengambil sebagai model Arabidopsis .....	82
Gambar 8.2: Gejala Defisiensi unsur hara N .....	87





# Daftar Tabel

Tabel 2.1: Tabel Kelas Tekstur Tanah .....	16
Tabel 2.2: Deskripsi Tipe-Tipe Struktur Tanah.....	19
Tabel 3.1: Kandungan Hara yang Dihasilkan oleh <i>Mucuna bracteata</i> Dibandingkan dengan LCC Konvensional.....	29
Tabel 3.2: Kadar bahan organik tanah pada lahan aplikasi dan tanpa aplikasi LCPKS di Kebun Pangarungan, PT. Asam Jawa. ....	30
Tabel 3.4 Kapasitas Tukar Kation pada pH 7.0 pada perbedaan tipe mineral tanah, tekstur tanah dan bahan organik tanah.....	36
Tabel 5.1: Bakteri endofit diazotrof.....	53
Tabel 6.1: Reaksi tanah berdasarkan kriteria PPT (1983) .....	62



# Bab 1

## Pengantar Kesuburan Tanah dan Pemupukan

### 1.1 Pendahuluan

Tanah merupakan benda alami yang terbentuk akibat dari interaksi iklim, bahan induk, relief, organisme, dan waktu. Setiap partikel tanah tersusun dari 45 % mineral, 5% bahan organik, 25% air, dan 25 % udara. Sebagai sumberdaya alam, tanah juga merupakan sumber kehidupan bagi mikroorganisme dan tanaman yang tumbuh di atasnya. Menurut (Brady dan Weil, 2008) tanah memiliki enam fungsi di dalam ekosistem, yaitu: (1) tanah sebagai media tumbuh bagi tanaman, (2) tanah sebagai habitat bagi mikroorganisme tanah, (3) tanah sebagai sistem pendaur ulang bahan organik, (4) tanah sebagai pengatur pasokan air bagi mahluk hidup, (5) tanah berperan dalam menjaga kelembaban atmosfer, dan (6) tanah merupakan medium keteknikan bagi manusia.

Penurunan kualitas kesuburan tanah disebabkan oleh berbagai faktor, menurut (Dragovic dan Vulevic, 2020) faktor utama yang menyebabkan penurunan kualitas kesuburan tanah yaitu penggunaan lahan, perubahan iklim, peningkatan jumlah penduduk, dan urbanisasi. Penggunaan lahan secara berlebihan dengan tidak dibarengi pengelolaan yang tepat, akan menyebabkan

tanah akan mengalami degradasi, sehingga penurunan kualitas tanah akan semakin cepat terjadi. Selain itu peningkatan jumlah penduduk juga akan seiring dengan peningkatan kebutuhan pangan, sehingga tantangan yang akan dihadapi yaitu mencukupi kebutuhan pangan melalui peningkatan produktivitas hasil pertanian. Hasil penelitian (Schoonover dan Crim, 2015) menunjukkan bahwa untuk meningkatkan produktivitas hasil pertanian dibutuhkan tambahan input seperti penggunaan pupuk, pestisida, herbisida, dan alat-alat berat lainnya, yang secara tidak langsung dapat menyebabkan penurunan kualitas kesuburan tanah. Oleh karena itu, untuk meningkatkan produktivitas pertanian, diperlukan pengelolaan kesuburan tanah yang berkelanjutan.

### 1.1.1 Definisi Kesuburan Tanah

Dalam kegiatan budidaya tanaman, kesuburan tanah merupakan faktor utama yang harus diperhatikan. Kesuburan tanah mencerminkan produktivitas suatu tanah. Kesuburan tanah didefinisikan sebagai kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara yang cukup dan berimbang untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Brady dan Weil, 2008). Namun beberapa hasil penelitian juga menunjukkan bahwa, tanah dikatakan subur bukan hanya karena keberadaan unsur hara, karena untuk dapat tumbuh optimal tanaman membutuhkan kondisi lainnya seperti kondisi air serta tata udara tanah yang baik serta keberadaan mikroorganisme tanah sebagai agen perombak bahan organik. Artinya kesuburan tanah secara fisika dan biologi juga ikut berperan untuk menciptakan kondisi tanah yang subur.

### 1.1.2 Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Kesuburan Tanah

Ada beberapa faktor yang memengaruhi kesuburan tanah. Faktor-faktor tersebut ditentukan oleh keadaan fisika, biologi, dan kimia tanah. Secara rinci dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Tekstur Tanah

Tanah yang subur memiliki sifat-sifat fisika yang baik. Sifat-sifat fisika tanah yang dapat mencerminkan tingkat kesuburan diantaranya: tekstur tanah, struktur tanah, kadar air, dan porositas. Tekstur tanah didefinisikan sebagai perbandingan relatif fraksi pasir, debu, dan liat. Tanah yang bertekstur kasar memiliki daya mengikat air yang rendah, kemampuan untuk menjerap dan mempertukarkan

kation juga lebih rendah, sehingga tanah dengan tekstur yang kasar memiliki kesuburan yang lebih rendah daripada tanah yang bertekstur sedang (lempung/loam). Kadar air tanah yaitu kandungan air tanah yang berada pada pori makro dan mikro, tanah pada kondisi kapasitas lapang atau mengandung 25% air dari total volume tanah merupakan kondisi tanah yang ideal untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Jika dalam pertumbuhan tanaman kekurangan air, maka tanaman akan kesulitan untuk mendapatkan unsur hara dan zat-zat hasil fotosintat akan terhambat untuk didistribusikan ke seluruh bagian tanaman, sehingga pertumbuhan tanaman akan terhambat (Balch, et al., 1996). Selain itu, aktivitas mikroorganisme tanah juga akan terganggu jika di tanah tersebut mengalami defisiensi air.

## 2. Bahan Organik Tanah, Jumlah, dan Aktivitas Mikroorganisme

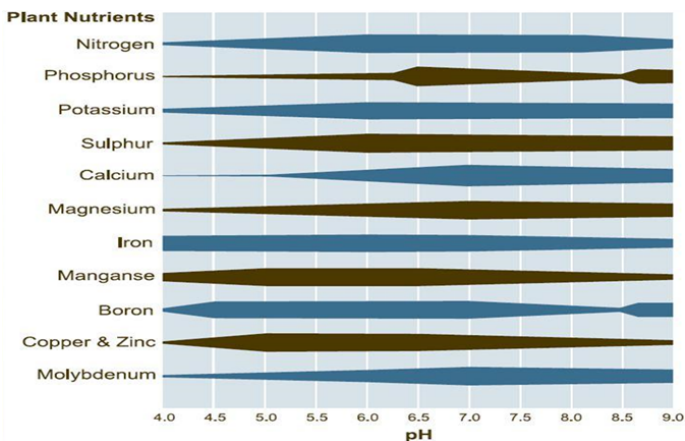
Kesuburan biologi tanah dicirikan dengan kandungan bahan organik, jumlah dan aktivitas mikroorganisme di dalam tanah. (Bot dan Benites, 2005) menyatakan bahwa bahan organik tanah merupakan bahan yang berasal dari makhluk hidup baik flora maupun fauna yang masih hidup maupun yang telah didekomposisi oleh mikroorganisme tanah. Sekitar 10 – 40% bahan organik terdiri dari mikroorganisme hidup di dalam tanah, dan sekitar 40-60% merupakan bahan organik yang telah melapuk sempurna dan stabil atau biasa kita kenal dengan humus.

Bahan organik yang telah terdekomposisi akan menghasilkan asam-asam organik yang sangat bermanfaat bagi kesuburan tanah. Kehadiran asam-asam organik akan membuat agregat tanah semakin mantap dan meningkatkan kemampuan menahan air meningkat (Nurida dan Kurnia, 2009). Dari segi kimia tanah, kehadiran bahan organik akan meningkatkan kemampuan tanah dalam menjerap dan mempertukarkan kation, serta melarutkan sejumlah unsur hara dari mineral oleh asam humus, sehingga meningkatkan ketersediaan unsur hara baik makro dan mikro. Adanya bahan organik juga akan meningkatkan jumlah dan aktivitas mikroorganisme di dalam tanah (Sathya, et al. 2016). Mikroorganisme tanah berperan dalam beberapa

siklus unsur hara seperti Nitrogen, Fosfor, dan Kalium. Keberadaan mikroorganisme juga meningkatkan proses dekomposisi bahan organik, dan proses mineralisasi unsur hara, sehingga unsur hara menjadi tersedia bagi tanaman (Hoffland, et al., 2020) .

### 3. Reaksi Tanah (pH)

Reaksi tanah menunjukkan kebasaaan atau kemasaman suatu tanah. Reaksi tanah menjadi salah satu faktor penentu kesuburan tanah, karena reaksi tanah menggambarkan ketersediaan unsur hara (Gambar 1.1). Gambar 1.1. menunjukkan bahwa pada pH antara 5,5-7, ketersediaan unsur hara makro dan mikro berada pada kondisi yang optimum. Selain itu, reaksi tanah juga ikut memengaruhi sifat kimia dan biologi tanah lainnya. kapasitas tukar kation (KTK) tanah akan meningkat seiring dengan meningkatnya pH tanah, begitu juga dengan aktivitas mikroorganisme tanah yang meningkat pada kondisi pH tanah mendekati netral .



**Gambar 1.1:** Hubungan pH tanah dengan ketersediaan unsur hara (Ketterings, et al., 2016)

### 1.1.3 Pengelolaan Kesuburan Tanah

Agar dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan untuk menopang pertumbuhan tanaman, kesuburan tanah harus dipertahankan produktivitasnya. Jumlah unsur hara di dalam tanah sangat terbatas jumlahnya, sedangkan kebutuhan akan

pangan meningkat seiring dengan penambahan jumlah penduduk, selain itu kehilangan unsur hara cukup tinggi, baik akibat terangkut saat panen maupun hilang karena tercuci, maka dibutuhkan pengelolaan yang baik agar kesuburan tanah tetap terjaga.

Berikut beberapa cara yang dapat diterapkan untuk menjaga kesuburan tanah:

#### 1. Olah Tanah Konservasi (OTK)

Pengolahan tanah bertujuan untuk menciptakan kondisi yang baik bagi tanaman yang akan dibudidayakan di atas tanah tersebut. Pengolahan tanah bertujuan untuk mengurangi kepadatan, menciptakan tata udara (aerasi) dan air yang cukup untuk menopang pertumbuhan tanaman, menekan pertumbuhan gulma, serta mengurangi erosi tanah. Menurut (Utomo, et al., 2012) sistem olah tanah konservasi yaitu suatu sistem pengolahan tanah untuk menyiapkan kondisi yang sesuai agar tanaman dapat berproduksi optimum dengan tetap memerhatikan konservasi tanah dan air. Ciri dari pengolahan tanah konservasi ini yaitu tidak melakukan pembakaran pada saat penyiapan lahan, menanam tanaman penutup tanah atau mulsa organik untuk menjaga suhu tanah dan agar tidak terjadi erosi, serta menanam tanaman kacang-kacangan guna untuk meningkatkan bahan organik tanah.

#### 2. Pengaplikasian Bahan Organik

Bahan organik memiliki peranan yang sangat penting untuk menjaga kesuburan tanah. Pengaplikasian bahan organik dapat berupa bahan organik yang telah matang seperti pupuk organik (kompos, pupuk hijau, pupuk kandang) atau berupa bahan organik hidup seperti tanaman penutup tanah. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi bahan organik akan meningkatkan kesuburan tanah baik secara fisika, kimia, dan biologi. Peranan bahan organik diantaranya: (1) sebagai sumber unsur hara, (2) memantapkan agregat tanah, (3) meningkatkan kelembaban dan kemampuan menahan air, (4) meningkatkan KTK tanah, (5) sumber karbon yang diperlukan bagi mikroorganisme tanah untuk beraktivitas, serta (6) dapat menjaga

tanah dari erosi dan aliran permukaan jika diaplikasikan sebagai mulsa.

### 3. Pengaplikasian Bahan Pembenh Tanah

Bahan pembenh tanah yaitu bahan yang berasal dari bahan organik atau anorganik yang berfungsi untuk memperbaiki kesuburan tanah. Ketika bahan pembenh tanah diaplikasikan, bahan ini terlebih dahulu akan memperbaiki sifat fisika tanah seperti tekstur, aerasi tanah, dan drainase tanah. Jika kondisi fisika tanah sudah baik, maka akan diikuti dengan perbaikan dari sifat biologi dan kimia tanah. Menurut (Taisa, et al., 2019; Baronti, et al., 2010); Graber, et al. , 2010) aplikasi bahan pembenh tanah seperti biochar dapat memperbaiki KTK tanah, kandungan C-organik tanah, serta pH tanah. Selain itu keberadaan biochar dapat menjadi habitat bagi beberapa fungi dan mikroorganisme tanah lainnya (Noguera, et al., 2010; Santi dan Goenadi, 2010; Smith, et al., 2010)

## 1.2 Pupuk dan Pemupukan

Dalam arti luas, pupuk didefinisikan sebagai suatu bahan yang digunakan untuk memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah menjadi lebih baik bagi pertumbuhan tanaman. Dalam arti sempit, pupuk didefinisikan sebagai bahan atau zat baik organik maupun anorganik yang mengandung satu atau lebih unsur hara yang bertujuan untuk menambah ketersediaan unsur hara di dalam tanah. Sedangkan pemupukan adalah kegiatan atau tindakan menambahkan unsur hara ke dalam tanah sesuai dengan kebutuhan tanaman dengan metode tertentu. Beberapa faktor yang mendasari dilakukannya pemupukan yaitu: (1) jumlah unsur hara yang berasal dari bahan induk tanah jumlahnya sedikit, sehingga dibutuhkan input unsur hara yang berasal dari pupuk; (2) kehilangan hara akibat terangkut bersamaan dengan panen maupun hilang akibat erosi. Jumlah unsur hara yang terangkut dan tererosi tidak seimbang dengan jumlah yang tersedia di dalam tanah, sehingga untuk menyeimbangkan jumlah hara yang terangkut dibutuhkan input melalui pemupukan; (3) adanya keinginan untuk meningkatkan produktivitas tanaman, unsur hara merupakan faktor utama untuk mendukung pertumbuhan tanaman.



Untuk mendapatkan produksi yang optimum dibutuhkan hara yang cukup dan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Namun untuk menjaga kelestarian lahan dan kesuburan tanah secara berkelanjutan, sebaiknya aplikasi pupuk dilakukan secara efektif dan efisien.

### 1.2.1 Klasifikasi Pupuk

Pupuk diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Berdasarkan bahan asalnya  
Berdasarkan bahan asalnya pupuk dibedakan menjadi: (1) pupuk alami, yaitu pupuk yang bahannya berasal dari alam dan proses pembuatannya dilakukan secara alami dan sederhana; (2) pupuk buatan, yaitu pupuk yang dibuat melalui proses pabrikasi, atau proses secara kimia.
2. Berdasarkan jumlah kandungan hara  
Berdasarkan jumlah kandungan hara pupuk dibedakan menjadi: (1) pupuk tunggal, yaitu pupuk yang mengandung satu unsur hara; (2) pupuk majemuk, yaitu pupuk yang mengandung lebih dari satu unsur hara.
3. Berdasarkan kelarutannya  
Berdasarkan kelarutannya pupuk dibedakan menjadi: (1) pupuk fast-release, yaitu pupuk yang cepat tersedia bagi tanaman; (2) pupuk slow-release, yaitu pupuk yang lambat tersedia bagi tanaman.
4. Berdasarkan fasanya  
Berdasarkan fasanya, pupuk dibedakan menjadi: (1) pupuk padat, yaitu pupuk yang bisa diaplikasikan dalam bentuk padat, atau dilarutkan dengan menggunakan air; (2) pupuk cair, yaitu pupuk yang pengaplikasiannya harus dilarutkan dengan menggunakan air.
5. Berdasarkan macam hara  
Berdasarkan macam hara yang dikandung, pupuk dibedakan menjadi: (1) pupuk makro, yaitu pupuk yang mengandung hara makro saja; (2) pupuk mikro, yaitu pupuk yang mengandung hara mikro saja; (3) pupuk campuran, yaitu pupuk yang mengandung hara makro dan hara mikro.

6. Berdasarkan cara aplikasi

Berdasarkan cara aplikasinya pupuk dibedakan menjadi: (1) pupuk akar, yaitu pupuk yang diaplikasikan ke dalam tanah dan diberikan di sekitar perakaran tanaman; (2) pupuk daun, yaitu pupuk yang diaplikasikan dengan cara dilarutkan terlebih dahulu dengan menggunakan air, kemudian disemprotkan ke daun

7. Berdasarkan reaksi fisiologisnya

Berdasarkan reaksi fisiologisnya, pupuk dibedakan menjadi: (1) pupuk yang bereaksi asam, yaitu pupuk yang apabila diaplikasikan ke dalam tanah dapat menyebabkan perubahan pH tanah menjadi asam, contohnya pupuk urea; (2) pupuk yang bereaksi basa, yaitu pupuk yang apabila diaplikasikan ke dalam tanah menyebabkan perubahan pH tanah menjadi basa, contohnya pupuk kalsium sianida.

8. Berdasarkan senyawanya

Berdasarkan senyawanya, pupuk dibedakan menjadi: (1) pupuk organik, yaitu pupuk yang mengandung senyawa organik, pupuk yang tergolong pupuk organik contohnya kompos, pupuk kandang, dan pupuk hijau; (2) pupuk anorganik, yaitu pupuk yang berasal dari senyawa anorganik/kimia.

Pemilihan jenis pupuk yang akan diaplikasikan sebaiknya harus mempertimbangkan kondisi tanah, lingkungan, iklim, serta jenis tanaman. Selain untuk mendukung pertumbuhan optimum tanaman, jenis pupuk yang diaplikasikan sebaiknya juga tidak memiliki dampak negatif bagi tanah dan lingkungan, sehingga bisa mendukung pola pertanian secara berkelanjutan.

## 1.2.2 Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Pemupukan

Adapun faktor-faktor yang memengaruhi pemupukan yaitu:

1. Sifat tanah

Sifat tanah merupakan faktor utama dalam menentukan pemupukan. Setiap tanah memiliki kandungan hara, pH, dan tekstur yang berbeda-beda. Tanah yang memiliki pH netral, kandungan hara makro dan mikro di tanah tersebut relatif tersedia, maka jumlah pupuk yang diberikan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman diseimbangkan

dengan jumlah yang sudah tersedia di dalam tanah. Tekstur tanah juga dapat memengaruhi efisiensi pemupukan, tanah-tanah dengan tekstur ringan (lempung berpasir) lebih mudah mengalami pencucian dibandingkan dengan tanah bertekstur berat (liat berdebu).

## 2. Iklim

Faktor iklim yang memengaruhi pemupukan diantaranya yaitu air, tata udara, dan suhu. Pergerakan unsur hara menuju akar tanaman dipengaruhi oleh air, dengan kandungan air yang cukup maka pergerakan unsur hara menuju akar juga akan maksimal, begitupun sebaliknya. Selain air, tata udara tanah dan suhu juga memengaruhi efisiensi pemupukan. Jika tata udara dan suhu di dalam tanah terlalu rendah, aktivitas mikroorganisme akan terhambat, sehingga hara yang berasal dari pupuk tidak dapat digunakan oleh tanaman, pemupukan menjadi tidak efisien.

## 3. Jenis tanaman

Pemupukan didasarkan pada jenis tanaman yang akan diberikan pupuk. Misalnya: (1) pada tanaman semusim, pemberian pupuk disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman; (2) untuk tanaman tahunan, pemberian pupuk biasanya didasarkan pada umur dan jenis tanamannya; (3) untuk tanaman yang dibudidayakan pada lahan kering dan lahan basah. Pada lahan kering, semua cara pemupukan bisa diterapkan, sedangkan pada lahan basah, cara pemupukan hanya bisa dilakukan dengan cara disebar.

## 4. Jenis pupuk yang digunakan

Setiap jenis pupuk memiliki sifat yang berbeda-beda, baik dari kandungan unsur haranya, jumlah unsur hara, reaksi fisiologisnya, serta tingkat kelarutannya. Sehingga dalam pengaplikasian pupuk, jumlah dan cara aplikasi juga harus diperhatikan.

Hal-hal yang harus diperhatikan saat melakukan pemupukan yaitu: (1) takaran atau dosis pupuk; (2) perhitungan keperluan pupuk; (3) waktu dan cara pemupukan; dan (4) pencampuran pupuk.

### 1.2.3 Perhitungan Pupuk

Untuk menghasilkan produktivitas yang optimum, tanaman membutuhkan tambahan unsur hara yang berasal dari pupuk. Agar unsur hara yang ditambahkan tidak berlebih atau kurang, maka harus diketahui juga efisiensi pemupukan. Efisiensi pemupukan yaitu persentase unsur hara yang berasal dari pupuk, yang bisa digunakan atau diserap oleh tanaman. Semakin tinggi persentase pupuk yang diserap, maka semakin tinggi efisiensi pemupukan tersebut. Berikut beberapa contoh cara perhitungan pupuk:

1. Suatu tanaman memerlukan 45 kg  $P_2O_5$ , kadar P yang tersedia 30 kg  $ha^{-1}$ .

Jika efisiensi serapan fosfat dari pupuk yang diberikan adalah 25 %, maka berapakah jumlah pupuk yang harus diberikan?

$$\text{Jumlah pupuk yg harus diberikan} = \frac{(45 - 30) \times 100}{25} = 60 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$$

Jika dikonversikan ke dalam TSP (45 %  $P_2O_5$ ), maka jumlah TSP yg diberikan:  $\frac{100}{45} \times 60 \text{ kg } P_2O_5/ha = 133 \text{ kg TSP ha}^{-1}$

2. Jika akan dilakukan percobaan pot dengan menggunakan 10 kg tanah per pot, dan diketahui bobot tanah per ha 2.000.000 kg, maka berapakah takaran pupuk per pot ?

$$\begin{aligned} \text{Jumlah pupuk yang harus diberikan} &= \frac{10 \text{ kg}}{2000000 \text{ kg}} \times 60 \text{ kg } P_2O_5 \\ &= 0,0003 \text{ kg} = 0,3 \text{ g } P_2O_5/\text{pot} \end{aligned}$$

Jika dikonversi ke TSP =  $\frac{0,3 \times 100}{45} = 0,66 \text{ g TSP/pot}$

3. Untuk memperbaiki pertumbuhan tanaman diperlukan 100 kg N + 45 kg  $P_2O_5$  + 100 kg  $K_2O$  per ha, pupuk yg tersedia yaitu urea (45% N), TSP (45%  $P_2O_5$ ), dan KCl (50%  $K_2O$ ).

Maka pupuk-pupuk yg dibutuhkan adalah:

$$\text{Urea} = \frac{100}{45} \times 100 \text{ kg} = 222 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\text{TSP} = \frac{100}{45} \times 45 \text{ kg} = 100 \text{ kg ha}^{-1}$$

$$\text{KCl} = \frac{100}{50} \times 100 \text{ kg} = 200 \text{ kg ha}^{-1}$$

4. Kebutuhan unsur hara P dan K dapat juga dinyatakan bukan dalam bentuk  $P_2O_5$  atau  $K_2O$  tetapi dalam bentuk unsur P dan K sendiri. Untuk menghitung

P dlm  $P_2O_5$  atau K dalam  $K_2O$  perlu diketahui berat atom dari masing2 unsur tersebut. Jika diketahui berat atom P =31, berat atom K=39, dan berat atom O=16, maka:

- Berapakah banyaknya P dalam 45 kg  $P_2O_5$ ?
- Berapakah banyaknya K dalam 100  $K_2O$ ?

$$\begin{aligned}\text{Banyaknya P dalam 45 kg } P_2O_5 &= \frac{2 \times 31}{(2 \times 31) + (5 \times 16)} \times 45 \text{ kg} \\ &= \frac{62}{142} \times 45 \text{ kg} \\ &= 19,6 \text{ kg P}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Banyaknya K dalam 100 kg } K_2O &= \frac{2 \times 39}{(2 \times 39) + (16)} \times 45 \text{ kg} \\ &= \frac{78}{94} \times 100 \text{ kg} \\ &= 82,98 \text{ kg K}\end{aligned}$$

Untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, metode dan waktu pemupukan harus diperhatikan. Jika pemilihan metode dan pemberian pupuk tepat waktu, serapan hara tanaman akan maksimal, sehingga dapat meminimalisir kehilangan pupuk baik yang disebabkan oleh pencucian, aliran permukaan, atau penguapan.



# **Bab 2**

## **Kesuburan Fisik Tanah**

### **2.1 Pendahuluan**

Tanah merupakan media pertumbuhan tanaman. Untuk pertumbuhan tanaman yang baik dengan produksi tinggi tidak hanya membutuhkan unsur hara yang cukup dan seimbang, namun juga memerlukan lingkungan fisik, kimia dan biologi yang baik dan sesuai sehingga akar tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan bebas.

Kemampuan tanah untuk menyediakan unsur hara bagi proses pertumbuhan tumbuhan merupakan indikator kesuburan tanah. Kesuburan tanah merupakan aspek hubungan tanah dengan tanaman dalam hubungannya dengan ketersediaan unsur hara dalam tanah yang dapat dimanfaatkan tanaman untuk pertumbuhannya (Handayanto, Muddarisna and Fiqri, 2017).

Kesuburan fisik tanah merupakan kesuburan tanah yang dipandang dari sifat-sifat fisik tanah yang berpengaruh dalam proses penyerapan unsur hara oleh tanaman dari dalam tanah. Tanah yang terbentuk dari proses pelapukan batuan induk menjadi bahan induk yang dipengaruhi oleh faktor-faktor pendukung lainnya, seperti iklim, relief, organisme dan waktu. Proses pembentukan tanah berlangsung dengan berbagai reaksi fisik, kimia dan biologi. Reaksi ini menghasilkan sifat-sifat tanah yang dapat menjalankan fungsi-fungsi tertentu di antaranya: mengubah bahan mentah menjadi bahan induk tanah, mengubah

bahan induk tanah menjadi bahan penyusun tanah, dan menata bahan penyusun tanah menjadi tubuh tanah (Buckman and Brady, 1982).

Fungsi tanah adalah sebagai media tumbuh tanaman. Sebagai media tumbuh tanaman berarti tempat akar-akar tanaman berjangkar. Akar-akar tanaman akan berpenetrasi (menelusup) kedalam tanah baik secara horizontal maupun vertikal. Untuk bertumbuh dengan baik, akar-akar tanaman harus leluasa berpenetrasi dalam tanah. Penetrasi akar-akar tanaman dipengaruhi oleh ruang pori-pori tanah yang terbentuk diantara partikel tanah.

Menurut Hanafiah (2005), tanah sebagai media tumbuh tanaman didefinisikan sebagai lapisan permukaan bumi yang secara fisik berfungsi sebagai tempat tumbuh-berkembangnya perakaran penopang tegak-tumbuhnya tanaman dan penyuplai hara atau nutrisi (senyawa organik dan anorganik sederhana dan unsur-unsur esensial seperti *N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, B, Cl* dan lain-lain dan secara biologis berfungsi habitat biota (organisme) yang berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara tersebut dan zat-zat aditif (pemacu tumbuh, proteksi) bagi tanaman, yang ketiganya secara integral mampu menunjang produktivitas tanah untuk menghasilkan biomass dan produksi baik tanaman pangan, obat-obatan, industri perkebunan, maupun kehutanan.

Kesuburan tanah atau tanah yang produktif tergantung pada keseimbangan beberapa faktor yaitu air, oksigen, unsur hara, kondisi fisik dan unsur toksik (zat penghambat) dan kandungan mikroorganisme dalam tanah (Rosmarkam and Yuwono, 2002).

## 2.2 Kesuburan Fisik Tanah

Tanah memiliki kesuburan yang berbeda-beda tergantung sejumlah faktor pembentuk tanah yang terjadi pada lokasi tersebut, yaitu: bahan induk, iklim, relief, organisme, atau waktu. Tanah merupakan fokus utama dalam pembahasan ilmu kesuburan tanah, sedangkan kinerja tanaman merupakan indikator utama mutu kesuburan tanah. Kesuburan tanah adalah mutu tanah untuk bercocok tanam, yang ditentukan oleh interaksi sejumlah sifat fisik, kimia dan biologi bagian tubuh tanah yang menjadi habitat akar-akar aktif tanaman (Notohadiprawiro, Soekodarmodjo and Sukana, 2006).



Menurut Handayanto, Muddarisna dan Fiqri, (2017) kesuburan tanah bersifat spesifik, spesifik lokasi (*site specific*) maupun spesifik tanaman (*crop specific*) yang berarti bahwa tanah yang subur untuk suatu jenis tanaman belum tentu subur untuk jenis tanaman lainnya. Konsep yang lebih luas berkaitan dengan kemampuan tanah untuk menyangga pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan adalah produktivitas tanah.

Kesuburan fisik tanah dipengaruhi oleh solum, tekstur, struktur, kadar air tanah, drainase dan porositas tanah. Pengaruh struktur dan tekstur tanah terhadap pertumbuhan tanaman terjadi secara langsung. Struktur tanah yang remah (*ringan*) pada umumnya menghasilkan laju pertumbuhan tanaman dan produksi persatuan waktu yang lebih tinggi dibandingkan dengan struktur tanah yang padat. Hal ini disebabkan perkembangan akar pada tanah berstruktur ringan/remah lebih cepat per satuan waktu dibandingkan akar tanaman pada tanah kompak, sebagai akibat mudahnya intersepsi akar pada setiap pori-pori tanah yang memang tersedia banyak pada tanah remah. Selain itu akar memiliki kesempatan untuk bernafas secara maksimal pada tanah yang berpori, dibandingkan pada tanah yang padat.

Sifat fisik tanah seperti warna tanah, tekstur, suhu, struktur, kekuatan, kepadatan, aerasi dan porositas merupakan faktor yang dominan dalam menentukan penggunaan tanah, terutama penggunaan tanah yang berhubungan dengan kemudahan penetrasi akar, mobilitas air dan ketersediaan air. Perbaikan fisik tanah melalui penggemburan tanah, pengembalian sisa panen berupa bahan organik dapat meningkatkan hasil biji-bijian tanaman dan kesuburan fisik tanah (Hamza and Anderson, 2002; Rasool, Kukal and Hira, 2007).

Susunan volume suatu tanah lempung berdebu yang berada dalam keadaan optimum bagi pertumbuhan tanaman dengan bagian padat terdiri dari 45 persen bahan mineral dan 5 persen bahan organik dan sisanya 50 persen ruang pori (udara dan air). Dalam keadaan kelembaban optimum bagi pertumbuhan tanaman, dari 50 persen ruang pori, 25 persen ditempati air dan 25 persen lagi udara (Utomo, 2016).

### 2.2.1 Tekstur

Tekstur tanah merupakan sifat fisik tanah yang menentukan halus kasarnya partikel tanah. Halus kasarnya tanah ditentukan oleh fraksi pasir, debu dan liat. Partikel yang paling halus adalah liat disusul debu dan pasir. Tekstur tanah perbandingan relatif antara fraksi pasir, debu dan liat. Dalam analisis tekstur,

fraksi bahan organik tidak diperhitungkan, karena bahan organik terlebih dahulu telah didestruksi dengan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) (Utomo, 2016).

Tekstur tanah menentukan sifat-sifat tanah. Tekstur tanah berpengaruh besar terhadap ketersediaan air, laju masuknya air kedalam tanah, mudah tidaknya pengolahan lahan dan aerasi. Sifat kimia, fisika dan mineralogi partikel tanah tergantung pada ukuran partikelnya. Menurut (Hardjowigeno, 2007), tekstur tanah merupakan perbandingan antara butir-butir pasir, debu dan liat. Tekstur tanah dikelompokkan dalam 12 kelas tekstur seperti tertera pada tabel berikut:

**Tabel 2.1:** Tabel Kelas Tekstur Tanah (Hardjowigeno, 2007)

No	Kelas Tekstur Tanah	Proporsi (%) Fraksi Tanah		
		Pasir	Debu	Liat
1	Pasir ( <i>Sandy</i> )	85	15	10
2	Pasir Berlempung ( <i>Loam Sandy</i> )	70-90	30	15
3	Lempung Berpasir ( <i>Sandy Loam</i> )	40-87,5	50	20
4	Lempung ( <i>Loam</i> )	22,5-52,5	30-50	10-30
5	Lempung Liat Berpasir ( <i>Sandy-Clay-Loam</i> )	45-80	30	20-37,5
6	Lempung Liat berdebu ( <i>Sandy-silt loam</i> )	20	40-70	27,5-40
7	Lempung Berliat ( <i>Clay Loam</i> )	20-45	15-52,5	27,5-40
8	Lempung Berdebu ( <i>Silty Loam</i> )	47,5	50-87,5	27,5
9	Debu ( <i>Silt</i> )	20	80	12,5
10	Liat Berpasir ( <i>Sandy-Clay</i> )	45-62,5	20	37,5-57,5
11	Liat Berdebu ( <i>Silty-Clay</i> )	20	40-60	40-60
12	Liat ( <i>Clay</i> )	45	40	40

Tabel 2.1 di atas menunjukkan pengklasifikasian tekstur tanah berdasarkan persen fraksi partikel tanah. Kelas tekstur paling atas adalah tekstur tanah lebih kasar karena tanah yang mengandung fraksi pasir yang mendominasi, kelas tekstur semakin kebawah tekstur tanah semakin halus karena didominasi oleh fraksi liat. Tanah yang didominasi pasir memiliki pori-pori makro yang banyak sehingga tanahnya lebih poreus, tanah yang didominasi debu memiliki pori-pori sedang sehingga disebut tanah agak poreus, sedangkan tanah yang didominasi oleh liat memiliki pori-pori mikro sehingga tanahnya tidak poreus.

Partikel tanah yang halus memiliki luas permukaan jauh lebih besar dibandingkan dengan tanah dengan partikel kasar. Hal ini terkait dengan sejumlah reaksi fisika, kimia dan biologi yang terjadi di permukaan partikel. Luas permukaan partikel juga menunjukkan kemampuan tanah mengikat unsur hara.

Sehingga pengaruh tekstur tanah terhadap menurut (Hanafiah, 2005) adalah sebagai berikut:

1. makin poreus tanah akan makin mudah akar untuk berpenetrasi, serta makin mudah air dan udara untuk bersirkulasi (drainase dan aerasi baik: air dan udara banyak tersedia bagi tanaman) tetapi makin mudah pula air untuk hilang dan sebaliknya.
2. makin tidak poreus tanah akan makin sulit akar untuk berpenetrasi, serta makin sulit air dan udara untuk bersirkulasi (drainase dan aerasi buruk: air dan udara sedikit tersedia) tetapi air yang ada tidak mudah hilang dari tanah.
3. maka tanah yang baik dicerminkan oleh komposisi ideal dari kedua kondisi ini, sehingga tanah bertekstur debu dan lempung akan mempunyai ketersediaan air dan udara yang optimum bagi tanaman, namun dari segi nutrisi tanah lempung lebih baik dari pada tanah bertekstur debu.

Tekstur tanah menggambarkan sifat berat atau ringannya tanah apabila akan diolah. Tekstur kasar akan ringan diolah, sebaliknya tekstur halus akan berat untuk diolah. Mengetahui tekstur tanah memberikan informasi tentang potensi aliran air, kapasitas menahan air, potensi kesuburan dan kesesuaian untuk berbagai penggunaan tanah. Tanah berpasir memiliki transmisi air yang cepat dan retensi air yang rendah sehingga tanah mudah kering dan memudahkan

aliran permukaan. Tanah berliat memiliki transmisi air yang lambat dan retensi air yang tinggi sehingga aliran permukaan sedikit.

### 2.2.2 Struktur Tanah

Struktur dan tekstur tanah berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Struktur tanah yang remah akan mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik jika dibandingkan pertumbuhan tanaman pada tanah dengan struktur yang padat. Pertumbuhan akar tanaman lebih leluasa pergerakannya pada struktur tanah yang remah, sehingga akar tanaman lebih panjang dan banyak serta lebih menyebar dalam tanah.

Struktur tanah merupakan susunan agregat primer tanah secara alami menjadi bentuk tertentu yang dibatasi oleh beberapa bidang. Penggabungan butir-butir primer tanah pembentuk struktur tanah ini diikat oleh koloid tanah menjadi agregat primer berbentuk gumpalan-gumpalan kecil beraneka bentuk yang disebut agregat sekunder tanah. Struktur tanah berhubungan dengan cara di mana partikel pasir, debu dan liat relatif disusun satu sama lain. Ruang kosong yang besar antara agregat (makropori) membentuk sirkulasi air dan udara juga akar tanaman untuk tumbuh ke bawah pada tanah yang lebih dalam. Sedangkan ruangan kosong yang kecil (mikropori) memegang air untuk kebutuhan tanaman. Struktur tanah terbentuk dari butir-butir fraksi pasir, debu dan liat. Butir-butir tanah ini terikat satu sama lain oleh perekat yang dihasilkan oleh bahan organik tanah, oksida-oksida besi dan bahan-bahan perekat lainnya. Butir-butir tanah yang terikat tersebut membentuk gumpalan-gumpalan atau agregat-agregat tanah yang memiliki berbagai bentuk dan ukuran yang berbeda membentuk struktur tanah.

Susunan partikel tanah (pasir, debu dan liat) yang bergabung membentuk agregat tanah ini merupakan hasil proses pedogenesis. Susunan partikel tanah ini memiliki ruang-ruang kosong diantara pasir, debu dan liat yang disebut dengan ruang pori tanah. Ruang kosong tersebut dapat berukuran besar yang disebut dengan makropori, Makropori ini membentuk sirkulasi air dan udara juga akar tanaman untuk tumbuh ke bawah tanah yang lebih dalam. Sedangkan ruang-ruang kosong yang kecil disebut mikropori. Mikropori ini berfungsi untuk menyimpan atau memegang air untuk kebutuhan tanaman. Makropori dan mikropori ini sangat berperan dalam pertumbuhan tanaman dan berkaitan dengan aerasi dan drainase tanah.

Pembentukan struktur tanah berasal dari butir-butir partikel tanah tunggal. Butir-butir tunggal ini diikat menjadi bergerombol menjadi ped dan membentuk tipe

tipe struktur tanah. Tipe-tipe struktur tanah yang terbentuk tersebut menurut (Hanafiah, 2005) adalah seperti pada tabel berikut.

**Tabel 2.2:** Deskripsi Tipe-Tipe Struktur Tanah (Hanafiah, 2005)

No	Tipe Struktur	Deskripsi Ped	Lokasi Horizon
1	Granuler	Relatif tidak poreus, kecil dan agak bulat, tidak terikat membentuk ped	A
2	Remah	Sama dengan granuler, tetapi relatif poreus, antarped tidak terikat	A
3	Lempeng	Seperti tumpukan susunan piringan yang berikatan lemah, disebut plat jika tebal dan laminar jika tipis	E, tanah hutan atau Bt tanah liat
4	Balok bersudut	Seperti balok-balok yang terbentuk dari ikatan ped-ped yang sisi-sisinya bersudut tajam, ikatan antar ped ini sering putus membentuk balok-balok kecil	Bt
5	Balok persegi	Sama seperti balok bersudut, tetapi ped-ped penyusun bersisi-sisi bulat agak bersegi	Bt
6	Prisma	Seperti pilar-pilar berpermukaan rata yang terikat oleh ped prisma lainnya sebagai penyela, ped prisma ini ada yang pecah membentuk ped balok kecil	Bt
7	Kolumnar	Sama seperti prisma tetapi berpermukaan bulat melingkar yang diikat secara lateral oleh ped pilar lainnya sebagai penyela	Bt

Struktur tanah memengaruhi perkembangan akar dalam tanah, aerasi tanah, tata air, ketersediaan unsur hara, kegiatan mikroba tanah dan perombakan bahan organik. Pentingnya struktur tanah adalah meningkatkan infiltrasi air sehingga mengurangi limpasan permukaan (runoff) dan erosi serta meningkatkan jumlah

air tersedia untuk tanaman sehingga dapat meningkatkan daya perkecambahan biji, pertumbuhan akar, dan kedalaman perakaran.

Mempertahankan Struktur Tanah menurut Utomo (2016) dapat dilakukan dengan beberapa cara berikut:

1. Olah tanah pada kandungan air yang sesuai
2. Tidak mengolah tanah jika terlalu basah, merusak agregat
3. Menambahkan pupuk dan kapur yang sesuai.
4. Menanam rumput dan legumrow grasses and legumes. Biomasa organik tanaman tersebut dapat membantu menstabilasi agregat.
5. Pertumbuhan legum juga akan merangsang pertumbuhan mikroorganisme tanah, termasuk jamur yang dengan hifanya bisa menstabilasi ped
6. Mempertahankan atau menambah kandungan bahan organik tanah. Pertumbuhan tanaman yang baik membantu perkembangan struktur tanah yang baik.

### 2.2.3 Kerapatan Partikel Tanah (Soil Density)

Kerapatan tanah/berat jenis tanah adalah berat massa tanah per satuan volume partikel tanah kering oven. Pada umumnya berat jenis tanah mineral antara 2,60 – 2,70  $\text{cm}^{-3}$  dengan rata-rata 2,65  $\text{cm}^{-3}$ . Massa bahan organik dan anorganik diperhitungkan sebagai massa padatan tanah. Untuk pendugaan ruang pori tanah diperlukan perhitungan berat jenis tanah. Berat jenis tanah merupakan petunjuk kepadatan tanah, makin tinggi nilai berat jenis tanah maka tanah semakin padat yang berarti makin sulit meneruskan air dan akar tanaman makin sulit menembus tanah. Secara umum tanah pada lapisan atas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah lapisan di bawahnya.

Berat jenis tanah berhubungan erat dengan kepadatan tanah, kemudahan akar untuk menembus tanah, drainase dan aerasi. Nilai berat jenis tanah yang rendah menunjukkan bahwa tanah porous. Nilai berat jenis tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah. Berat volume tanah dipengaruhi oleh pori-pori tanah, struktur tanah, aktivitas mikroorganisme, peningkatan bahan organik dan pertumbuhan akar. Kandungan bahan organik yang tinggi menyebabkan tanah mempunyai berat jenis butiran yang rendah (Hardjowigeno, 2007). Porositas tanah yang berperan dalam penyediaan air dan udara serta pertumbuhan akar

dipengaruhi oleh susunan partikel dan struktur tanah secara langsung untuk pertumbuhan tanaman (Utomo, 2016).

### 2.2.4 Solum Tanah/Kedalaman Efektif

Penyebaran akar tanaman dalam tanah tergantung pada kedalaman efektif tanah. Semakin dalam kedalaman efektif tanah maka semakin bebas akar tanaman bergerak atau melakukan penetrasi dalam tanah untuk menyerap unsur hara sehingga pertumbuhan tanaman akan semakin baik. Semakin dalam kedalaman efektif tanah maka semakin besar kerapatan panjang akar. Akar tunggang dan akar lateral akan berkembang dengan baik dan persebaran yang luas dengan didukung oleh sifat fisik tanah seperti kedalaman solum tanah, porositas tanah yang tinggi dan berat jenis tanah yang rendah.

Kedalaman tanah dapat menjadi kendala dalam keberhasilan produksi tanaman terutama tanaman tahunan. Hal ini diakibatkan oleh terhambatnya perkembangan perakaran sebagai akibat dari tipisnya solum tanah sehingga akar tanaman tidak dapat memperoleh air serta hara yang cukup untuk pertumbuhannya.

### 2.2.5 Warna Tanah

Warna tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah yang paling mudah untuk mengenal tanah. Warna tanah merupakan petunjuk dari sifat tanah, karena warna tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam tanah. Salah satu penyebab perbedaan warna tanah adalah kandungan bahan organik, makin tinggi kandungan bahan organik maka warna tanah akan semakin gelap. Pada tanah lapisan bawah warna tanah dipengaruhi oleh bentuk dan banyaknya kandungan Fe dalam tanah.

Menurut Hardjowigeno (2007), di daerah berdrainase buruk atau daerah-daerah yang selalu tergenang air, warna tanah adalah abu-abu, hal ini disebabkan senyawa Fe terdapat dalam kondisi reduksi ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Pada tanah yang berdrainase baik yakni tanah yang tidak pernah terendam air, Fe terdapat dalam keadaan oksidasi ( $\text{Fe}^{3+}$ ) misalnya pada senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematit) yang berwarna merah, atau  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (limonit) yang berwarna kuning cokelat. Kandungan Fe dalam tanah juga dapat menimbulkan bercak-bercak merah atau kuning selain warna abu-abu pada tanah yang kadang-kadang tergenang kadang-kadang kering karena kadang-kadang ada udara masuk kedalam tanah sehingga terjadi oksidasi besi. Jenis mineral juga akan memengaruhi warna tanah, jenis mineral

kwarsa akan menyebabkan warna tanah menjadi lebih terang. Tanah yang dibentuk oleh bahan induk basalt sering berwarna sangat gelap jika tanah tersebut mengandung sedikit atau tidak ada bahan organik.

Menurut Kartasapoetra, Kartasapoetra dan Sutedjo, (1985) tanah yang mengandung mineral feldspar, kaolin, kapur, kuarsa dapat menyebabkan warna putih pada tanah. Jenis mineral feldspar menyebabkan beragam warna dari putih sampai merah. Hematit dapat menyebabkan warna tanah menjadi merah sampai merah tua. Makin tinggi kandungan bahan organik maka warna tanah makin gelap (kelam) dan sebaliknya makin sedikit kandungan bahan organik tanah maka warna tanah akan tampak lebih terang. Tanah dengan kadar air yang lebih tinggi atau lebih lembab hingga basah menyebabkan warna tanah menjadi lebih gelap (kelam). Sedangkan tingkat hidrasi berkaitan dengan kedudukan terhadap permukaan air tanah, yang ternyata mengarah ke warna reduksi (gleisasi) yaitu warna kelabu biru hingga kelabu hijau.

Warna tanah juga secara langsung memengaruhi penyerapan sinar matahari dan salah satu faktor penentu suhu tanah. Semakin gelap warna tanah maka akan semakin tinggi penyerapan sinar matahari sehingga suhu tanah juga semakin naik. Menurut (Hanafiah, 2005) warna tanah merupakan: (1) indikator jenis bahan induk untuk tanah yang baru berkembang, (2) indikator kondisi iklim untuk tanah yang sudah berkembang lanjut, dan (3) indikator kesuburan tanah atau produktivitas lahan. Warna tanah yang gelap menunjukkan produktivitas lahan yang baik. Warna tanah yang gelap (Hanafiah, 2005) menunjukkan integrasi pengaruh dari: (1) kandungan bahan organik, makin tinggi kandungan bahan organiknya maka warna tanah makin gelap, (2) intensitas pencucian (pencucian dari horison bagian atas ke horizon bagian bawah) ion-ion hara, makin intensif pencucian menyebabkan warna tanah menjadi lebih terang, dan (3) Kandungan kwarsa yang tinggi menyebabkan warna tanah lebih terang.

### 2.2.6 Porositas Tanah

Porositas adalah proporsi ruang pori tanah yang terdapat dalam suatu volume tanah yang dapat ditempati oleh air dan udara. Keberadaan ruang pori tanah ini menjadikan tanah mampu menyerap air sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Tanah yang padat memiliki ruang pori yang sedikit dan memiliki porositas tanah yang kecil.

Aerasi tanah berhubungan dengan kandungan oksigen dalam tanah. Dalam pertumbuhan tanaman akar memerlukan oksigen untuk respirasi. Selain akar tanaman, biota-biota tanah juga memerlukan oksigen dalam proses dekomposisi



bahan organik. Respirasi akar dan biota-biota tanah memerlukan oksigen bebas, sehingga perlu dipastikan pertukaran oksigen dalam tanah berjalan lancar. Kekurangan oksigen dalam tanah terutama lahan kering akan menyebabkan pertumbuhan tanaman terganggu. Menurut (Utomo, 2016), faktor-faktor penyebab kekurangan O<sub>2</sub> adalah (1) penggenangan, (2) pemadatan tanah, (3) kandungan liat tinggi, dan (4) dekomposisi bahan organik.

Persen pori tanah 50% merupakan kondisi ideal tanah di mana setengahnya makro pori untuk meneruskan air karena adanya grafitasi dan setengahnya mikropori untuk menahan air dari tarikan grafitasi. Tanah mineral normalnya memiliki porositas 30-60%. Aerasi tanah perlu dijaga tetap pada kondisi baik. Beberapa perlakuan yang dapat dilakukan untuk menjaga aerasi tanah adalah memperbaiki sistem drainase, pengolahan lahan dan penambahan bahan organik.

### 2.2.7 Kekuatan Tanah

Kekuatan tanah dapat diartikan sebagai kekuatan tanah, kekerasan tanah atau soil strenght. Kekuatan tanah ini terkait juga konsistensi tanah. Konsistensi tanah menunjukkan integrasi antara kekuatan daya kohesi dan adhesi butir-butir tanah dengan benda lain. Hal ini menunjukkan daya tahan tanah terhadap gaya yang akan merubah bentuk tanah seperti pengolahan lahan melalui pembajakan, pencangkulan dan rotasi tanah.

Secara praktikal bahwa suatu tanah dapat diolah dengan mudah dengan melihat kekuatan tanah, di mana kekuatan tanah ditentukan dari ketahanan tanah terhadap penetrasi alat penetrometer. Perkembangan akar tanaman selain ditentukan oleh aerasi tanah juga ditentukan oleh kekuatan tanah terhadap penetrasi akar tanaman (Utomo, 2016).

Menurut Hardjowigeno (2007) bahwa tanah-tanah yang mempunyai konsistensi baik akan mudah diolah dan tidak melekat pada alat pengolah tanah. Konsistensi tanah harus disesuaikan dengan kondisi tanah dalam keadaan lembab, basah atau kering. Dalam keadaan lembab, tanah dibedakan ke dalam konsistensi gembur sampai teguh (agak sulit dicangkul). Dalam keadaan kering tanah dibedakan kedalam konsistensi lunak sampai keras. Dalam keadaan basah dibedakan plastisitasnya yaitu dari plastis sampai tidak plastis, atau kekekatannya yakni dari tidak lekat sampai lekat.

## 2.3 Perbaikan Kesuburan Fisik Tanah

Kesuburan fisik tanah dapat diperbaiki dengan berbagai cara diantaranya adalah penambahan bahan organik. Hardjowigeno (2007) mengemukakan bahwa penambahan bahan organik ke dalam tanah akan memengaruhi sifat fisik, kimia dan biologi tanah secara simultan, pengaruhnya diantaranya adalah memperbaiki aerasi tanah dengan perbaikan pori tanah, meningkatkan kemampuan tanah untuk mengikat unsur hara, meningkatkan kemampuan tanah menahan air, meningkatkan daya sanggah tanah, sebagai sumber unsur hara bagi tanaman, sumber energi bagi mikroorganisme tanah.

Penambahan bahan organik kedalam tanah seperti pengembalian sisa panen dan pemberian pupuk kandang dapat memperbaiki sifat fisik tanah melalui perbaikan agregasi tanah, meningkatkan permeabilitas tanah, mengurangi tingkat kepadatan tanah, memperbaiki porositas tanah sehingga meningkatkan perkembangan akar tanaman (Hati et al., 2006).

Bahan organik mampu memperbaiki sifat fisik tanah seperti menurunkan berat volume tanah, meningkatkan permeabilitas, mengemburkan tanah, memperbaiki aerasi tanah, meningkatkan stabilitas agregat, meningkatkan kemampuan tanah memegang air, menjaga kelembaban dan suhu tanah, mengurangi energi kinetik langsung air hujan, mengurangi aliran permukaan dan erosi tanah (Tarigan et al., 2015).

Kandungan bahan organik tanah menurut Saidy dan SP (2021) berperan dalam perbaikan karakteristik tanah meliputi:

1. Memperbaiki struktur fisik tanah (peningkatan agregasi dan stabilitas tanah, mengurangi kepadatan tanah/penurunan berat isi tanah, peningkatan kapasitas air yang tersedia, peningkatan infiltrasi air). Meskipun dipengaruhi oleh tekstur dan jenis tanah liat, keberadaan glycoprotein yang dihasilkan dari interaksi bahan organik dan miselia jamur dapat membentuk partikel-partikel tanah menjadi agregat dengan stabilitas struktural dan distribusi ukuran pori yang baik, permeabilitas, aerasi dan memperbaiki kedalaman perakaran serta ketahanan permukaan tanah terhadap erosi.
2. Peningkatan aktivitas organisme tanah (seperti jamur, artropoda, rayap dan cacing) melalui perbaikan iklim mikro (penurunan temperatur dan peningkatan kelembaban) dan peningkatan substrat dan aktivitas

- mikroba yang akhirnya berkontribusi dalam penyediaan unsur hara bagi tanaman serta menstimulasi produksi zat pemacu pertumbuhan (growth promoting substances)
3. Peningkatan ketersediaan unsur hara (nitrogen, fosfor dan sulfur) melalui proses mineralisasi senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam bahan organik dan peningkatan kapasitas pertukaran kation (KTK) yang meningkatkan retensi hara dalam bentuk kation serta memungkinkan peningkatan efisiensi pemanfaatan unsur hara dalam bentuk kation.
  4. Mengurangi toksisitas aluminium dan peningkatan pH tanah yang rendah melalui peningkatan siklus kation-kation tukar dan produksi metabolic substances yang mempunyai kemampuan untuk membentuk kompleks aluminium, serta berfungsi sebagai penyangga tanah terhadap perubahan keasaman, alkalinitas dan salinitas.

Perbaikan kesuburan fisik tanah dapat juga dilakukan dengan pengolahan tanah. Pada tanah lahan sawah bukaan baru pengolahan lahan penting untuk memperoleh kondisi fisik tanah yang ideal dan menekan berbagai dampak negatif yang timbul. Peningkatan hasil tanaman ini berkaitan erat dengan perbaikan sifat fisika dan ciri kimia tanahnya akibat tindakan pengolahan tanah dan pemberian mulsa organik, seperti meningkatnya kelembaban tanah, kandungan bahan organik, agregasi, serta menurunnya tingkat kepadatan tanah (Marlina and Satriawaniqbal, 2014). Penurunan berat isi tanah setelah diberi perlakuan pupuk kandang. Hal ini disebabkan oleh bahan organik dalam tanah berperan sebagai perekat (pengikat) pertikel tanah sehingga agregasi tanah menjadi baik, ruang pori tanah meningkat dan berat isi menurun. Bahan organik bersifat porus, ketika diberikan ke dalam tanah akan menciptakan ruang pori di dalam tanah sehingga berat isi tanah menjadi turun. Ruang pori tanah yang stabil memudahkan air mengalir ke bawah dan diserap oleh matriks tanah sehingga kemampuan tanah menahan air dapat meningkat (Rosliani, Sumarni and Sulastrini, 2010).



# Bab 3

## Kesuburan Kimia Tanah

### 3.1 Pendahuluan

Tanah sebagai media tumbuh tanaman selayaknya mampu menopang kehidupan tanaman di atasnya untuk tumbuh dan berproduksi optimal. Tanaman membutuhkan unsur hara, air, udara dan elemen lain tanah seperti sifat fisik, kimia dan biologi tanah untuk mencapai produktivitas tinggi yang kesemua ini terwakili dalam Kesuburan Tanah.

Kesuburan tanah didefinisikan sebagai kualitas tanah yang memungkinkannya menyediakan nutrisi dalam jumlah yang cukup dan dalam keseimbangan yang tepat untuk pertumbuhan tanaman (Hartemink, 2006). Salah satu komponen tanah yang erat kaitannya dengan kesuburan kimia tanah adalah bahan organik. Bahan organik berada pada lapisan teratas, semakin dalam tanah semakin rendah kadar bahan organiknya. Di dalam tanah terdapat berbagai unsur yang dibutuhkan tanaman maupun tidak dibutuhkan tanaman, akar tanaman menyerap unsur hara bersama dengan air, pada kondisi tanah yang memiliki kemasaman terlalu tinggi maupun terlalu rendah tentu mengakibatkan terhambatnya serapan hara meskipun sebenarnya kadar hara dalam tanah tinggi namun menjadi tidak tersedia bagi tanaman karena kesuburan kimia tanah yang buruk. Selain kemasaman tanah, rendahnya ketersediaan unsur hara bagi tanaman juga dapat disebabkan karena kemampuan tanah mempertukarkan kation yang rendah, hal ini juga berkaitan dengan kadar bahan organik tanah.

Pemupukan umumnya dilakukan untuk menggantikan hara yang hilang karena terangkut saat panen, tercuci oleh air hujan ataupun menguap ke udara. Tidak jarang kita temukan kasus efektivitas pemupukan yang rendah dikarenakan kapasitas tukar kation tanah rendah.

Kesuburan kimia tanah bukan hanya memengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman namun juga memengaruhi kehidupan mikroorganisme tanah. Mikroorganisme tanah memegang peran penting dalam proses perombakan bahan organik dan penyediaan unsur hara. Penurunan kesuburan tanah menyiratkan terjadinya penurunan kualitas kimia tanah yakni penurunan kadar bahan organik tanah, pH, kapasitas tukar kation dan nutrisi tanaman (Hartemink, 2006). Mengenali serta memahami sifat kimia tanah merupakan suatu langkah konkrit guna mengantisipasi penurunan kesuburan tanah. Dalam Bab ini membahas beberapa sifat kimia tanah yang merupakan pondasi kesuburan kimia tanah yakni bahan organik tanah, reaksi tanah (pH), kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa.

## 3.2 Bahan organik tanah

Bahan organik umumnya ditemukan dipermukaan tanah atau dilapisan paling atas, jumlahnya tidak terlalu banyak namun pengaruhnya besar bagi kesuburan tanah (Hardjowigeno, 2015). Bahan organik tanah merupakan kunci utama kesuburan tanah, baik fisik, kimia maupun biologi. Namun demikian, banyak lahan pertanian di Indonesia dengan kadar bahan organik <1%. Idealnya kadar bahan organik untuk pertumbuhan tanaman sekitar 3-5%. Bagi kesuburan kimia tanah, bahan organik berfungsi sebagai (1) penyedia hara makro yaitu N, P, K, Mg, Ca dan S; dan penyedia hara mikro yaitu Fe, Mn, Cu, Co, B, Mo dan Zn; (2) meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah; dan (3) dapat membentuk senyawa kompleks dengan ion logam yang meracuni tanaman seperti Al, Fe dan Mn. (Setyorini, Saraswati and Anwar, 2012).

Untuk mengetahui kadar bahan organik tanah secara kuantitatif umumnya dilakukan analisis di laboratorium yaitu mengukur kadar C-organik tanah. Dalam Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk mengelompokkan kadar C-organik pada status sangat rendah (C-organik <1%), status rendah (C-organik 1-2%), status sedang (C-organik 2-3%), status tinggi (C-organik 3-5%) dan status sangat tinggi (C-organik >5%) (Eviati and Sulaeman, 2012).

Bahan organik tanah bersumber dari berbagai biomassa tumbuhan, strategi yang harus ditempuh dalam mempertahankan maupun meningkatkan bahan organik tanah diantaranya dengan mengembalikan biomassa ke dalam tanah. Misalnya pada lahan sawah dilakukan pengembalian jerami, kompos jerami, limbah panen tanaman jagung dan limbah panen kacang-kacangan (Sumarno, Kartasmita and Djuber Pasaribu, 2009). Pada lahan perkebunan seperti perkebunan kelapa sawit, strategi yang dapat ditempuh dengan mengembalikan pelepah, tandan kosong kelapa sawit, limbah cair pabrik kelapa sawit ke lahan dan melakukan penanaman tanaman penutup tanah seperti *Mucuna bracteata*.

Pengembalian biomassa berupa tandan kosong kelapa sawit pada lahan perkebunan kelapa sawit selama lima tahun pada jenis tanah ultisol dan inceptisol sebagaimana dilaporkan Farrasati et al., \*2019) bahwa tren perubahan status C-organik tidak berbeda nyata, artinya tidak terlihat peningkatan kadar C-organik tanah, status C-organik berada pada status rendah hingga sedang. Pada penelitian lain, pengembalian tandan kosong kelapa sawit ke lahan dapat meningkatkan kadar bahan organik tanah pada lapisan atas (top soil) dan tidak meningkatkan bahan organik tanah pada lapisan sub soil (Sakiah, Firmansyah and Arfianti, 2020; Sakiah, Dibisono and Irawan, 2018).

Penanaman tanaman penutup tanah *Mucuna bracteata* pada lahan tanaman karet menghasilkan serasah yang mampu meningkatkan kesuburan tanah entisol (Sakiah, Sembiring and Hasibuan, 2018). Biomassa yang dihasilkan *M. bracteata* lebih besar dibanding tanaman penutup tanah konvensional. Kadar hara yang dihasilkan tercantum pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1:** Kandungan Hara yang Dihasilkan oleh *Mucuna bracteata* Dibandingkan dengan LCC Konvensional (Harahap et al., 2008)

Kandungan Hara	LCC (kg/ha/tahun)	<i>M. bracteata</i> (kg/ha/tahun)	Persentase MB vs LCC (%)
N	163	522	320
P	8	23	287
K	93	193	207
Mg	13	28	215
Ca	45	85	189
Total N dalam hijauan	1,85	2,08	12,43
C/N dalam hijauan	18,74	16,5	-11,95

Total N dalam serasah	1,93	2,36	22,28
C/N dalam serasah	17,88	13,78	-22,93
Total N dalam tanah 0-30 cm	0,19	0,23	21
C/N dalam tanah 0-30 cm	9,11	5,17	-43,3

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) yang telah memenuhi baku mutu limbah dimanfaatkan sebagai pupuk organik di Kebun Pangarungan, PT. Asam Jawa, hasilnya menunjukkan perbedaan yang signifikan antara lahan tanpa aplikasi LCPKS dengan lahan yang diaplikasi LCPKS. Kadar bahan organik tanah pada lahan aplikasi dan tanpa aplikasi LCPKS pada kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm dan 30-40 cm terdapat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2:** Kadar bahan organik tanah pada lahan aplikasi dan tanpa aplikasi LCPKS di Kebun Pangarungan, PT. Asam Jawa (Sakiah, Bobby and Manurung, 2018).

Kedalaman Tanah (cm)	Kadar bahan organik	
	Tanpa aplikasi LCPKS (%)	Aplikasi LCPKS (%)
0-10	5,36	7,96
10-20	4,57	7,50
20-30	3,78	6,32
30-40	3,28	5,61

Kualitas bahan organik sering ditetapkan dengan rasio Carbon: Nitrogen. Bahan organik yang memiliki rasio C: N tinggi mengalami dekomposisi secara perlahan, akan menjadi tersedia bagi tanah jika rasio C: N mendekati rasio C: N tanah yaitu  $< 20$ .

### 3.3 Reaksi Tanah (pH)

pH tanah adalah ukuran kemasaman atau kebasahan tanah. Nilai pH sebenarnya ukuran konsentrasi ion hidrogen. Karena konsentrasi ion hidrogen bervariasi pada rentang yang luas, skala logaritmik pH yang digunakan yaitu setiap penurunan satu skala pH, kemasaman meningkat sepuluh kali. Ini adalah skala



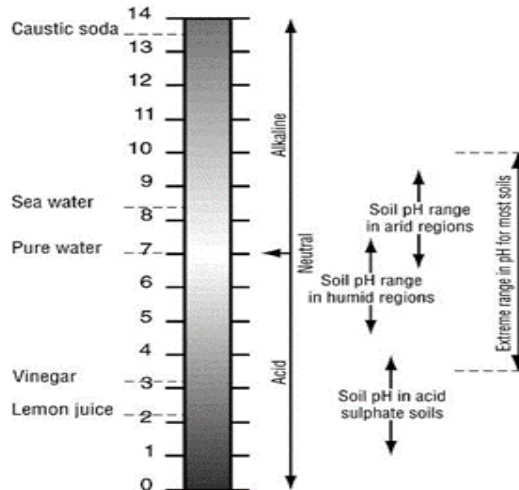
“terbalik” di mana tanah yang sangat asam memiliki pH rendah dan konsentrasi ion hidrogen yang tinggi. Oleh karena itu, pada nilai pH tinggi (basa), konsentrasi ion hidrogen rendah.

Sebagian besar tanah memiliki nilai pH antara 3,5 hingga 10. Di daerah dengan curah hujan yang lebih tinggi, pH alami tanah biasanya berkisar antara 5 hingga 7, sedangkan di daerah yang lebih kering kisarannya adalah 6,5 hingga 9.

Tanah dapat diklasifikasikan menurut nilai pH nya yaitu:

- ✓ 6,5 hingga 7,5 netral
- ✓ Lebih dari 7,5 basa
- ✓ Kurang dari 6,5 asam, dan kurang dari 5,5 dianggap sangat asam

Tanah sulfat masam dapat memiliki pH yang sangat asam (pH kurang dari 4) (Queensland Government, 2013)



**Gambar 3.1:** Kisaran nilai pH yang terdapat pada tanah

Asam didefinisikan sebagai zat yang cenderung melepaskan ion hidrogen ( $H^+$ ). Sebaliknya, basa didefinisikan sebagai zat yang melepaskan ion hidroksil ( $OH^-$ ). Semua asam mengandung ion hidrogen, dan kekuatan asam tergantung pada derajat ionisasi (pelepasan ion hidrogen) asam. Semakin banyak ion hidrogen yang ditahan oleh kompleks pertukaran tanah dalam kaitannya dengan ion basa (K, Ca, Mg) yang dimiliki semakin besar kemasaman tanah.

Kisaran pH yang diinginkan untuk pertumbuhan tanaman secara optimal bervariasi. Beberapa tanaman tumbuh baik pada kisaran pH 6,0 hingga 7,0 yang lain tumbuh baik di bawah kondisi yang sedikit asam.

### 3.3.1 Faktor – faktor yang memengaruhi kemasaman tanah

Kemasaman tanah dapat disebabkan beberapa faktor sebagaimana dikemukakan Mosaic (2020), yakni

#### 1. Curah Hujan

Curah hujan berkontribusi terhadap kemasaman tanah. Air ( $H_2O$ ) bergabung dengan karbon dioksida ( $CO_2$ ) membentuk asam lemah (asam karbonat =  $H_2CO_3$ ). Asam lemah terionisasi melepaskan hidrogen ( $H^+$ ) dan bikarbonat ( $HCO_3^-$ ). Ion hidrogen yang dilepaskan menggantikan ion kalsium yang ditahan oleh koloid tanah dan menyebabkan tanah menjadi asam. Ion kalsium ( $Ca^{2+}$ ) yang dipindahkan bergabung dengan ion bikarbonat untuk membentuk kalsium bikarbonat, yang larut, tercuci dari tanah. Hal ini menyebabkan kemasaman tanah meningkat.

#### 2. Tanaman

Kacang-kacangan seperti kedelai, alfalfa dan cengkeh cenderung lebih banyak mengambil kation dibanding dengan anion. Hal ini menyebabkan ion  $H^+$  dilepaskan dari akar tanaman untuk menjaga keseimbangan elektrokimia di dalam jaringannya. Hasilnya adalah peningkatan kemasaman tanah

#### 3. Kemasaman pada lapisan subsoil

Ketika pada lapisan subsoil pH tanah turun menjadi 5,0, Aluminium dan Mangan di dalam tanah menjadi lebih mudah larut, di beberapa tanah mungkin menjadi racun bagi pertumbuhan tanaman. Kedelai adalah contoh tanaman yang sensitif terhadap aluminium yang sangat larut di dalam tanah dan hasil panen dapat berkurang pada kondisi pH subsoil yang rendah.

#### 4. Mengatur kemasaman tanah

Memperbaiki kemasaman tanah dengan menggunakan kapur adalah dasar dari program kesuburan tanah yang baik. Kapur tidak hanya memperbaiki kemasaman tanah tetapi juga mensuplai unsur hara

esensial bagi tanaman seperti Ca dan Mg jika menggunakan dolomit, membuat nutrisi penting lainnya lebih tersedia, mencegah unsur-unsur seperti Al dan Mn menjadi racun bagi pertumbuhan tanaman.

### 3.3.2 Tindakan mengatasi kemasaman tanah

Beberapa tindakan yang dapat dilakukan dalam mengatasi kemasaman tanah telah dilaporkan *U.S Department of Agriculture (2006)* yaitu:

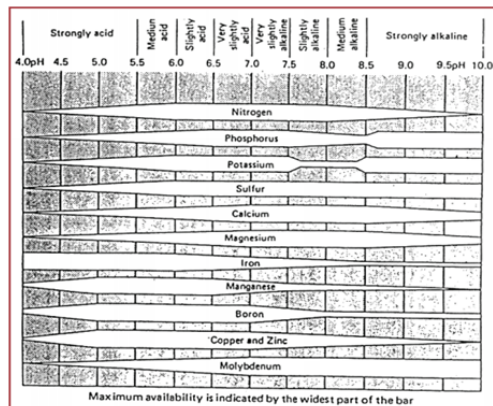
1. Pengapuran untuk menaikkan pH tanah masam
2. Pengaplikasian Nitrogen dan Belerang sesuai kebutuhan tanaman atau tidak berlebihan
3. Pemberian pupuk N dalam jumlah yang tepat, dalam waktu yang tepat dan pengelolaan irigasi yang baik untuk meminimalkan pencucian Nitrat-N
4. Rotasi tanaman yang beragam untuk menghentikan pengasaman defek dari aplikasi pupuk N
5. Penggunaan air irigasi, pupuk kandang dan bahan organik lainnya yang memiliki kandungan kalsium atau bikarbonat
6. Penerapan secara terus tanpa olah tanah (no-till), tanaman penutup tanah (cover crops), pupuk kandang padat (solid manure) dan rotasi tanaman dengan beragam jenis tanaman yang menghasilkan residu tinggi untuk meningkatkan bahan organik dan memperbaiki kapasitas penyanga tanah dalam membatasi perubahan pH

### 3.3.3 Masalah terkait pH dan Hubungannya dengan Fungsi Tanah

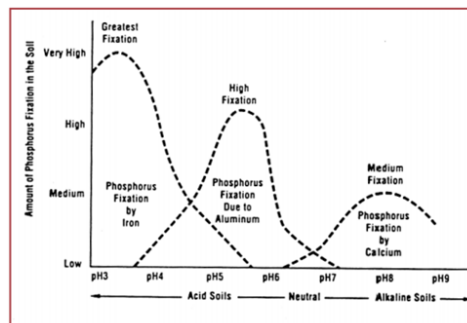
Nilai pH tanah merupakan indikator yang sangat baik dalam menentukan kesesuaian tanah untuk pertumbuhan tanaman. Sebagian besar tanaman, pH pada kisaran 6 hingga 7,5 adalah yang terbaik (Gambar 3.2). Nilai pH tanah yang terlalu tinggi atau terlalu rendah menyebabkan kekurangan banyak nutrisi, penurunan aktivitas mikroba, penurunan hasil panen, dan penurunan kesehatan tanah. Misalnya tanah dengan nilai pH di bawah 5,5 dan antara batas 7,5 dan 8,5 memengaruhi ketersediaan fosfat bagi tanaman (Gambar 3.3)

Empat strategi penting upaya meningkatkan ketersediaan fosfat bagi tanaman yaitu:

1. Pengapuran tanah untuk meningkatkan pH tanah antara 6,5-7,0
2. Pengaplikasian pupuk fosfor dalam jumlah kecil tetapi sering daripada satu kali aplikasi dalam jumlah besar
3. Mengurangi kontak antara tanah dengan sumber fosfor (pupuk kandang atau pupuk buatan) dengan cara mengikat atau menyuntikkannya
4. Menempatkan pupuk P dibarisan tanaman dekat akar paling aktif



**Gambar 3.2:** Hubungan ketersediaan unsur hara dengan reaksi tanah (U.S Department of Agriculture, 2006)

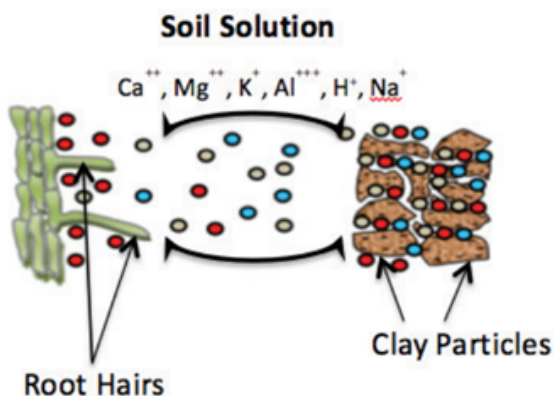


**Gambar 3.3.** Hubungan ketersediaan fosfor dengan rentang pH tanah (U.S Department of Agriculture, 2006)

Siklus Nitrogen dihambat oleh pH rendah. Efektivitas dan degradasi herbisida, insektisida, kelarutan logam berat tergantung pada pH. Beberapa penyakit tumbuh subur ketika tanah bersifat asam atau basa.

### 3.4 Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Kapasitas Tukar Kation didefinisikan sebagai kemampuan tanah untuk menyerap (memegang) kation-kation tukar dan mengindikasikan jumlah muatan negatif per massa tanah. Tanah dengan KTK yang tinggi sering dianggap lebih baik dalam hal kesuburan tanah karena mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menjerap/menahan unsur hara dalam bentuk kation. KTK tanah ditentukan oleh muatan negatif tanah yang dapat berupa muatan tanah permanen (permanent charge) dan muatan yang dapat berubah (variable charge). Muatan permanen berasal dari substitusi isomorfik pada struktur mineral liat (liat tipe 2:1) ketika Al digantikan oleh Mg atau Si digantikan oleh Al. Muatan dapat berubah ditentukan oleh mineral liat dan kandungan bahan organik. Besarnya KTK tanah dinyatakan dengan satuan senti mol muatan positif tanah (centimols of positive charge per kilogram of soil) –  $\text{cmol.kg}^{-1}$  dan nilai setara dengan satuan yang digunakan sebelumnya,  $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$  tanah (Saidy, 2018).



**Gambar 3.4:** Diagram skema yang menunjukkan pertukaran kation antara permukaan tanah dengan larutan tanah (Sonon, Kissel and Saha, 2017)

Mineral liat tanah dan bahan organik cenderung bermuatan negatif, sehingga menarik ion bermuatan positif (kation) pada permukaannya oleh gaya elektrostatik. Akibatnya, kation tetap berada dalam zona perakaran dan tidak mudah hilang melalui pencucian. Kation yang teradsorpsi dapat dengan mudah bertukar dengan kation lain dalam larutan tanah yang diistilahkan dengan “pertukaran kation”. Kation yang teradsorpsi terisi kembali dalam larutan tanah ketika konsentrasi menurun karena penyerapan oleh akar tanaman. Oleh karena itu KTK merupakan gambaran kemampuan yang dimiliki tanah dalam memasok hara kation ke larutan tanah agar dapat diserap tanaman.

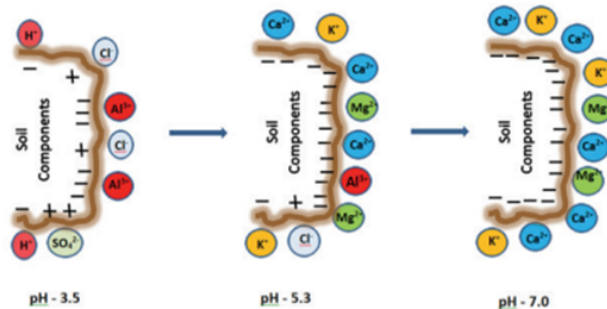
Kation hara yang jumlahnya paling banyak digunakan tanaman adalah kalium ( $K^+$ ), kalsium ( $Ca^{2+}$ ) dan magnesium ( $Mg^{2+}$ ). Kation lainnya teradsorpsi di area pertukaran yaitu Amonium ( $NH_4^+$ ), Natrium ( $Na^+$ ), Hidrogen ( $H^+$ ), Aluminium ( $Al^{3+}$ ), Besi ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ), Mangan ( $Mn^{2+}$ ), tembaga ( $Cu^{2+}$ ), dan seng ( $Zn^{2+}$ ) (Sonon, Kissel and Saha, 2017).

Nilai KTK bahan organik tanah dan beberapa mineral liat bervariasi dengan pH. Umumnya KTK terendah pada pH tanah dari 3,5 hingga 4,0 dan meningkat seiring dengan peningkatan pH dan pengapuran tanah masam. Beberapa muatan positif dapat terjadi pada permukaan mineral tanah tertentu pada pH rendah seperti terlihat pada Gambar 3.5 . Muatan positif ini menahan anion (ion bermuatan negatif) seperti klorida ( $Cl^-$ ) dan sulfat ( $SO_4^{2-}$ ).

**Tabel 3.4** Kapasitas Tukar Kation pada pH 7.0 pada perbedaan tipe mineral tanah, tekstur tanah dan bahan organik tanah (Sonon, Kissel and Saha, 2017)

Tanah dan komponen tanah	KTK (me/100g)
Tipe liat	
Kaolinit	3-15
Illit	15-40
Montmorillonit	80-100
Tekstur tanah	
Pasir	1-5
Lempung berpasir halus	5-10

Lempung	5-15
Lempung liat	15-30
Liat	>30
Bahan organik	200-400



**Gambar 3.5:** Pengaruh pH terhadap muatan permukaan tanah dan komponennya (Sonon, Kissel and Saha, 2017)

### 3.5 Kejenuhan Basa

Kejenuhan basa dinyatakan dalam persen (%). Persen kejenuhan basa adalah persentase KTK yang ditempati oleh kation basa Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> dan K<sup>+</sup>. Aluminium (Al<sup>3+</sup>) dan Hidrogen (H<sup>+</sup>) meskipun dalam bentuk kation namun tergolong kation asam. Pada tanah dengan pH 5,4 atau kurang, Al<sup>3+</sup> hadir dalam konsentrasi yang sangat tinggi yang menghambat pertumbuhan sebagian besar tanaman. Semakin rendah pH tanah, semakin besar jumlah Al<sup>3+</sup> dan dapat meracuni tanaman.

Oleh karena itu tanah dengan kejenuhan basa yang tinggi umumnya lebih subur karena:

1. Tanah dengan persen kejenuhan basa yang tinggi memiliki sedikit atau tanpa kation asam (Al<sup>3+</sup>) yang beracun bagi pertumbuhan tanaman

2. Tanah dengan persen kejenuhan basa yang tinggi memiliki pH yang lebih tinggi, oleh karena itu lebih mampu menyangga kation asam dari akar tanaman dan proses yang mengasamkan tanah (hujan asam, nitrifikasi, dll)
3. Tanah dengan persen kejenuhan basa yang tinggi mengandung kation yang merupakan hara penting yang dibutuhkan tanaman

Persen kejenuhan basa dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Kejenuhan basa (\%)} = \left[ \frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+)}{KTK} \right] \times 100$$

Kejenuhan basa tanah mungkin sebagian kecil dari KTK atau kira-kira sama dengan KTK, tergantung pH tanah. Secara umum, jika pH tanah kurang dari 7, kejenuhan basa lebih kecil dari KTK. Pada pH 7 atau lebih tinggi, mineral liat tanah dan permukaan bahan organik ditempati oleh kation basa dan dengan demikian kejenuhan basa sama dengan KTK. Gambar 3.5 menggambarkan jumlah relatif kation yang tertahan pada permukaan tanah pada berbagai tingkat pH tanah (Sonon, Kissel and Saha, 2017).

KTK tanah memengaruhi pemupukan dan pengapuran. Misalnya, tanah dengan KTK tinggi menyimpan lebih banyak unsur hara dibandingkan tanah dengan KTK rendah. Dengan melakukan pemupukan dalam jumlah besar yang diaplikasikan dalam satu kali aplikasi untuk tanah berpasir dengan KTK rendah, kehilangan nutrisi lebih mungkin terjadi melalui pencucian.



## **Bab 4**

# **Unsur Hara dan Penyerapannya oleh Tanaman**

### **4.1 Pendahuluan**

Tingkat kesuburan tanah di Indonesia sampai saat ini sudah sangat memprihatinkan, dengan salah satu indikator bahwa kandungan bahan organik tanah rata-rata di bawah 2 %. Berdasarkan data empirik, kecenderungan produktivitas tanaman semakin tahun semakin menurun dengan diikuti kualitas produk yang semakin rendah. Sebaliknya agroinput di dalam budidaya semakin meningkat dengan diikuti Harga Pokok Produksi (HPP) semakin meningkat, apalagi tidak ada perlindungan terhadap harga komoditas. Akibatnya sebagian besar produsen di sektor budidaya, pendapatannya semakin menurun, bahkan merugi dengan bukti sebagian besar pembudidaya tidak sejahtera (miskin).

Kondisi demikian tidak pernah menyurutkan pembudidaya untuk tidak budidaya tanaman. Hal ini dilandasi budaya yang kuat, bahwa walaupun budidaya tanaman merugi, tetap saja sebagian besar melaksanakan budidaya. Di sinilah tantangan dan peluang bagi seluruh pelaku budidaya dalam memperbaiki kesuburan tanah sampai pembudidaya menghasilkan produk tanaman yang optimal dan sehat. Indonesia mempunyai peluang yang sangat besar sebagai negara yang berdaulat pangan, karena tersedianya seluruh sumber daya (Lahan,

IPTEK, SDM, Modal, Iklim, Sarana Pendukung). Tetapi faktanya sampai sekarang Indonesia masih tergantung dengan pasokan pangan dunia dan harus impor pangan untuk bisa memenuhi kebutuhan pangan masyarakatnya. Strategi yang berkelanjutan untuk dapat berdaulat pangan adalah dengan meningkatkan produktivitas tanaman. Salah satu upaya untuk dapat meningkatkan produktivitas tanaman, adalah dengan meningkatkan kandungan bahan organik tanah (Budi, S. 2015).

Dalam kegiatan budidaya tanaman, dipengaruhi beberapa faktor yang sangat sensitif di antaranya adalah unsur hara, iklim, tanaman dan lain-lain. Di antara aspek-aspek yang disebutkan, yang perlu diperhatikan adalah ketersediaan unsur hara di dalam media tanam. Pertumbuhan, perkembangan dan produksi suatu tanaman tidak hanya dikontrol oleh faktor dalam (internal/genetik), tetapi juga ditentukan oleh faktor luar (eksternal/lingkungan). Salah satu faktor lingkungan yang sangat menentukan lajunya pertumbuhan, perkembangan dan produksi suatu tanaman adalah ketersediaan unsur hara esensial yang cukup di dalam tanah. Unsur hara esensial adalah unsur-unsur yang diperlukan bagi pertumbuhan tanaman. Apabila unsur tersebut tidak tersedia bagi tanaman, maka tanaman akan menunjukkan gejala kekurangan unsur tersebut dan pertumbuhan tanaman akan terganggu.

## 4.2 Tinjauan tentang Unsur Hara

Tanaman memerlukan unsur hara yang lengkap sebagai nutrisi yang cukup memadai dan seimbang agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik dan menghasilkan produk yang berkualitas. Pemenuhan unsur hara kebutuhan tanaman merupakan hal yang mutlak dilakukan, karena ketersediaan unsur hara di alam sangat terbatas, dan semakin berkurang karena telah terserap oleh tanaman (Anonimus, 2018).

Pada dasarnya saat melakukan budidaya, setiap tanaman apapun jenisnya sangat diperlukan pengetahuan tentang jenis-jenis nutrisi atau unsur hara apa saja yang dibutuhkan untuk menjaga ketersediaan makanan bagi tanaman. Pengetahuan ini dibutuhkan saat pemberian pupuk agar tepat dan seimbang, karena apabila tanaman kelebihan atau kekurangan unsur hara dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi tidak optimal (Mukhlis, 2017).

Oleh karena itu dalam melakukan kegiatan budidaya tanaman diperlukan penambahan unsur hara yang berupa pupuk, baik pupuk organik maupun anorganik. Pemberian pupuk yang tidak seimbang atau tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman, maka akan mengakibatkan pertumbuhan tanaman yang tidak normal, tanaman menjadi kerdil dan berukuran kecil, dan berubah warna. Hal ini akan berdampak terhadap kemampuan tanaman dalam menghasilkan buah atau biji.

### 4.2.1 Fungsi Unsur Hara bagi Tanaman

Seperti manusia dan makhluk hidup lainnya, tanaman juga membutuhkan makanan yang seringkali disebut hara tanaman (plant nutrient). Melalui proses fotosintesis, tanaman mengumpulkan karbon dari atmosfer, ditambah air diubah menjadi bahan organik dengan bantuan sinar matahari. Unsur yang diserap untuk pertumbuhan dan metabolisme tanaman inilah yang disebut dengan hara tanaman. Dengan memanfaatkan unsur-unsur hara, tanaman dapat memenuhi siklus hidupnya. Fungsi suatu unsur hara tidak dapat digantikan oleh unsur lainnya dan apabila tidak tersedia unsur hara tertentu, maka kegiatan metabolisme terganggu atau bahkan berhenti sama sekali. Kekurangan unsur hara akan menampakkan gejala spesifik pada suatu organ tertentu. Gejala ini akan hilang apabila unsur hara tanaman ditambahkan ke tanah atau disemprotkan dalam bentuk cairan melalui daun.

Tanaman memerlukan paling sedikit 16 unsur agar pertumbuhannya normal. Dari ke 16 unsur tersebut, tiga unsur (Carbon, Hidrogen, dan Oksigen) diperoleh dari udara, sedangkan 13 unsur lagi disediakan oleh tanah. Jadi tanah sebagai media bagi tanaman setidaknya harus tersedia 13 unsur agar pertumbuhan tanaman normal. Ke 13 unsur tanaman itu adalah Nitrogen (N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Sulfur/Belerang (S), Cloro/Klor (Cl), Ferum/Besi (Fe), Mangan (Mn), Cuprum/Tembaga (Cu), Zink/Seng (Zn), Boron (B), dan Molibdenum (Mo) (Anonimus, 2015).

### 4.2.2 Jenis-Jenis Penggolongan Unsur Hara pada Tanaman

Unsur hara adalah unsur-unsur senyawa kimia anorganik yang diperlukan untuk pembentukan sel (jaringan) dan proses enzimatik organ tanaman, unsur hara dibedakan menjadi:

### 1. Unsur hara esensial

Merupakan unsur hara yang sangat penting diperlukan oleh tanaman untuk menyelesaikan siklus hidupnya dan tidak dapat digantikan oleh unsur hara lainnya. Ada tiga kriteria yang harus dipenuhi sehingga suatu unsur dapat disebut sebagai unsur esensial:

- a. Unsur tersebut diperlukan untuk menyelesaikan satu siklus hidup tanaman secara normal.
- b. Unsur tersebut memegang peran yang penting dalam proses biokemis tertentu dalam tubuh tanaman dan peranannya tidak dapat digantikan atau disubstitusi secara keseluruhan oleh unsur lain.
- c. Peranan dari unsur tersebut dalam proses biokimia tanaman adalah secara langsung dan secara tidak langsung.

Berdasarkan kriteria di atas, maka didapatkan ada 16 unsur hara esensial tumbuhan. Sebagian besar unsur hara esensial diperoleh tumbuhan dari dalam tanah, yakni sebanyak 13 jenis. Tiga lainnya yakni C, H dan O berasal dari udara atau air.

### 2. Unsur hara non esensial

Merupakan unsur yang diperlukan oleh tanaman untuk aktivitas hidupnya dan tanaman masih dapat hidup normal tanpa adanya unsur hara ini. Unsur hara non-esensial diantaranya adalah Na, Va, Si, J, Co, Br, dan F. Tubuh tanaman tersusun dari zat-zat organik di antaranya karbohidra, protein, dan lemak yang membentuk sel-sel. Sekumpulan sel-sel tersebut merupakan kesatuan yang membentuk jaringan bagian tubuh tanaman, mulai dari akar, batang, daun, bunga, cabang, hingga buah, umbi, dan biji-bijian. Selain membentuk tubuh tanaman, zat-zat organik tersebut juga membentuk senyawa metabolit sekunder, seperti enzim, fenol, hormon, vitamin, dan lain-lain. Adapun bahan baku bagi pembentukan semua komponen tersebut di atas berasal dari unsur-unsur kimia tertentu yang disebut dengan unsur hara,

Berdasarkan jumlah kebutuhan tanaman dan sumbernya, maka unsur hara dibedakan menjadi 2 macam unsur hara untuk menunjang

pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang optimal, yaitu unsur hara makro dan mikro.

a. Unsur Hara Makro

Unsur hara makro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang relatif besar. Unsur hara makro Nitrogen merupakan unsur yang sangat memengaruhi pertumbuhan, perkembangan, dan produksi tanaman (Hernita, D. Dkk. 2012). Unsur hara yang tergolong unsur hara makro adalah:

- Unsur hara makro bebas, yaitu unsur hara yang tersedia bebas di alam, di udara, dari sisa-sisa tanaman, dari dalam tanah, maupun air: Carbon (C), Oksigen (O), dan Hidrogen (H).
- Unsur hara makro terbatas primer, yaitu unsur hara yang tidak selalu tersedia di alam bebas atau cukup tersedia bahkan melimpah, tetapi tidak dalam bentuk siap tersedia bagi tanaman: Nitrogen (N), Phosphor (P), Kalium (K). Menurut Perry & Hickman (2001), setiap jenis tanaman membutuhkan unsur hara makro Nitrogen dalam jumlah yang berbeda untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Sedang menurut Liferdi, L. (2010), unsur hara Phosphor dikatakan sebagai salah satu kunci kehidupan.
- Unsur hara makro terbatas sekunder, yaitu unsur hara yang ketersediaannya terbatas dan sering diperlukan penambahan melalui pupuk: Sulfur/Belerang (S), Calcium (Ca), dan Magnesium (Mg) (Widodo, D. 2019).

b. Unsur Hara Mikro

Unsur hara mikro adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit/kecil dan bervariasi, serta ketersediaannya seringkali terbatas dan perlu ditambahkan melalui pemupukan. Unsur hara mikro fungsinya amat penting dan tidak tergantikan untuk menunjang keberhasilan proses-proses dalam tanaman. Yang tergolong unsur hara mikro, antara lain Ferro/Zat besi (Fe), Mangan (Mn), Molibdenum (Mo). Boron (B), Zinc/Seng

(Zn), Cloro/Khlor (Cl), dan Cuprum/Tembaga (Cu) (Anonimus, 2019),

## 4.3 Penyerapan Unsur Hara oleh Tanaman

Serapan hara adalah umlah hara yang masuk ke dalam jaringan tanaman. Hal ini diperoleh berdasarkan hasil analisis jaringan tanaman. Manfaat dari angka serapan hara antara lain: mengetahui efisiensi pemupukan, mengetahui agihan hara dalam tubuh tanaman, mengetahui pengangkutan hara dalam tanaman, mengetahui neraca hara di suatu lahan, dan sebagai pertimbangan dalam membuat rekomendasi pemupukan.

Ada 4 prinsip penyerapan unsur hara dalam bentuk ion oleh tanaman:

1. Jika sel tidak melangsungkan metabolisme atau mati, maka membrannya akan lebih mudah dilalui oleh bahan-bahan yang terlarut (solute)
2. Molekul air dan gas-gas yang terlarut di dalamnya, seperti  $N_2$ ,  $O_2$ , dan  $CO_2$  dapat melalui membran dengan mudah.
3. Bahan terlarut yang bersifat hidrofobik menembus membran dengan kemudahan sebanding dengan kelarutannya dalam lemak.
4. Ion-ion atau molekul-molekul yang bersifat hidrofilik dengan tingkat kelarutan dalam lemak yang sama akan menembus membran dengan tingkat kemudahan yang berbanding terbalik dengan ukurannya (berat molekulnya)

### 4.3.1 Proses Penyerapan Unsur Hara Oleh Akar Tanaman

Penyediaan unsur hara untuk tanaman terdiri dari tiga kategori, yaitu:

1. Tersedia dari udara, beberapa unsur hara yang tersedia dalam jumlah cukup dari udara adalah: Karbon (C), dan Oksigen (O), yaitu dalam bentuk karbon dioksida ( $CO_2$ );
2. Tersedia dari air yang diserap akar tanaman, unsur hara yang tersedia dari air ( $H_2O$ ) yang diserap adalah: Hidrogen (H), karena oksigen

dari molekul air mengalami proses oksidasi dan dibebaskan ke udara oleh tanaman dalam bentuk molekul oksigen ( $O_2$ ), dan

3. Tersedia dari tanah, sedangkan untuk unsur hara esensial lain yang diperlukan tanaman tersedia dari dalam tanah.

Penyediaan unsur hara dalam tanah melalui tiga mekanisme, yaitu: Penyerapan unsur hara dari media tanam oleh akar terjadi melalui tiga mekanisme yaitu intersepsi akar, aliran massa, dan difusi.

1. Intersepsi akar, Mekanisme yang terjadi pada intersepsi akar adalah pergerakan akar tanaman yang memperpendek jarak antara tanaman dengan keberadaan unsur hara. Akar tanaman tumbuh memasuki ruangan-ruangan pori tanah yang ditempati unsur hara, sehingga antara akar dan unsur hara terjadi kontak yang sangat dekat (kontak langsung), yang selanjutnya terjadi proses pertukaran ion. Ion-ion yang terdapat pada permukaan akar bertukaran dengan ion-ion pada permukaan kompleks jerapan tanah. Jadi absorpsi unsur hara (ion) langsung dari permukaan padatan partikel tanah.

Jumlah unsur hara yang dapat diserap melalui cara intersepsi akar dipengaruhi oleh sistem perakaran dan konsentrasi unsur hara dalam daerah perakaran. Hampir semua unsur hara dapat diserap melalui intersepsi akar, terutama Ca, Mg, Mn, dan Zn. Peristiwa ini terjadi karena akar tanaman tumbuh dan memanjang, sehingga memperluas jangkauan akar tersebut. Perpanjangan akar tersebut menjadikan permukaan akar lebih mendekati posisi keberadaan unsur hara, baik unsur hara yang ada dalam larutan tanah, permukaan koloid liat, maupun permukaan koloid organik. Mekanisme ketersediaan unsur hara tersebut dikenal sebagai mekanisme intersepsi akar. Unsur hara yang ketersediaannya sebagian besar melalui mekanisme ini adalah: kalsium (28,6%).

2. Aliran massa, Mekanisme aliran massa adalah gerakan unsur hara di dalam tanah menuju ke permukaan akar bersama-sama dengan gerakan massa air. Air mengalir ke arah akar atau melalui akar itu sendiri. Sebagian lagi mengalir dari daerah sekitarnya akibat transpirasi maupun perbedaan potensial air dalam tanah. Selama masa hidup

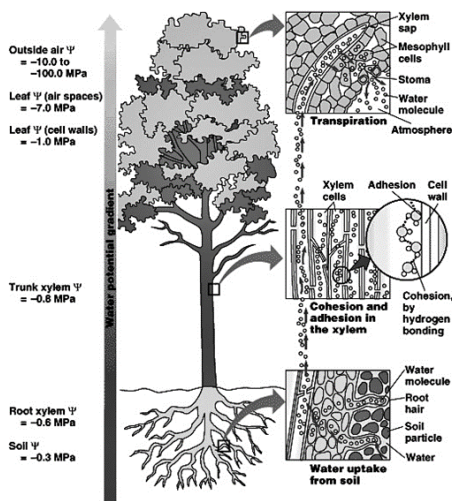
tanaman mengalami peristiwa penguapan air yang dikenal dengan peristiwa transpirasi. Selama proses transpirasi tanaman berlangsung, terjadi juga proses penyerapan air oleh akar tanaman. Gerakan air ini dapat secara horinsontal maupun vertical. Terserapnya air karena adanya perbedaan potensial air yang disebabkan oleh proses transpirasi tersebut. Nilai potensial air di dalam tanah lebih rendah dibandingkan dengan permukaan bulu akar sehingga air tanah masuk ke dalam jaringan akar. Air tanah yang mengalir ini mengandung ion unsur hara. Pergerakan massa air ke akar tanaman akibat langsung dari serapan massa air oleh akar tanaman terikut juga unsur hara yang terkandung dalam air tersebut. Peristiwa tersedianya unsur hara yang terkandung dalam air ikut bersama gerakan massa air ke permukaan akar tanaman dikenal dengan Mekanisme Aliran Massa, yang selanjutnya diserap tanaman. Penyerapan melalui aliran masaa dipengaruhi oleh: (1) konsentrasi unsur hara dalam larutan tanah, (2) jumlah air yang ditanspirasikan (3) volume air efektif yang mengalir karena perbedaan potensial dan berkontak dengan akar. Unsur hara yang ketersediaannya bagi tanaman melalui mekanisme ini meliputi: nitrogen (98,8%), kalsium (71,4%), belerang (95,0%), dan Mo (95,2%). Aliran masa dapat menjadi kontribusi utama untuk unsur Ca, Mg, Zn, Cu, B, Fe. Unsur K juga dapat diserap melalui aliran masa, meskipun tidak terlalu besar.

3. Difusi, adalah Proses penyerapan berlangsung akibat adanya perbedaan tegangan antara tanaman dan tanah, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan konsentrasi unsur hara. Difusi terjadi karena konsentrasi unsur hara pada permukaan akar tanaman lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi hara pada larutan tanah, pada permukaan koloid liat serta pada permukaan koloid organik. Kondisi ini terjadi karena sebagian besar unsur hara tersebut telah diserap oleh akar tanaman. Tingginya konsentrasi unsur hara pada ketiga posisi tersebut menyebabkan terjadinya peristiwa difusi dari unsur hara berkonsentrasi tinggi ke posisi permukaan akar tanaman (Kurnia, A. 2018).



Peristiwa pergerakan unsur hara yang terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi unsur hara tersebut dikenal dengan mekanisme penyediaan hara secara difusi. Faktor yang memengaruhi difusi adalah konsentrasi unsur hara pada titik tertentu, jarak antara permukaan akar dengan titik tertentu, kadar air tanah, volume akar tanaman. Pada tanah bertekstur halus difusi akan berlangsung lebih cepat daripada tanah yang bertekstur kasar. Difusi meningkat jika konsentrasi hara di permukaan akar rendah/menurun atau konsentrasi hara di larutan tanah tinggi/meningkat. Perbedaan konsentrasi tersebut terdiri dari aktif dan pasif. Beberapa unsur hara yang tersedia melalui mekanisme difusi ini, adalah: fosfor (90,9%) dan kalium (77,7%).

Hara yang telah berada di sekitar permukaan akar tersebut dapat diserap tanaman melalui dua proses, yaitu: (1) Proses Aktif, yaitu: proses penyerapan unsur hara dengan energi aktif atau proses penyerapan hara yang memerlukan adanya energi metabolik, dan (2) Proses Selektif, yaitu: proses penyerapan unsur hara yang terjadi secara selektif.



**Gambar 4.1:** Mekanisme Penyerapan Hara (Madjid, S. 2014)

Proses Aktif: Proses penyerapan unsur hara dengan energi aktif dapat berlangsung apabila tersedia energi metabolik. Energi metabolik tersebut dihasilkan dari proses pernapasan akar tanaman. Selama proses pernapasan akar tanaman berlangsung akan dihasilkan energi metabolik dan energi ini mendorong berlangsungnya penyerapan unsur hara secara proses aktif. Apabila

proses pernapasan akar tanaman berkurang akan menurunkan pula proses penyerapan unsur hara melalui proses aktif. Bagian akar tanaman yang paling aktif adalah bagian dekat ujung akar yang baru terbentuk dan rambut-rambut akar. Bagian akar ini merupakan bagian yang melakukan kegiatan respirasi (pernapasan) terbesar.

Proses Selektif: Bagian terluar dari sel akar tanaman terdiri dari: (1) dinding sel, (2) membran sel, (3) protoplasma. Dinding sel merupakan bagian sel yang tidak aktif. Bagian ini bersinggungan langsung dengan tanah. Sedangkan bagian dalam terdiri dari protoplasma yang bersifat aktif. Bagian ini dikelilingi oleh membran. Membran ini berkemampuan untuk melakukan seleksi unsur hara yang akan melaluinya. Proses penyerapan unsur hara yang melalui mekanisme seleksi yang terjadi pada membran disebut sebagai proses selektif.

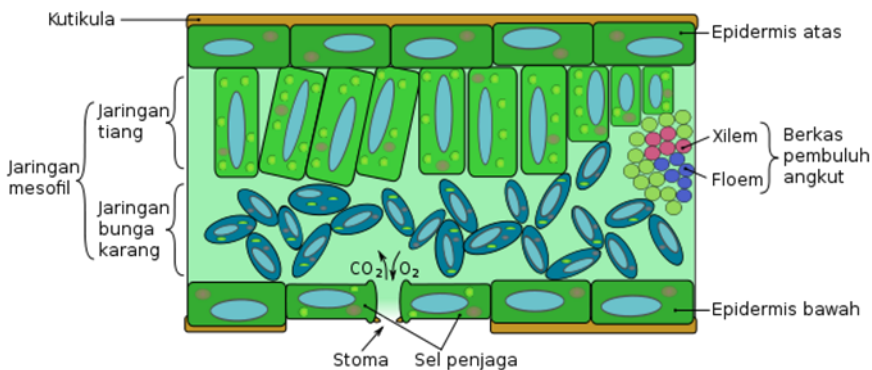
Proses selektif terhadap penyerapan unsur hara yang terjadi pada membran diperkirakan berlangsung melalui suatu carrier (pembawa). Carrier (pembawa) ini bersenyawa dengan ion (unsur) terpilih. Selanjutnya, ion (unsur) terpilih tersebut dibawa masuk ke dalam protoplasma dengan menembus membran sel (Madjid, A. 2014).

### 4.3.2 Proses Penyerapan Unsur Hara Oleh Daun Tanaman

Proses penyerapan hara melalui daun terjadi karena adanya proses difusi dan osmosis melalui stomata sehingga mekanismenya berhubungan langsung dengan membuka dan menutupnya stomata (Salisbury dan Ross, 1995 dalam Kurnia, A. 2018). Banyak faktor yang menyebabkan membuka dan menutupnya stomata, selain disebabkan oleh aktivitas sel penjaga juga disebabkan oleh pengaruh lingkungan. Penyerapan air oleh sel penjaga disebabkan oleh perbedaan potensial osmotik antara sel penjaga dan sel-sel di sekitarnya. Jika potensial osmotik protoplas sel penjaga lebih negatif daripada sel sekitarnya, maka air akan bergerak masuk ke dalam sel penjaga secara osmosis sehingga mengakibatkan naiknya tekanan sel dan menyebabkan sel mengembang.

Unsur hara dalam bentuk ion-ion yang berada pada permukaan daun akan bergerak masuk secara difusi dan osmosis ke dalam sel setelah stomata membuka. Masuknya ion-ion tersebut ke dalam sel tanaman terjadi secara bertahap. Mula-mula molekul dan ion-ion zat terlarut menembus lapisan yang menyelubungi permukaan dinding sel sebelah luar dengan proses difusi menuju dinding sel yang dilapisi oleh membran plasma yang bersifat impermeabel terhadap ion-ion. Setelah melalui membran plasma, ion-ion masuk ke dalam

sitoplasma. Di dalam sitoplasma, molekul dan ion-ion tersebut mengalami beberapa kemungkinan yaitu diubah ke dalam bentuk lain, mengalami pengangkutan ke sel lain atau diangkut oleh tonoplas menuju vakuola atau organel-organel lain dalam sitoplasma antara lain mitokondria di mana terjadi proses respirasi sehingga dapat berperan dalam pertumbuhan tanaman (Prawiranata et al., 1981 dalam Kurnia, A. 2018).



**Gambar 4.2:** Penampang Melintang Daun (Kurnia, A., 2018)



# Bab 5

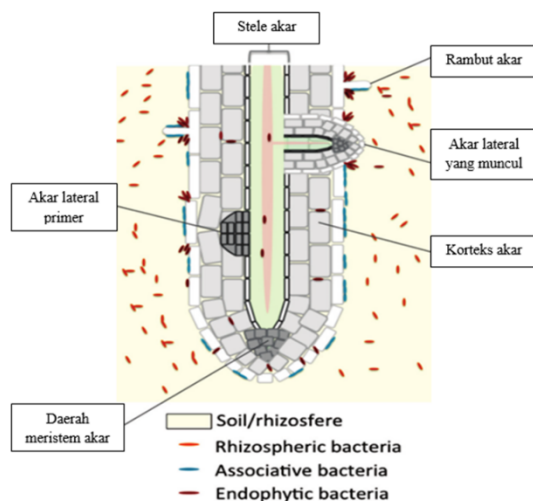
## Kesuburan Biologi Tanah

### 5.1 Pendahuluan

Tanah yang baik seharusnya tidak hanya tersusun atas komponen fisika dan kimia tanaman yang memadai, melainkan juga mengandung komponen biologi tanaman yang dapat mendukung aktivitas pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Komponen biologi tanah ini diperankan oleh organisme mikroskopis seperti mikroba yang terdiri atas bakteri, yeast, dan fungi. Lebih dari 95% komposisi organisme di tanah berasal dari kelompok bakteri tanah yang berada di perakaran tanaman dan berperan dalam membantu tanaman untuk memperoleh nutrisi (Ji et al., 2014). Bakteri yang berasosiasi dengan tanaman ini memegang peranan penting dalam membantu dan meningkatkan kesehatan dan pertumbuhan tanaman (Compant et al., 2010).

Beberapa bakteri berada di daerah rizosfir perakaran tanaman yang disebut dengan rhizobacteria. Beberapa di antaranya juga ditemukan pada permukaan akar yang biasanya disebut dengan *associative N-fixing bacteria* (bakteri pemfiksasi N asosiatif) (Elmerich dan Newton, 2007). Selain itu, juga terdapat bakteri yang ditemukan pada permukaan dalam tanaman yang steril, yang disebut sebagai *endophytic N-fixing bacteria* (bakteri pemfiksasi N endofit), dan salah satu dari cirinya adalah berlokasi pada jaringan dalam tanaman dan tidak menyebabkan pengaruh yang berbahaya (Monteiro et al., 2012) (Gambar 5.1). Hal ini dapat terjadi karena kolonisasi bakteri endofit pada jaringan tanaman

inang melalui proses komunikasi “quorum quenching”, yaitu proses komunikasi sinyal molekuler yang dihasilkan oleh sel bakteri endofit dan sel pada jaringan tanaman inang (Long et al., 2008).



**Gambar 5.1:** Bakteri rizosfir

Bakteri rizosfir (sel berwarna orange) berkolonisasi pada area perakaran tanaman tanpa suatu invasi pada jaringan dalam tanaman. Bakteri asosiatif (sel berwarna biru) yang berinteraksi dengan permukaan tanaman dan kadang-kadang dapat ditemukan dalam jaringan tanaman. Bakteri endofit (sel berwarna merah gelap) berkolonisasi pada setiap daerah yang terdapat di dalam sel epidermis akar tanaman, dan dapat berada pada rongga interseluler dan jaringan xylem. Secara umum, bakteri endofit menginvasi jaringan dalam tanaman melalui daerah epidermis yang luka, ujung akar, retakan akar yang terbentuk pada daerah akar samping yang muncul. Beberapa bakteri endofit dapat menyebar pada beberapa organ tanaman (batang, daun, biji, dan buah) (Carvalho et al., 2014).

## 5.2 Fiksasi Nitrogen oleh Bakteri Endofit

Salah satu keuntungan yang diperoleh dari adanya asosiasi antara bakteri endofit dengan tanaman adalah adanya kemampuan pengubahan unsur nitrogen (N) yang bebas di udara menjadi senyawa amonium yang tersedia bagi tanaman

yang diperankan oleh bakteri endofit diazotrof. Prayitno dan Rolfe (2010) mendefinisikan istilah bakteri endofit diazotrof sebagai bakteri yang mampu memfiksasi nitrogen yang berada dalam jaringan tanaman secara natural. Bakteri endofit diazotrof mempunyai kemampuan untuk mengembangkan beberapa tipe asosiasi akar yang berbeda dengan beberapa spesies tanaman yang berbeda. Interaksi simbiotik yang terbaik telah dipelajari antara bakteri endofit diazotrof dengan tanaman, yaitu antara tanaman dari kelompok tanaman polong dengan bakteri pemfiksasi nitrogen dari genus *Rhizobium* (Oldroyd, 2013).

Bakteri endofit diazotrof telah diisolasi dari beberapa tanaman dan dipelajari kemampuan interaksinya dengan tanaman inang. Setiap jenis jaringan tanaman inang yang diisolasi ditemukan beberapa genus bakteri endofit diazotrof yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa kolonisasi bakteri endofit diazotrof pada jaringan tanaman inangnya bersifat spesifik. Jenis bakteri endofit diazotrof yang telah diisolasi dari beberapa tanaman disajikan dalam (Tabel 5.1).

**Tabel 5.1:** Bakteri endofit diazotrof

Tanaman	Bakteri endofit	Pustaka
Bawang merah	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Azotobacter paspali</i>, <i>Bacillus mycoides</i>, <i>Bacillus circulans</i>, <i>Bacillus arvei</i>, <i>Pseudomonas pseudomallei</i>, <i>P. cepacia</i></li> </ul>	Suriaman (2012)
Ubi manis	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Bacillus cereus</i> dan <i>Achromobacter xylooxidans</i></li> </ul>	Dawwam <i>et al.</i> (2013)
Rumput-rumputan	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Azospirillum doereineriae</i> sp. nov GSF71</li> <li>● <i>Herbaspirillum frisingense</i> sp.</li> <li>● <i>Clostridium</i> spp.</li> </ul>	Eckert <i>et al.</i> (2001) Kirchhof <i>et al.</i> (2001) Miyamoto <i>et al.</i> (2004)
Gandum	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Herbaspirillum seropedicae</i></li> </ul>	Pedrosa (2011)
Padi	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <i>Herbaspirillum frisingense</i> sp.</li> <li>● <i>Azospirillum brasilense</i>, <i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i>, <i>Burkholderia silvatlantica</i>,</li> </ul>	Kirchhof <i>et al.</i> (2001)

	<p><i>Klebsiella</i> sp., <i>Enterobacter cloacae</i>, dan <i>Enterobacter oryzae</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Paenibacillus kribbensis</i>, <i>Bacillus aryabhatai</i>, <i>Bacillus megaterium</i>, <i>Klebsiella pneumoniae</i>, <i>Bacillus subtilis</i>, <i>Microbacterium binotii</i>, <i>Microbacterium trichotecenolyticum</i></li> </ul>	<p>Videira <i>et al.</i> (2012)</p> <p>Ji <i>et al.</i> (2014)</p>
Jagung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Burkholderia cepacia</i>, <i>Rhanelia</i> spp, <i>Brevundimonas</i> spp, <i>Rhizobium</i> spp. <i>Agrobacterium</i> spp., <i>Pantoea</i> spp., <i>Pantoea aglomerans</i>, <i>Enterobacter</i> spp., <i>Pseudomonas fluorescens</i>, <i>Herbaspirillum frisingense</i>, <i>Herbaspirillum hiltneri</i>, <i>Pseudomonas fluorescens</i></li> </ul>	<p>Montanez <i>et al.</i> (2012)</p>
Tebu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Glucanobacter diazotrophicus</i> (<i>syn. Acetobacter diazotrophicus</i>)</li> <li>• <i>Herbaspirillum seropedica</i></li> </ul>	<p>Bertalan <i>et al.</i> (2009)</p> <p>Pedrosa (2011)</p>

Meskipun bakteri tersebut dapat ditemukan pada jaringan mesofil daun (James *et al.*, 2001), pada akar umumnya mempunyai jumlah bakteri endofit yang lebih banyak daripada yang terdapat di jaringan bagian atas tanaman. Secara singkat, interaksi antara bakteri dan tanaman di daerah rizosfir diinduksi oleh eksudat akar yang menarik bakteri endofit. Mekanisme kemotaksis terlibat dalam proses migrasi bakteri menuju akar tanaman dengan adanya flagela yang menyebabkan bakteri datang dan mengadakan interaksi dengan akar, mekanisme tersebut juga dapat dilakukan dengan adanya filii tipe IV dan kemampuan motilitasnya (Reinhold-Hurek dan Hurek, 2011).

Kolonisasi akar juga tergantung dari adanya perlekatan bakteri pada sistem perakaran, seperti proliferasi mikroba dan pembentukan struktur biofilm pada permukaan akar. Eksopolisakarida pada permukaan bakteri dan lipopolisakarida (LPSs) juga terlibat dalam mekanisme perlekatan dan kolonisasi bakteri pada

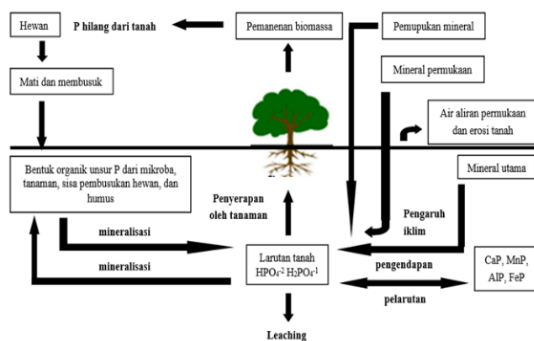


perakaran (Reinhold-Hurek dan Hurek, 2011). Rongga interseluler akar pada jaringan epidermis dan pada bagian korteks merupakan tempat kolonisasi bakteri, akan tetapi jaringan vaskular dan xylem juga dapat diinvasi sehingga dapat menyebabkan persebaran bakteri endofit pada daerah tunas tanaman (Compant et al., 2010).

Mekanisme fiksasi N oleh bakteri asosiatif dan endofit dizotrof sangat mirip dengan mekanisme yang telah dipelajari pada spesies *Rhizobium*. Pada susunan genom kedua bakteri diazotrof tersebut terdapat operon nifHDK, yang menyandi komponen nitrogenase: protein dinitrogenase (MoFe protein, NifDK), yang mengandung kofaktor *molybdenum-iron* yang merupakan tempat reduksi  $N_2$ ; dan protein *dinitrogenase reductase* (protein Fe, NifH) yang mentransfer elektron dari donor elektron ke protein nitrogenase (Monteiro et al., 2012).

### 5.3 Pelarutan Fosfat oleh Bakteri Endofit

Fosfat merupakan nutrisi terpenting kedua setelah nitrogen yang ketersediaannya sangat melimpah di alam baik dalam bentuk organik maupun anorganik (Khan et al., 2009). Walaupun berada dalam jumlah yang sangat melimpah di alam, ketersediaan unsur fosfat bagi tanaman sangat rendah. Hal ini dapat terjadi karena unsur fosfat yang berada di alam masih berada dalam bentuk yang tidak larut, sedangkan tanaman hanya mampu menyerap unsur fosfat dalam bentuk yang larut yaitu dalam bentuk ion monobasik ( $H_2PO_4^-$ ) dan ion diabasik ( $HPO_4^{2-}$ ) (Gambar 5.2) (Bhattacharyya dan Jha, 2012).

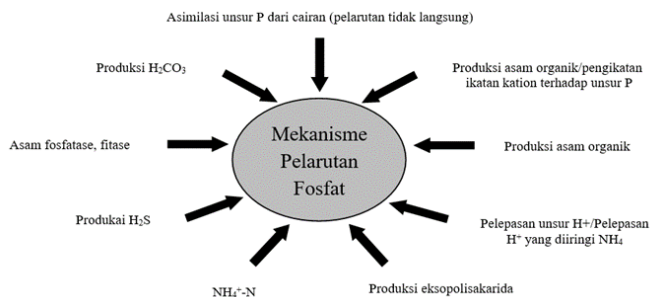


**Gambar 5.2:** Pergerakan fosfat di tanah (Ahemad dan Kibret, 2013).

Gambar 5.2 menunjukkan bahwa ketersediaan fosfat terlarut dalam bentuk ion-ion monobasik ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) dan ion diabasik ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) yang dibutuhkan oleh tanaman dapat diperoleh dari berbagai macam sumber unsur fosfat yang tersedia di alam, berupa: (1) hewan dan tanaman yang telah mati dan mengalami pembusukan oleh mikroba dekomposer yang ada di dalam tanah, (2) mineral dari berbagai macam pupuk yang digunakan dalam bidang pertanian dan perkebunan yang mengalami pelapukan di dalam tanah, (3) mineral yang terdapat pada permukaan tanah sebagai akibat dari aktivitas run-off dan erosi tanah, (4) mineral anorganik seperti apatite atau beberapa mineral organik dalam bentuk inositol phosphate (soil phytate), *phosphomonesters*, dan *phosphotriesters* (Glick, 2012) yang mengalami perubahan karena iklim (weathering), (5) berupa senyawa CaP, MnP, AlP, dan FeP yang mengalami perurairan (dissolution). Dalam perannya, tanaman melakukan asosiasi dengan kelompok bakteri fosfat dalam melarutkan unsur fosfat yang tidak terlarut di dalam tanah (Khan et al., 2006). Beberapa genus bakteri seperti *Azotobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, dan *Serratia* telah dilaporkan sebagai bakteri yang berpotensi dalam melarutkan unsur fosfat (Bhattacharyya dan Jha, 2012).

Bakteri endofit yang mengkolonisasi jaringan akar tanaman telah diketahui mempunyai kemampuan pelarutan fosfat. Bakteri tersebut merupakan bakteri yang berperan dalam penyuburan tanah karena bakteri ini dapat melarutkan unsur fosfat dengan cara mengekskresikan sejumlah asam organik dengan berat molekul rendah seperti asam oksalat, asam suksinat, asam fumarat, dan asam malat (Simanungkalit dan Suriadikarta, 2006). Akibatnya, asam-asam organik meningkat dan biasanya diikuti dengan penurunan pH sehingga mengakibatkan terjadinya pelarutan unsur fosfat yang terikat oleh Ca. Penurunan pH dapat disebabkan oleh terbebasnya asam sulfat dan nitrat pada oksidasi kemoautotrofik sulfur dan amonium, berturut-turut oleh bakteri *Thiobacillus* dan *Nitrosomonas* (Alexander, 1978).

Zaidi et al. (2009) menggambarkan beberapa proses pelarutan unsur fosfat di dalam tanah (Gambar 5.3). Beberapa mekanisme yang dilakukan oleh bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan unsur fosfat di antaranya adalah: (1) asimilasi unsur fosfat dari cairan (peruraian secara tidak langsung), (2) produksi asam-asam organik/pengikatan oleh ikatan kation terhadap unsur fosfat, (3) pembentukan asam-asam non organik, (4) pelepasan atom  $\text{H}^+$ /pelepasan atom  $\text{H}^+$  yang diiringi dengan senyawa  $\text{NH}_4^+$ , (5) produksi eksopolisakarida, (6) pengikatan atom N dengan senyawa  $\text{NH}_4^+$ , (7) produksi  $\text{H}_2\text{S}$ , (8) produksi enzim *acid phosphatase* dan *phytase*, dan (9) produksi  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .



**Gambar 5.3:** Mekanisme pelarutan fosfat oleh bakteri pelarut fosfat (Zaidi et al., 2009).

## 5.4 Proteksi dan Biokontrol Bakteri Endofit terhadap Mikroba Patogen pada Tanaman

Sebuah mekanisme alternatif dari bakteri endofit adalah dengan memproduksi senyawa antimikroba. Asam rosmarinat, yang diketahui memiliki potensi aktivitas antimikroba terhadap sejumlah mikroorganisme tanah, telah diinduksi dalam bentuk eksudat yang berasal dari kultur rambut akar tanaman selasih (*Ocimum basilicum*) dan diketahui mampu melawan serangan jamur *Phytophthora ultimum* (Bais et al., 2002). *Endophytic actinobacteria*, pada khususnya, diketahui mempunyai sumber senyawa bioaktif yang bermacam-macam termasuk antibiotik, antifungi, dan senyawa antitumor yang mempunyai potensi yang penting untuk dieksplorasi (Qin et al., 2011).

Produk antimikroba yang dihasilkan oleh bakteri endofit menunjukkan bahwa bakteri endofit menghambat mekanisme quorum quenching yang bersifat patogen, dengan cara menghambat komunikasi dan pembentukan biofilm tanpa menekan pertumbuhan bakteri patogen. *Cell-free lysate* (molekul protein yang terlepas) dari bakteri endofit diketahui mampu mendegradasi molekul yang berperan dalam proses quorum quenching dan menekan pembentukan biofilm pada *Pseudomonas aeruginosa* PAOI (Rajesh and Ravshankar, 2013). Oleh karena itu, bakteri endofit mampu melindungi inangnya dari serangan patogen

yang dapat mengembangkan sistem resistensi terhadap pertahanan tanaman. Mekanisme quorum quenching ini merupakan pendekatan antivirulensi alternatif yang menarik untuk bakteri yang resisten terhadap obat-obatan sehingga bakteri patogen tidak dapat mengembangkan mekanisme resistensi terhadap obat-obatan.

## 5.5 Produksi Hormon IAA oleh Bakteri Endofit

Peran fitohormon pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman merupakan peran yang pokok, bermacam-macam, kompleks, dan kombinasi dari mekanisme yang dilakukan dengan respon dinamis terhadap lingkungan (Durbak et al., 2012). Beberapa bakteri mempunyai kemampuan untuk memproduksi fitohormon seperti *indole-3-acetic-acid* (IAA), *giberelin* (GA), dan *sitokinin* (CK) (Tsavkelova et al., 2006).

IAA merupakan hormon pertumbuhan tanaman yang tidak mempunyai fungsi khusus pada sel bakteri, akan tetapi produksinya oleh sel bakteri memungkinkan terjadinya interaksi yang kuat antara bakteri yang menghasilkan dengan tanaman (Pattern dan Glick, 2002). IAA yang dihasilkan oleh sel bakteri rizosfir telah diketahui dapat melunakkan dinding sel tanaman sehingga tanaman menyediakan nutrisi tambahan yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri rizosfir (Chi et al., 2005). Selain itu, bakteri yang mampu memproduksi IAA dapat membantu meningkatkan area permukaan dan panjang akar, dengan demikian akses akar tanaman terhadap nutrisi dalam tanah semakin besar (Glick, 2012).

Sebuah molekul penting yang dapat mempengaruhi sintesis IAA adalah asam amino tryptophan, yang telah diketahui sebagai prekursor utama dalam sintesis hormon IAA (Zaidi et al., 2009). Pembentukan tryptophan dimulai dari senyawa chorismate dalam 5 tahap reaksi yang dikode oleh gen *trp*. Senyawa chorismate disintesis dari phosphoenolpyruvate dan erythrose 4-phosphate pada jalur mekanisme shikimate, yaitu jalur mekanisme umum untuk biosintesis asam amino aromatik dan metabolit sekunder. Berawal dari tryptophan, setidaknya terdapat lima mekanisme yang telah diketahui untuk proses sintesis IAA, dan sebagian besar mekanisme menunjukkan kesamaan terhadap tanaman yang

dideskripsikan, meskipun beberapa senyawa intermedietnya berbeda-beda (Gambar 5.4) (Spaepen dan Vanderleyden, 2011).

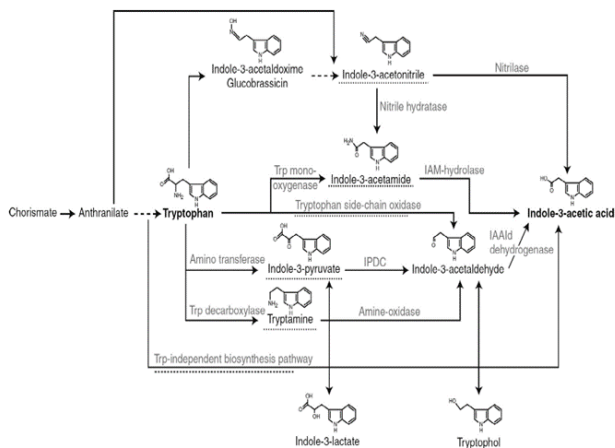
Spaepen dan Vanderleyden (2011) menjelaskan proses sintesis IAA sebagai berikut:

1. Sintesis IAA melalui indole-3-pyruvic acid dan indole-3-acetic aldehyde yang banyak ditemukan dari golongan bakteri seperti *Erwinia herbicola*, serta spesies saprofitik dari genus *Agrobacterium*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Klebsiella*, dan *Enterobacter*.
2. Sintesis IAA melalui pengubahan tryptophan menjadi indole-3-acetic aldehyde yang juga merupakan mekanisme alternatif (yaitu pengubahan tryptophan menjadi tryptamine) yang dibentuk oleh genus *Pseudomonas* dan *Azospirillum*.
3. Sintesis IAA melalui pembentukan indole-3-acetamide yang dilaporkan terdapat pada bakteri fitopatogenik seperti *Agrobacterium tumefaciens*, *Pseudomonas syringae*, dan *E. herbicola* serta genus *Pseudomonas* saprofitik (seperti *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas fluorescens*).
4. Sintesis IAA melalui pengubahan tryptophan menjadi indole-3-acetonitrile yang ditemukan pada kelompok *Cyanobacterium* (*Synechocystis* sp).
5. Sintesis IAA melalui mekanisme tryptophan-independent, yang lebih banyak terdapat pada tanaman dan juga ditemukan pada genus *Azospirillum* dan *Cyanobacterium*.

Skema mekanisme sintesis hormon IAA pada bakteri. Keterangan: senyawa intermediet yang dihasilkan merujuk pada nama mekanisme yang ditulis dengan garis terputus-putus. IAAId, indole-3-acetaldehyde; IAM, indole-3-acetamide; IPDC, indole-3-pyruvate decarboxylase; trp, tryptophan (Spaepen et al., 2007).

Tanah merupakan tempat terjadinya interaksi antara tanaman dengan mikroorganisme tanah. Salah satu kelompok mikroorganisme tanah adalah mikroba dan salah satu organisme dari kelompok mikroba adalah bakteri. Bakteri tanah dapat berada di daerah rizosfir perakaran (rhizospheric bacteria), di permukaan akar tanaman (associative bacteria), dan di dalam jaringan korteks

akar tanaman. Bakteri yang dapat hidup di dalam jaringan tanaman ini disebut dengan istilah bakteri endofit.



**Gambar 5.4:** Skema mekanisme sintesis hormon IAA

Pada saat berinteraksi dengan akar tanaman, bakteri endofit mengembangkan kemampuannya dalam memfiksasi nitrogen yang ada di atmosfer yang selanjutnya dikenal dengan istilah bakteri endofit diazotrof; melarutkan unsur fosfat yang terikat di dalam tanah; mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen yang terdapat di dalam jaringan akar tanaman, dan menghasilkan hormon pertumbuhan tanaman, misalnya *Indole Acetic Acid* (IAA). Kemampuan bakteri endofit dalam memproduksi hormon IAA dapat dipengaruhi oleh konsentrasi tryptophan, yang bertindak sebagai prekursor produksi hormon IAA.

# Bab 6

## Kemasaman dan Alkalinitas Tanah

### 6.1 Kemasaman dan Alkalinitas Tanah

Perubahan proses kimia di dalam tanah disebabkan karena adanya reaksi kimia yang dinyatakan dengan sifat kemasaman dan alkalinitas tanah. Salah satu peran reaksi tanah adalah memengaruhi pertumbuhan tanaman dengan adanya ion  $H^+$  dan  $Al$ . Ion  $H^+$  memengaruhi pertumbuhan tanaman secara langsung dan kelarutan  $Al$  memengaruhinya secara tidak langsung.

Tanah yang memiliki ion  $H^+$  lebih banyak dari ion  $OH^-$  digolongkan pada tanah masam. Sebaliknya tanah digolongkan basa jika ion  $OH^-$  lebih banyak daripada  $H^+$ . Sorrensen (1909) memperkenalkan istilah pH untuk menggambarkan kondisi ion  $H^+$  dan  $OH^-$  di dalam tanah. pH digunakan untuk menyatakan kemasaman dan alkalinitas tanah. Nilai pH yang berubah satu satuan akan merubah ion  $H$  atau  $OH$  sebanyak 10 kali lipat.

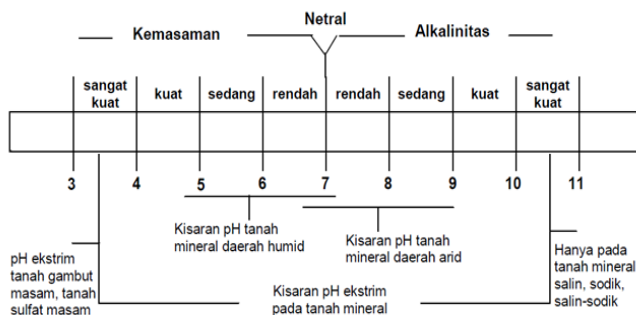
$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log [H^+]$$

Reaksi tanah digolongkan ke dalam tiga sifat yaitu masam, netral, dan alkalin. Tanah yang memiliki pH 7 digolongkan pada tanah masam, pH < 7 digolongkan pada tanah masam, pH > 7 digolongkan tanah basa atau alkalis.

**Tabel 6.1** Reaksi tanah berdasarkan kriteria PPT (1983)

pH	Reaksi tanah
< 4,5	Sangat masam
4,5 – 5,5	Masam
5,6 – 6,5	Agak masam
6,6 – 7,5	Netral
7,6 – 8,5	Agak alkalis
>8,5	Alkalis

Tingkat kemasaman dan alkalinitas tanah ditunjukkan pada Gambar 6.1. Berdasarkan tingkat kemasaman, tanah masam dibedakan menjadi empat tingkat yaitu kemasaman sangat kuat, kemasaman kuat, kemasaman sedang, dan kemasaman rendah. Tanah alkalin juga dibedakan menjadi empat tingkat yaitu alkalinitas sangat kuat, alkalinitas kuat, alkalinitas sedang, dan alkalinitas rendah (Anwar dan Sudadi, 2013).



**Gambar 6.1:** Reaksi tanah (Anwar dan Sudadi, 2013)

Tanah dengan kisaran pH 5-7 adalah jenis tanah mineral daerah humid. Tanah dengan kisaran pH 7-9 adalah jenis tanah mineral arid. Kendala utama pertumbuhan tanaman di tanah mineral masam adalah meningkatnya konsentrasi ion H, Al, Mn, sehingga menjadi racun bagi tanaman dan menurunnya konsentrasi hara makro ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , K+), kelarutan P dan Mo sehingga menghambat pertumbuhan akar dan penyerapan air dan hara (Sopandie, 2013).



Tanah yang digolongkan ekstrem adalah  $\text{pH} < 3$  dan  $\text{pH} > 11$ . Tanah masam ekstrem yang memiliki  $\text{pH} < 3$  adalah tanah sulfat masam, tanah gambut, dan tanah-tanah di daerah industri. Tanah masam disebabkan karena aluminium keluar dari struktur liat dan diadsorpsi oleh koloid tanah. Aluminium yang mengalami hidrolisis akan menghasilkan Al-hidroksida dan ion H sehingga menyebabkan pH tanah menjadi masam. Daerah pantai rawa mengandung pirit ( $\text{FeS}_2$ ) dan sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) yang jika dalam kondisi tergenang memiliki pH netral. Namun jika dalam kondisi kering menyebabkan pirit dan sulfida akan teroksidasi oleh oksigen sehingga menghasilkan asam. Kandungan asam yang terbentuk akan menurunkan nilai pH tanah menjadi 2-3 dan kandungan aluminium (Al) dan besi (Fe) menjadi larut. Hal ini dapat menyebabkan tanaman mengalami keracunan Al dan Fe (Hanafiah, 2013).

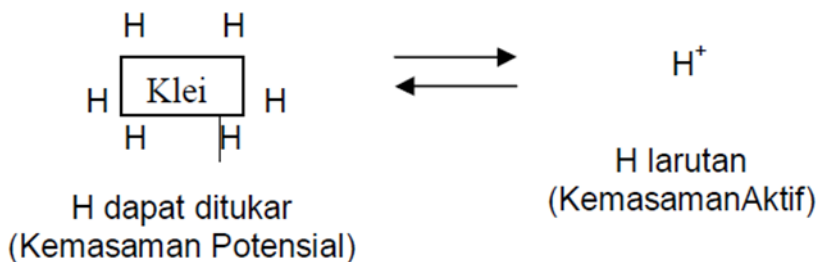
Lahan sulfat masam tergolong dua yaitu potensial dan aktual. Lahan sulfat masam potensial mengandung pirit dengan bahan sulfidik dalam kondisi tereduksi pada kedalaman 0-50 cm dan  $\text{pH} > 4$ . Lahan sulfat masam aktual mengandung pirit dengan bahan sulfurik dalam kondisi teroksidasi pada kedalaman 0-50 cm dan  $\text{pH} < 3.5$  (Soil Survey Staff, 1996).

Tanah alkalin ekstrim dengan  $\text{pH} > 11$  adalah tanah salin, sodik, dan salin-sodik yang dipengaruhi oleh garam. Tanah salin memiliki daya hantar listrik  $> 4$  ds/m yaitu 40 mM Na Cl dalam larutan tanah. Tanah salin memiliki garam yang dominan yaitu NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , CaCl,  $\text{Mg}_2\text{SO}_4$ , MgCl (Ghafoor et al. 2004). Tanah alkalin memiliki kandungan basa-basa dalam jumlah banyak tetapi kelarutan Al, Fe, atau Mn sangat sedikit. Tanah sodik memiliki kejenuhan  $\text{Na} > 15\%$  yang menyebabkan struktur tanah rusak dan meningkatnya nilai pH sehingga tanaman budidaya pertanian sulit beradaptasi (Hanafiah, 2013). Tanah alkalin banyak ditemukan pada daerah-daerah yang beriklim kering. Lahan salin di Indonesia mengandung natrium 8-15 % dan selama empat bulan dalam setahun mendapat intrusi air laut. Tanaman yang sangat toleran terhadap salinitas adalah rumput-rumputan dan yang medium toleran salinitas adalah tanaman padi yang ditanam di daerah semi-arid dan yang toleran adalah padi yang ditanam di arid (Sopandie, 2013).

### **Kemasaman Aktif dan Potensial**

Kemasaman aktif menunjukkan konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{Al}^{3+}$  pada larutan tanah (Havlin et al. 2005). Kemasaman potensial menunjukkan konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{Al}^{3+}$  pada permukaan jerapan. Ion H pada jerapan dengan di larutan adalah

seimbang. Jika ion H larutan berkurang, maka ion H dapat ditukar akan keluar menuju H larutan tanah yang disebut dengan disosiasi H jerapan.



Kemasaman aktif dapat diukur dengan menggunakan pH meter dan elektroda gas dengan campuran tanah dan air dengan perbandingan tertentu. Indikator kemasaman tanah ditentukan dengan nilai kemasaman aktif. Kemasaman potensial diukur dengan menggunakan titrasi tanah dengan suatu basa. Kebutuhan jumlah kapur untuk meningkatkan nilai pH dapat dihitung dengan mengetahui nilai kemasaman potensial (Munawar, 2011).

## 6.2 Sumber-Sumber Kemasaman Tanah

### 6.2.1 Pemupukan

Pupuk yang mengandung ammonium dan kalsium monofosfat yang diberikan ke tanah akan mengalami oksidasi dan menghasilkan kemasaman. Pupuk yang mengandung kalsium monofosfat akan mengalami hidrolisis di dalam tanah menghasilkan dikalsium fosfat dan asam fosfat yang menyebabkan tanah menjadi masam (Kennedy, 1992). Pengaruh amonium terhadap kemasaman tanah lebih kuat dibanding kalsium monofosfat.

Pupuk ZA  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  yang diberikan ke tanah akan mengalami hidrolisis menghasilkan asam sulfat  $(\text{H}_2\text{SO}_4)$ . Pupuk urea  $(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$  yang diberikan ke tanah akan mengalami hidrolisis menghasilkan amonium  $(\text{NH}_4^+)$  yang jika teroksidasi akan menghasilkan ion  $\text{H}^+$ . Pemberian TSP  $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2)$  dapat menurunkan pH hingga 1,01-1,48 yang mengakibatkan mineral-mineral hancur sehingga Al menjadi terlepas.

### 6.2.2 Aluminium

Tanah yang memiliki kation-kation basa (K, Ca, Mg) rendah akibat pelapukan lanjut atau pencucian kation oleh air hujan akan memiliki kation asam (Al, Mn, Fe, H) yang tinggi. Tanah yang mengandung Al dan Fe tinggi akan mengalami hidrolisis sehingga menghasilkan ion H dan menyebabkan tanah menjadi masam. Selain itu, kation Al dan Fe yang larut dalam tanah juga dapat meracuni tanaman (Munawar, 2011). Al dalam larutan tanah berikatan dengan 6 molekul H<sub>2</sub>O dan akan lepas satu ion H jika pH naik.

### 6.2.3 Oksida Mineral Sulfida

Pirit (FeS<sub>2</sub>) merupakan salah satu mineral sulfida yang jika mengalami oksidasi akan menghasilkan empat ion H sehingga menyebabkan kemasaman hingga pH 2-3. Tanah seperti ini disebut tanah sulfat masam. Pirit terbentuk di daerah rawa gambut pada kedalaman tertentu (Munawar, 2011).

### 6.2.4 Bahan Induk Tanah

Komposisi kimia yang terkandung dalam bahan induk tanah adalah beragam. Nilai pH pada bahan induk ditentukan oleh jenis mineral penyusun dan derajat pelapukan. Bahan induk tanah yang berasal dari batuan granit menyebabkan tanah lebih masam dibandingkan dengan dari batuan kapur (Munawar, 2011). Bahan induk yang berasal dari batuan kapur karbonat menyebabkan tanah memiliki pH > 8 dan pH rendah ditentukan oleh basa-basa, kecuali yang mengandung Na > 15% memiliki pH 10.

Nilai pH akan stabil pada daerah kering dan berubah pada daerah basah karena karbonat mengalami pencucian oleh aliran air tanah. Basa-basa yang hilang mengakibatkan muatan negatif berionisasi dengan air menghasilkan ion H yang menempati permukaan koloid tanah sehingga menyebabkan tanah masam dan kapasitas tukar kation tanah juga menurun.

### 6.2.5 Air Hujan

Air hujan yang bereaksi dengan kandungan CO<sub>2</sub> di atmosfer yang berasal dari dekomposisi bahan organik dan dari respirasi tanaman akan melarutkan CO<sub>2</sub> dan menghasilkan asam lemah H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Anwar dan Sudadi, 2013). Curah hujan yang tinggi akan menghasilkan banyak ion H dan akan menggantikan kation basa (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>) yang tercuci dari koloid tanah sehingga

menyebabkan pH tanah menjadi masam. Unsur Al dan Fe akan tinggal di tanah karena memiliki afinitas lebih tinggi. Pengaruh air hujan terhadap kemasaman tanah dapat mencapai ratusan tahun (Munawar, 2011; Anwar dan Sudadi, 2013).

### 6.2.6 Hujan Asam

Hujan asam terjadi pada daerah industri yang menghasilkan gas-gas sulfur ( $\text{SO}_2$ ) dan nitrogen ( $\text{NO}_2$ ) yang jika bereaksi dengan air hujan akan menghasilkan asam sulfur dan asam nitrit (Prasad dan Power 1997; Harter, 2007; Hanafiah, 2013). Kandungan asam yang dihasilkan menyebabkan pH tanah menurun. Kemasaman tanah yang disebabkan oleh hujan asam terjadi pada tanah bertekstur pasir dengan KTK rendah (Harter 2007).

### 6.2.7 Dekomposisi Bahan Organik

Dekomposisi bahan organik dapat menyebabkan kemasaman tanah, namun dipengaruhi oleh jenis tanamannya. Tanaman yang mengandung asam organik seperti asam amino akan terdekomposisi menjadi asam asetat, gas hidrogen, dinitrogen, dan karbondioksida. Pengaruh dekomposisi bahan organik terhadap kemasaman tanah sangat rendah (Munawar, 2011).

### 6.2.8 Nutrisi Tanaman

Tanaman yang membutuhkan kation lebih tinggi dibanding anion akan menyerap kation dari dalam tanah dalam jumlah yang banyak dengan mengeluarkan ion H ke dalam tanah sehingga menyebabkan tanah menjadi masam.

## 6.3 Sumber-Sumber Alkalinitas Tanah

### 6.3.1 Mineral

Batuan dan mineral merupakan sumber garam. Hasil pelapukan mineral berupa garam yang disebabkan oleh air hujan akan masuk ke dalam air perkolasi menuju sungai hingga ke laut, sedangkan di daerah kering akan terakumulasi disatu tempat. Derah kering yang mengandung garam sampai tingkat berbahaya mengandung mineral mafik (warna gelap, kandungan Mg dan Fe tinggi).

Mineral yang mengandung banyak Ca dan Mg banyak melepaskan Na dan K yang kemudian akan terakumulasi di suatu tempat.

### 6.3.2 Hujan

Pada daerah industri dan pantai memiliki atmosfer yang mengandung garam dan partikel debu. Peristiwa hujan menyebabkan garam akan sampai ke lahan. Pada daerah pantai, air hujan mengandung garam sekitar 50 sampai 200 mg/L dan jenis garamnya adalah Na, Cl, dan Mg.

### 6.3.3 Hujan

Garam yang berasal dari fosil mengandung garam yang lebih tinggi dibanding garam pada tanah salin yang terletak di bawah struktur tanah salin. Kadar garam dapat meningkat disebabkan karena garam-garam yang berasal dari fosil walau dengan keterbatasan air irigasi. Air tawar yang mengalir diatas sedimen salin juga dapat melarutkan garam-garam fosil.

### 6.3.4 Akumulasi garam

Kandungan air tanah tergolong dangkal di daerah datar. Di daerah kering, air tanah bergerak ke atas permukaan secara kapiler lalu menguap dan garam-garam yang terbawa akan terakumulasi di permukaan tanah dan membentuk lapisan keras

### 6.3.5 Aktivitas manusia

Akumulasi garam juga dapat disebabkan karena aktivitas manusia. Pada daerah tergenang yang sedang mengalami musim kering dapat terjadi akumulasi garam karena jumlah air berkurang. Kadar garam di tanah dapat meningkat karena pemberian irigasi yang mengandung garam tinggi. Jika drainase buruk akan meningkatkan kandungan garam di tanah karena air mengalami evapotranspirasi.

## 6.4 Pengaruh pH terhadap Hara Tanah

Perubahan reaksi pada tanah akan menyebabkan perubahan bentuk struktur unsur. Ketersediaan hara bagi tanaman dipengaruhi oleh pH tanah. Pengaruh pH

terhadap ketersediaan unsur N berhubungan dengan bakteri penambat N yang sensitif terhadap pH. Tanah yang memiliki pH masam akan menghambat aktivitas bakteri penambat N. Jika pH tanah terlalu tinggi menyebabkan volatilisasi.

Tanah yang memiliki pH > 6 mengandung unsur K, Ca, dan Mg yang tersedia bagi tanaman. Tanah yang tergolong masam menyebabkan unsur K, Ca, dan Mg menjadi tidak tersedia bagi tanaman karena mineral mengalami pelapukan dan pencucian. Unsur P tersedia bagi tanaman pada pH 5,5 – 6,8. Jika pH < 5,8 menyebabkan unsur P menjadi tidak tersedia karena diikat oleh Fe dan Al. Jika pH > 6,8 menyebabkan unsur P juga tidak tersedia bagi tanaman karena diikat oleh Ca (Munawar, 2011).

Unsur hara mikro merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit. Jika ketersediaan unsur mikro tinggi di dalam tanah dapat menyebabkan keracunan bagi tanaman. Ketersediaan unsur Fe, Zn, Mn, dan B akan meningkat jika pH tanah menurun, namun ketersediaan Mo berkurang. Kondisi pH tanah rendah dan ketersediaan unsur Mo rendah menyebabkan pertumbuhan tanaman legum akan terhambat. Tanah yang memiliki pH < 5 menyebabkan kelarutan unsur Al, Fe, dan Mn meningkat sehingga dapat meracuni tanaman. Masalah utama di tanah masam adalah keracunan aluminium.

Organisme tanah tumbuh optimal pada pH netral. Organisme tanah akan terhambat aktivitasnya disebabkan karena pH rendah. Organisme tanah sangat sensitif dengan pH rendah karena kelarutan Al meningkat. Hal ini akan menghambat penambatan N dan nitrifikasi secara langsung, dan menghambat perombakan bahan organik secara tidak langsung.

## 6.5 Pengelolaan Kemasaman dan Alkalinitas Tanah

### 6.5.1 Pengapuran

Kemampuan menahan perubahan reaktivitas tanah disebut daya sangga. Daya sangga tanah pada pH < 5,5 disebabkan karena di koloid tanah terdapat Al yang terjerap. Daya sangga tanah pada pH < 4,5 disebabkan karena Aluminium dapat

ditukar (Al-dd) mengalami hidrolisis. Daya sangga tanah antara pH 4,5 – 5,5, pH tanah dapat dipertahankan dengan netralisasi pada polimer Al. Daya sangga tanah pada pH > 5,5 terjadi penetralan H dapat ditukar (H-dd). Ciri tanah yang memiliki daya sangga tinggi adalah kandungan kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi. Daya sangga tanah berhubungan dengan daya netralisasi kemasaman tanah dengan pemberian kapur (Anwar dan Sudadi, 2013).

Pemberian kapur ditentukan oleh kandungan Al-dd, daya sangga, dan bahan organik. Tanah membutuhkan pemberian kapur yang tinggi jika kandungan Al-dd, daya sangga, dan bahan organik tinggi. Pemberian kapur bertujuan untuk menghilangkan faktor yang membatasi pertumbuhan tanaman dan menambah unsur hara tanaman. Kemasaman tanah pada pH < 5,5 disebabkan oleh Al sedangkan pada pH 5,5 - 6,5 disebabkan oleh ion H.

Pengapuran adalah memberikan kapur yang mengandung senyawa Ca dan Mg ke dalam tanah untuk menurunkan konsentrasi ion H dan Al pada tanah masam. Selain itu, fungsi kapur juga dapat meningkatkan ketersediaan P dan aktivitas organisme tanah, serta meningkatkan kandungan Ca dan Mg di dalam tanah. Bahan kapur yang banyak digunakan adalah kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), kapur bakar ( $\text{CaO}$ ), kapur sirih ( $\text{MgO}$ ), kapur tembok [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] dan kalsium silikat. Pemberian kapur harus tercampur secara merata ke tanah pada kedalaman 10-15 cm dapat meningkatkan nilai pH tanah. Pemberian kapur karbonat akan mengubah pH tanah dari 6 -12 bulan.

### 6.5.2 Penggunaan tanaman toleran Al

Salah satu cara untuk memanfaatkan tanah masam adalah dengan menanam tanaman yang toleran Al. Perbaikan tanaman toleransi Al lebih diarahkan pada perbaikan adaptasi akar terhadap cekaman Al melalui pemuliaan dengan seleksi berulang, pengembangan somaklonal toleran Al, dan ekspresi ektopik untuk mengurangerap Al dan tingkat kerusakan sel disebabkan Al (Samac dan Tesfaye, 2003).

### 6.5.3 Pemberian gypsum

Pemberian gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dapat menurunkan pH tanah dengan membentuk asam sulfat yang apabila bereaksi dengan air akan menghasilkan ion H (Hanafiah, 2013).





# **Bab 7**

## **Dasar Pengelolaan Hara Tanaman**

### **7.1 Pendahuluan**

Negara agraris berupaya untuk mempertahankan ketahanan pangan, sehingga sangat membutuhkan terhadap pupuk. Sektor pertanian Indonesia akan mampu beradaptasi terhadap perubahan iklim dengan cara meningkatkan efisiensi pupuk, dan menerapkan pemupukan berimbang, karena dengan pupuk maka tanaman menjadi sehat. Usaha yang dilakukan selain meningkatkan efisiensi pupuk dan menyeimbangkan hara, perlu digalakkan penggunaan sumber hara alternatif seperti pupuk kandang, sisa tanaman, dan tanaman penutup tanah. Pupuk kandang sangat diperlukan karena memiliki manfaat untuk memperbaiki struktur, kelembaban tanah, aerasi, dan kapasitas tukar kation dalam tanah. Selain menyediakan unsur hara makro seperti N, P, K, Ca, Mg, pupuk kandang juga mengandung hara mikro seperti Zn, B, Mo (Abay, 2019).

Pemberian pupuk bertujuan untuk tercapainya ketersediaan hara esensial yang seimbang dan optimum ke dalam tanah, hal ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan mutu hasil pertanian, meningkatkan efisiensi pemupukan, meningkatkan kesuburan dan kelestarian tanah, serta menghindari pencemaran lingkungan dan keracunan tanaman. Dengan penerapan pemupukan berimbang

diharapkan sesuai status hara tanah, maka kebutuhan tanaman dan target hasil bisa tercapai. Untuk penentuan dosis pupuk yang sesuai status hara tanah dan kebutuhan tanaman ditetapkan dengan uji tanah. Pengelolaan bahan organik dan pupuk hayati dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pupuk anorganik. Pupuk berimbang bisa menggunakan pupuk majemuk tetapi tidak sama dengan pupuk majemuk karena penerapan pupuk berimbang harus disesuaikan status hara tanah dan produktivitas padi atau varietaspadi, di mana formula pupuk majemuk harus bersifat spesifik lokasi (sesuai status hara dan produktivitas). Pupuk majemuk tetap memerlukan tambahan pupuk tunggal seperti urea, SP-36 dan/atau KCl. Prinsip Pemupukan Berimbang adalah pemupukan tepat jenis/bentuk yaitu formula pupuk sesuai kondisi tanah dan kebutuhan tanaman, tepat dosis yaitu sesuai dengan status hara tanah, kebutuhan tanaman, dan target hasil, tepat waktu yaitu hara tersedia saat tanaman memerlukan dalam jumlah banyak, serta tepat cara yaitu penempatan pupuk di lokasi tanaman yang secara efektif dapat mengakses hara (Wibowo, 2017).

Rajiman (2020) menyatakan bahwa prinsip pemupukan adalah pemberian bahan penyedia hara untuk menambah atau menggantikan hara yang telah digunakan atau hilang. Tujuan pemupukan adalah memenuhi nutrisi yang dibutuhkan tanaman supaya tanaman dapat tumbuh optimal dan menghasilkan produksi dengan mutu yang baik. Adapun yang melatarbelakangi pemupukan adalah kondisi tanah yang miskin hara, pertumbuhan tanaman terhambat, walaupun sudah dilakukan penyiangan dan diidentifikasi gejala kekurangan unsur hara, mempercepat pertumbuhan tanaman karena mengurangi risiko persaingan dengan gulma dan ingin meningkatkan hasil pertambahan pertumbuhan per satuan luas. Kegagalan pertumbuhan dan panen tidak hanya disebabkan oleh kekurangan hara tetapi juga kelebihan hara. Pemberian pupuk yang berlebihan mengakibatkan tanaman keracunan dan mati sehingga panen merugi, serta menghabiskan modal yang besar tanpa hasil yang diinginkan.

Untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman harus didukung dengan ketersediaan hara dalam tanah. Hara yang terdapat di dalam tanah akan diserap oleh tanaman untuk pembentukan biomassa. Hal ini didukung oleh larutan dalam sistem air tanah, jumlah hara tersedia cukup dan seimbang, hara tersedia dalam bentuk yang segera dapat diserap oleh tanaman. Pemenuhan kebutuhan hara bagi tanaman akan diperoleh dari cadangan hara yang berada dalam tanah, pupuk mineral, sumber bahan organik, nitrogen yang berasal dari atmosfer, endapan yang berasal dari angin atau hujan, irigasi, banjir, dan sedimentasi. Tanaman membutuhkan hara esensial. Kekurangan unsur hara akan menghambat dan mengganggu pertumbuhan vegetatif maupun generatif.

Jika tanaman kekurangan unsur hara, maka kekurangan tersebut tidak dapat digantikan oleh unsur hara lainnya. Unsur hara akan terlibat dalam proses metabolisme (Rajiman, 2020). Pada buku ini akan membahas pengelolaan hara pada tanaman pangan, hortikultura dan perkebunan.

## 7.2 Pengelolaan Hara Pada Tanaman Pangan

Tanaman pangan merupakan tumbuhan yang dapat dimanfaatkan dan diolah untuk memenuhi kebutuhan makanan bagi manusia dan mampu menghasilkan produksi yang mengandung karbohidrat dan protein sebagai sumber makanan pokok. Tanaman pangan terdiri atas sereal, umbi dan kacang-kacangan. Tanaman sereal adalah sekelompok tanaman yang ditanam untuk dipanen biji atau bulirnya sebagai sumber karbohidrat. Kebanyakan jenis tanaman pangan sereal merupakan anggota dari suku padi-padian. Umbi merupakan jenis tanaman pangan yang dimanfaatkan sebagai sumber bahan makanan pokok karena mempunyai kandungan karbohidrat dalam bentuk pati dan kandungan serat yang tinggi. Umbi merupakan organ atau bagian dari tanaman yang mengalami perubahan ukuran dan bentuk sehingga mengalami pembengkakan sebagai akibat dari perubahan fungsinya. Kegunaan tanaman pangan adalah sebagai sumber energi, memperbaiki sel dan meningkatkan daya tahan tubuh, memperpanjang kelangsungan hidup manusia (Anonim, 2021).

Padi merupakan salah satu tanaman sereal yang telah menjadi makanan pokok diberbagai negara termasuk Indonesia. Padi yang berasal dari famili Poaceae merupakan tanaman semusim dengan hasil produksinya berupa beras dengan kandungan karbohidrat yang tinggi. Tanaman jagung adalah contoh tanaman sereal yang ditanam sebagai sumber bahan pangan pokok untuk manusia dan dapat digunakan juga sebagai pakan ternak dengan memanfaatkan bagian daun dan tongkolnya. Jagung dapat dibuat menjadi tepung maizena yang dapat diolah menjadi berbagai makanan pokok. Kandungan karbohidrat pada jagung menyebabkannya dapat digunakan sebagai sumber pangan pengganti padi. Jagung juga dapat menjadi tanaman pangan golongan palawija yang ditanam setelah panen padi sehingga terjadi rotasi tanaman yang baik bagi tanah. Gandum Merupakan salah satu tumbuhan pangan dari jenis sereal yang banyak digunakan sebagai bahan pangan pokok di negara Eropa. Gandum selain

menjadi bahan makanan pokok juga dapat dijadikan tepung terigu, pakan ternak dan sebagai bahan industri. Tanaman dengan nama latin *Triticum spp* ini mempunyai sistem perakaran serabut dengan batang beruas dan berongga. Tanaman gandum kaya nutrisi yang tinggi seperti serat, protein, vitamin B kompleks dan beberapa mineral (Anonim, 2021).

Singkong tergolong kedalam genus *Manihot* yang terkenal dengan kandungan pati yang tinggi. Pati dalam singkong mengandung karbohidrat yang tinggi sehingga cocok dijadikan sebagai sumber pangan. Singkong termasuk tanaman yang perawatannya cukup mudah. Tanaman ini menjadi salah satu tanaman pangan penting mengingat kegunaannya yang luas baik sebagai bahan pangan maupun bahan industri. Tanaman yang akrab dengan nama lain ketela pohon ini mempunyai sistem perakaran tunggang dengan akar cabang yang berubah fungsi menjadi umbi. Kentang merupakan contoh tanaman yang menjadi sumber pangan bagi sebagian besar negara Eropa dan Amerika. Kentang merupakan tanaman pangan penting dengan nilai ekonomi yang tinggi. Tanaman kentang dipanen bagian umbinya yang mengandung karbohidrat tinggi sebagai sumber pangan. Selain karbohidrat, kentang juga mengandung protein, asam amino esensial, sumber vitamin dan mineral yang baik untuk mencukupi kebutuhan gizi pada tubuh (Anonim, 2021).

Tanaman kedelai termasuk dalam famili *Fabaceae* dengan perakaran tunggang dan batang yang berkambium. Kedelai dapat menjadi sumber pangan dari jenis kacang-kacangan dengan kandungan karbohidrat dan protein yang tinggi. Permintaan kedelai yang cukup tinggi dimasyarakat menjadikan komoditas pangan yang satu ini sebagai prospek bisnis yang menjanjikan. Kacang hijau termasuk dalam famili *Fabaceae* merupakan tanaman pangan yang dapat dijadikan tanaman kedua atau palawija setelah tanaman utama. Kacang hijau mempunyai buah berupa polong yang dapat menjadi sumber energi dan mengandung vitamin yang cukup tinggi. Kacang hijau dapat diolah menjadi berbagai macam makanan yang menyehatkan dan mengenyangkan. dalam budidayanya, tanaman ini memerlukan pemeliharaan yang intensif untuk menghasilkan biji kacang hijau yang berkualitas dan bermutu baik (Anonim, 2021).

### 7.2.1 Pengelolaan Hara pada Tanaman Padi

Padi membutuhkan 16 unsur hara esensial meliputi unsur C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn, B, Cl dan Mo dalam jumlah yang cukup. Unsur C, H dan O dipasok dalam bentuk gas CO<sub>2</sub> dan air, sedangkan unsur yang lain

diperoleh dari tanah, air dan sisa tanaman. Pengelolaan hara pada tanah sawah berbeda dengan lahan kering hal ini disebabkan sifat dan ciri tanah sawah yang mempunyai karakteristik khas karena adanya penggenangan. Tanah sawah merupakan tanah tergenang atau jenuh air sepanjang masa pertumbuhan padi sehingga dapat digunakan untuk produksi tanaman pangan. Penyerapan hara setiap tahap pertumbuhan padi berbeda-beda. Pada tahap perkecambahan, kandungan N, P dan K meningkat kemudian menurun. Kandungan maksimum unsur berbeda-beda tergantung pasokan unsur hara. Kandungan unsur N pada saat pindah tanam menurun kemudian meningkat sampai awal pembungaan. Kandungan N akan menurun terus sampai masa pengisian bulir dan hampir konstan sampai stadium masak susu. Setelah pindah tanam, maka kandungan P akan menurun kemudian meningkat secara bertahap dan mencapai puncak pada awal pembungaan. Kandungan yang tinggi bertahan selama masa berbunga kemudian menurun hingga pengisian bulir, hal ini berkaitan dengan akumulasi pati pada biji serta menunjukkan hubungan yang erat antara metabolisme karbohidrat dengan unsur P. Kandungan K akan menurun secara bertahap sesuai dengan pertumbuhan tanaman kemudian meningkat dari masa pembungaan sampai tahap masak susu. Untuk perubahan persentase Ca sama dengan K. Kandungan Mg tinggi sejak pindah tanam sampai pertengahan pembentukan anakan kemudian menurun secara bertahap. Kandungan S akan menurun seiring dengan pertumbuhan (Pujiastuti, 2006).

Kasno et al. (2020) telah melakukan penelitian tentang pengelolaan hara terpadu pada lahan sawah tadah hujan sebagai upaya peningkatan produksi beras nasional. Faktor yang menyebabkan kegagalan panen adalah kekurangan air pada awal tanam musim hujan maupun saat menjelang panen pada musim tanam kedua. Upaya untuk memperbaikinya adalah pemberian bahan pembenah tanah seperti kompos jerami, pupuk kandang, biochar dan kapur pertanian atau dolomit terutama untuk tanah yang bereaksi masam untuk meningkatkan kesuburan tanah sebelum dilakukan pemupukan. Teknologi pemupukan berimbang dapat diterapkan pada lahan sawah tadah hujan dengan pupuk urea 250-300 kg/ hektar, SP-36 sebesar 50-75 kg/ha, KCl 50 kg/ hektar, bahan organik 2 ton/hektar. Pengembalian jerami sisa hasil panen ke dalam tanah. Dengan melakukan pemupukan yang berimbang akan dapat meningkatkan hasil padi dari 1,8-3,5 ton/hektar. Menjadi 5,0-5,8 ton/ hektar.

Soplanit dan Nukuhulay (2012) telah melakukan penelitian tentang pengaruh pengelolaan hara NPK terhadap ketersediaan N dan hasil tanaman padi sawah di desa Waelo, kabupaten Buru. Hasil dari penelitian ini adalah pemberian

pupuk NP, NK, NPK berpengaruh terhadap tinggi tanaman, warna daun, gabah berisi per malai, bobot 1000 biji dan produksi gabah kering panen serta kadar N tanah dan kadar N daun. Produktivitas padi yang rendah diperoleh pada perlakuan tanpa pupuk N yaitu dengan 2,50 kg/petak gabah kering panen dan perlakuan PK yaitu 2,78 kg/ petak gabah kering panen.

### 7.2.2 Pengelolaan Hara pada Tanaman Kedelai

Pemberian pupuk pada budidaya tanaman kedelai berdasarkan rekomendasi secara umum yaitu 25-50 kg urea/hektar, 50-100 kg SP-36/hektar serta 50-100 kg KCl/hektar. Perlu diketahui bahwa status dan keseimbangan unsur NPK setiap lokasi sangat beragam, sehingga pemupukan secara umum tidak efisien karena akan mempercepat degradasi. Oleh sebab itu perlu adanya optimasi pemupukan NPK yang diberikan harus sesuai dengan target hasil yang ingin dicapai serta berdasarkan pemupukan spesifik lokasi untuk mempertahankan status kesuburan tanah (Permadi dan Haryati, 2015).

Status hara dikategorikan menjadi tiga macam yaitu rendah, sedang dan tinggi. Status hara rendah menunjukkan bahwa pupuk yang dibutuhkan lebih banyak, respon pemupukan tinggi, tanpa pupuk gejala kekahatan akan tampak, pertumbuhan tidak normal, kemungkinan mati kecil meskipun tidak berbuah. Status hara sedang menunjukkan kebutuhan hara sedang, respon pemupukan sedang, tanpa pemupukan pertumbuhan tanaman kurang normal, gejala kahat tidak muncul dan produksi rendah. Status hara tinggi membutuhkan pupuk sedikit, respon pemupukan rendah, tambahan pupuk hanya untuk pemeliharaan kesuburan tanah (Wijanarko dan Taufik, 2008).

Pemupukan pada tanaman kedelai berdasarkan pengelolaan hara spesifik lokasi dengan metode analisis perangkat uji tanah sawah bagi lahan sawah di musim kemarau dan metode perangkat uji tanah kering yang menentukan kelas hara tanah termasuk rendah, sedang dan tinggi. Pemberian pupuk N pada kelas hara tanah termasuk rendah, sedang dan tinggi masing-masing sebesar 174, 152 dan 117 kg/hektar urea. Untuk pupuk P pada kelas hara tanah rendah, sedang dan tinggi masing-masing 104, 80 dan 40 kg SP-36/ hektar. Untuk pupuk K pada kelas hara tanah rendah, sedang dan tinggi adalah 210, 190 dan 150 kg KCl/ hektar (Permadi dan Haryati, 2015).

### 7.2.3 Pengelolaan Hara pada Tanaman Jagung

Susilowati dan Kusumo (2018) menyatakan perlu adanya kompetensi dalam pengelolaan hara pada pertanaman jagung berbasis pemupukan berimbang di Kabupaten Dompu. Hal yang melatarbelakangi adalah keterbatasan pengetahuan petani tentang pupuk dan pemupukan tanaman telah menyebabkan petani kurang memahami cara-cara pengelolaan hara tanaman, sehingga banyak petani yang menerapkan pemupukan tanpa memperhatikan kaidah pemupukan. Oleh sebab itu perlu percepatan difusi teknologi dengan memberikan penyuluhan kepada petani tentang pemupukan berimbang dan pendampingan cara pemupukan yang tepat. Pengelolaan hara berimbang adalah pengelolaan hara yang mempertimbangkan tingkat kesuburan tanah dalam menyediakan hara tanaman secara alami dan tingkat kebutuhan tanaman Dosis pemupukan P untuk bisa mencapai target produksi 5 ton/ha pada tanah yang kaya unsur P tidak setinggi dosis pemupukan pada tanah yang miskin P. Tindakan pemupukan yang tepat dilakukan secara berimbang dengan memperhatikan kebutuhan tanaman. Pupuk Phonska adalah pupuk majemuk dengan kadar 15% N, 15% P<sub>2</sub>O dan 10% S. Jika pemupukan dengan 8 kuintal Phonska artinya menambahkan unsur 120 kg N, 120 kg P<sub>2</sub>O dan 120 kg K. Rekomendasi pemupukan berimbang untuk pupuk tersebut adalah 300 kg urea, 300 kg phonska dan 500 kg pupuk petroganik. Pemupukan 300 kg urea dengan 300 kg phonska akan memberikan masukan N ke dalam tanah sebanyak 183 kg N/hektar. Jika hanya diberi 8 kuintal phonska berarti tanaman akan menderita kekurangan N. Hal ini akan menyebabkan terjadinya penyimpangan metabolisme sehingga menurunkan produktivitas tanaman.

### 7.2.4 Pengelolaan Hara pada Tanaman Kentang

Nazari et al. (2012) melakukan studi tentang pengelolaan kesuburan tanah pada pertanaman kentang dengan aplikasi pupuk organik dan anorganik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kadar N pupuk organik yang digunakan berdasar kebutuhan kentang, tanah adalah 60kg/ha (D1), 120kg/ha (D2), dan 250 kg/ha (D3). Kadar pupuk anorganik yang direkomendasikan adalah 120 kg N/ha, 165 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha dan 120 kg K<sub>2</sub>O/ha. Setiap perlakuan diulangi tiga kali. Karakteristik yang dilihat meliputi: pH, C Organik, total N, C/N Rasio, ketersediaan P, ketersediaan K, dan KTK. Tidak ada yang berbeda dari pH, C-organik, N-Total, C / N Ratio, ketersediaan P, ketersediaan K dan KTK tanah antara pupuk anorganik dan berbagai jenis pupuk organik pada rasio 120kg N

/ha. Nilai residu nutrisi tanah sama dengan perlakuan dari pupuk organik dan anorganik.

### 7.2.5 Pengelolaan Hara pada Tanaman Singkong

Produktivitas ubikayu secara nasional tergolong rendah (18,24 t/ha ubi segar), salah satu penyebabnya adalah ketersediaan hara yang rendah dalam tanah, di antaranya K. Hara K sangat menentukan pertumbuhan tanaman serta kuantitas dan kualitas hasil ubikayu, sebab K terlibat dalam berbagai proses fisiologi, diantaranya pertumbuhan sel, pembukaan stomata, pembentukan dan translokasi karbohidrat, pembentukan protein, dan senyawa fenol yang dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Pengelolaan hara K pada ubikayu di lahan kering masam perlu mendapat perhatian besar, sebab (a) areal ubikayu telah dan terus berkembang ke lahan kering masam yang tersedia luas, khususnya di Sumatera dan Kalimantan yang antara tahun 2005 dan 2009 tumbuh secara signifikan, berturut-turut 17,6% dan 6,5%, dan (b) ubikayu relatif banyak membutuhkan hara K jika dibandingkan dengan tanaman pangan yang lain (padi, jagung, kedelai, kacang tanah). Ketersediaan K (K-dd) pada lahan kering masam umumnya kurang dari 0,10 me/100 g tanah, padahal untuk ubikayu batas kritis K-dd adalah 0,15 me/100 g tanah; sehingga tambahan K melalui pemupukan mutlak diperlukan untuk meningkatkan ketersediaan K dalam tanah. Berdasarkan pola pertumbuhan biomassa dan perakaran ubi kayu, serta potensi erosi dan pelindian hara K yang tinggi pada lahan kering masam, maka pupuk K dianjurkan diberikan dua kali, masing-masing 50% pada umur satu dan tiga bulan. Pupuk di aplikasi secara dibenamkan/ditugal di samping tanaman pada kedalaman 5–10 cm. Selain melakukan pemupukan, upaya lain yang harus dilakukan untuk mengurangi kehilangan serta meningkatkan ketersediaan dan penyerapan hara K dalam tanah adalah: (a) menerapkan sistem pertanaman lorong dengan menanam pagar hidup untuk mengurangi erosi dan pelindian, dan (b) meningkatkan kandungan bahan organik tanah, sebagai sumber dan agar tanah lebih banyak mengikat/menyediakan air/lengas untuk memperlancar pergerakan K ke permukaan akar melalui proses aliran massa dan difusi (Subandi, 2011).



## 7.3 Pengelolaan Hara Pada Tumpang Sari Kapas Dan Kacang Hijau

Cholid dan Kadarwati (2007) telah melakukan penelitian di Asembagus Jawa Timur. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan kebutuhan pupuk P dan K tanaman kapas berdasarkan status hara P dan K. Penelitian terdiri atas dua kelompok kegiatan yaitu penelitian perbaikan pengelolaan hara P dan penelitian perbaikan pengelolaan hara K. Perlakuan bahan organik sebagai petak utama terdiri atas B1. Tanpa bahan organik dan B2. Pemberian bahan organik 5 ton per ha. Perlakuan dosis pupuk P sebagai anak petak terdiri atas P1. 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha, P2. 25 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha, P3. 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha dan P4. 75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Perlakuan pupuk K terdiri atas: K1. 0 kg K<sub>2</sub>O per ha, K2. 20 kg K<sub>2</sub>O per ha, K3. 40 kg K<sub>2</sub>O per ha, K4. 60 kg K<sub>2</sub>O per ha dan K5. 80 kg K<sub>2</sub>O per ha. Tanah dengan tekstur pasir pemberian bahan organik sebesar 5 ton/ha belum mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi kapas dan kacang hijau pada tahun pertama. Pada status hara P sedang dan K tinggi pemberian pupuk P dan K tidak memberikan respon yang nyata terhadap pertumbuhan dan produksi kapas tumpang Sari dengan kacang hijau, sehingga pemberian pupuk P dan K pada kondisi tersebut dinilai tidak ekonomis.

## 7.4 Pengelolaan Hara pada Cabai Merah

Cabai merah termasuk anggota famili Solanaceae dan merupakan salah satu komoditas sayuran yang memiliki banyak manfaat, bernilai ekonomi tinggi dan mempunyai prospek pasar yang menarik. Buah cabai selain dapat dikonsumsi segar untuk campuran bumbu masak juga dapat diawetkan misalnya dalam bentuk acar, saus, tepung cabai dan buah kering. Cabai merah cocok dibudidayakan, baik di dataran rendah maupun dataran tinggi, pada lahan sawah atau tegalan dengan ketinggian 0–1000 m dpl. Tanah yang baik untuk pertanaman cabai adalah yang berstruktur remah atau gembur, subur, kaya akan bahan organik, pH tanah antara 6–7. Kandungan air tanah juga perlu diperhatikan. Hal tersebut berhubungan dengan tempat tumbuh tanaman cabai (sawah atau tegalan). Tanaman cabai yang dibudidayakan di sawah sebaiknya ditanam pada akhir musim hujan, sedangkan di tegalan ditanam pada musim hujan. Dengan pemilihan musim tanam yang tepat, diharapkan pada saat

pertumbuhan tanaman, kandungan air sawah tidak berlebihan dan di tanah tegalan masih cukup air untuk pertumbuhan cabai (Anonim, 2015).

Sumarni et al. (2014) melakukan studi tentang pengelolaan hara tanaman untuk mendukung usaha tani cabai merah di dataran tinggi. Budidaya cabai merah dengan menggunakan pupuk kimia yang tinggi berdampak pada penurunan produktivitas lahan dan tanaman cabai merah, serta pencemaran lingkungan. Oleh sebab itu perlu dicari teknologi alternatif ramah lingkungan dengan mengganti pupuk kimia sintetik dengan bahan organik, alami, dan hayati (mikroorganisme), serta menggunakan sistem tanam ganda. Pada penelitian ini menggunakan cabai merah varietas Kencana. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem tanam dan pengelolaan hara yang tepat untuk meningkatkan hasil cabai merah. Desain penelitian adalah sistem tanam cabai merah yang terdiri atas cabai merah monokultur, tumpangsari cabai merah dan kubis bunga, tumpangsari cabai merah dan buncis tegak. Pengelolaan hara meliputi 30 t/ha pupuk kandang + 1.000 kg/ha pupuk NPK, 30 t/ha kompos pupuk kandang + 750 kg/ha pupuk NPK, 30 t/ha kompos sisa-sisa tanaman + 500 kg/ha pupuk NPK, 30 t/ha kompos campuran pupuk kandang dan sisa-sisa tanaman yang diperkaya + 250 kg/ha pupuk NPK. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa antara sistem tanam dan pengelolaan hara tidak terjadi interaksi terhadap pertumbuhan tanaman, serapan hara, dan hasil buah cabai merah. Sistem tanam tumpangsari cabai merah + kubis bunga dan cabai merah + buncis tegak umumnya tidak menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap pertumbuhan tanaman, dan serapan hara, serta hasil buah tanaman cabai merah dibandingkan dengan sistem tanam cabai merah monokultur. Perbedaan pengelolaan hara berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan bobot kering tanaman, serapan hara P dan Mg, serta hasil bobot buah cabai merah. Bobot buah cabai merah tertinggi diperoleh dengan sistem tanam cabai merah monokultur dengan pemberian 30 t/ha kompos pupuk kandang + 750 kg/ha pupuk NPK, yaitu 64 kg/42 m<sup>2</sup>, sedangkan sistem tanam tumpangsari cabai merah + buncis dan pengelolaan hara 30 t/ha kompos sisa-sisa tanaman + 500 kg/ha pupuk NPK walaupun memberikan hasil buah cabai merah yang lebih rendah (54 kg/42 m<sup>2</sup>) tetapi lebih baik karena mempunyai tingkat pengembalian marginal tertinggi. Harapannya hasil penelitian ini dapat diaplikasikan dan mengurangi penggunaan pupuk anorganik serta meningkatkan produktivitas lahan yang sejalan dengan prinsip-prinsip pertanian berkelanjutan.

# Bab 8

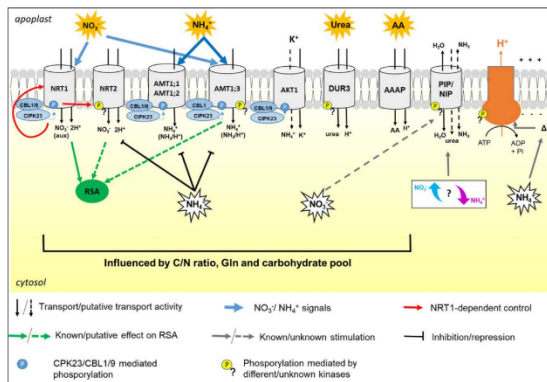
## Nitrogen Sebagai Hara Tanaman

### 8.1 Pendahuluan

Tanaman selama proses hidupnya membutuhkan adanya nutrisi dalam bentuk hara dalam keadaan cukup dan seimbang. Unsur hara secara umum terbagi menjadi dua yaitu unsur hara Makro dan Mikro. Unsur hara makro merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang relatif besar atau banyak (0,5-3% berat tubuh tanaman) sedangkan unsur hara mikro dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang relatif kecil (beberapa ppm/ part per-million dari berat keringnya). Unsur hara makro meliputi nitrogen (N), pospor (P), kalium (K), Carbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), calcium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S), sedangkan unsur hara mikro meliputi besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), boran (B), molybdenum (Mo) dan chlor (Cl).

Nitrogen bersama karbon dioksida adalah nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah besar oleh tumbuhan tingkat rendah dan tinggi. Oleh karena itu, N adalah unsur hara yang mutlak dibutuhkan oleh tanaman sehingga apabila kekurangan atau ketiadaan unsur hara ini menyebabkan tanaman tidak mampu menyelesaikan siklus hidupnya dengan adanya gejala defisiensi. Keadaan defisiensi ini juga didukung oleh sifat N yang mobil, mudah sekali terlindi dan mudah menguap.

Pada akar, adaptasi utama terhadap ketersediaan N terdiri dari perubahan serapan aktivitas dan dalam modulasi arsitektur sistem root (RSA), yang keduanya terkait dengan kemampuan bentuk N untuk bertindak sebagai nutrisi dan/atau sinyal pengatur bagi tanaman pertumbuhan dan metabolisme (Gambar 8.1). Transportasi dan penginderaan bentuk N melibatkan protein yang terletak di PM sel akar. Dalam beberapa tahun terakhir, ada peningkatan besar dalam pengetahuan tentang kontrol penyerapan pada tingkat transkripsi, serta tentang komponen yang terlibat dalam pensinyalan.



**Gambar 8.1:** Gambar tersebut merangkum jalur regulasi dan hubungan metabolisme di antara transporter utama yang terlibat di serapan N oleh akar, mengambil sebagai model Arabidopsis (Muratore, C.; Espen, L.; Prinsi, B, 2021)

Adapun kandungan N di atmosfer mencapai  $3,8 \times 10^{15}$ , sedangkan N dalam jaringan tanaman mencapai 1 sampai 5% dari total bahan kering. Bahan organik merupakan sumber N yang utama di dalam tanah. Selain itu juga berasal dari pengikatan oleh mikroorganisme dari N udara melalui proses simbiosis dengan bakteri bintil akar atau *Rhizobium* pada tanaman legum atau melalui bakteri non-simbiosis oleh bakteri yang hidup bebas (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Beijerinckia*), penambahan dari pupuk anorganik serta dari air hujan (jumlah N yang sampai ke bumi berkisar antara 1-50 kg/ha per tahun, tergantung dari letaknya). Secara rinci perubahan-perubahan bentuk N dalam tanah melalui beberapa macam proses yaitu:

### Mineralisasi N

Mineralisasi N merupakan proses perombakan bentuk dari N organik menjadi bentuk anorganik dengan bantuan organisme tanah yang menggunakan bahan organik sebagai sumber energi. Pada tahapan ini terdapat tiga proses yaitu

Aminisasi, Amonifikasi, dan Nitrifikasi. Tahap aminisasi dan amonifikasi berlangsung di bawah aktivitas mikroorganisme yang heterotrof, sedangkan tahap nitrifikasi dipengaruhi oleh bakteri-bakteri autotrof.

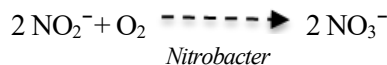
**Aminisasi** yaitu pembentukan senyawa amino (R-NH<sub>2</sub>) oleh bermacam-macam mikroorganisme dari bahan organik (protein). Selain amino juga dihasilkan CO<sub>2</sub> dan energi bagi pertumbuhan mikroorganisme di dalam tanah (Hardjowigeno, S, 1995)



**Amonifikasi** yaitu pembentukan ammonium oleh mikroorganisme dari senyawa amino. Reduksi dari N amin menjadi amoniak (NH<sub>3</sub>) atau ion-ion amonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Senyawa amonium yang dihasilkan dari proses ini dapat dikonversi ke nitrit dan nitrat dan diambil langsung oleh tanaman (Hardjowigeno, S, 1995)



**Nitrifikasi** yaitu proses perubahan ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) menjadi nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas* dan kemudian diubah menjadi nitrat dengan bantuan bakteri *Nitrobacter*. Pada reaksi ini akan membebaskan H<sup>+</sup>, yang merupakan sebab terjadinya pengasaman tanah bila dipupuk dengan pupuk-pupuk NH<sub>4</sub> atau pupuk buatan seperti urea. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi proses ini yaitu jumlah NH<sub>4</sub><sup>+</sup> di dalam tanah, populasi bakteri nitrifikasi, reaksi tanah, aerasi, kelembaban tanah dan suhu. Berikut adalah reaksinya (Hardjowigeno, S, 1995):



Adapun bentuk penyerapan N sangat dipengaruhi oleh sifat tanaman, jenis dan tahapan pertumbuhan tanaman (Havlin JL, JD Beaton, SL Tisdale and WL Nelson, 2005). Tanaman pohon atau semak banyak melakukan reduksi nitrat di

akar, namun tanaman herba proses reduksi nitrat banyak terjadi di daun. Penyerapan utama N pada umumnya melalui akar tanaman dengan mekanisme aliran masa, difusi dan intersepsi akar. Pada mekanisme penyerapan melalui aliran masa kandungan kadar air pada perakaran tanaman menjadi sangat penting sedangkan pada penyerapan difusi faktor konsentrasi hara dalam air tanah yang berperan penting. Pada mekanisme intersepsi akar kontak antara akar dan hara secara langsung sehingga semakin lebar perakaran suatu tanaman akan sangat membantu sekali dalam penyerapan hara.

## 8.2 Reduksi Nitrat

Penyerapan N melalui akar merupakan proses awal Asimilasi N dalam Tanaman. N umumnya diserap dalam bentuk nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), senyawa-senyawa amino dan protein (bahan organik). Unsur amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) adalah unsur yang paling banyak diserap tanaman sehingga N total berkorelasi lebih erat dengan ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dibandingkan yang lainnya (Hardjowigeno, S, 1995), sedangkan penyerapan N dalam bentuk nitrat biasanya memerlukan kation pasangan K karena itu dibanding dengan N dalam bentuk ammonium bentuk nitrat mampu meningkatkan serapan K secara bersamaan walaupun memerlukan energi yang lebih besar (Bar Tal, 2011), (Mastur, Syafaruddin, M Syakir, 2015)

Nitrogen dalam bentuk Nitrat yang telah masuk kedalam akar terlebih dahulu akan mengalami reduksi di dalam sitosol dengan bantuan enzim nitrat reductase menjadi Nitrit. Enzim ini sampai dengan saat ini sangat intensif sekali untuk diteliti karena aktivitas enzim tersebut merupakan faktor pembatas proses asimilasi nitrat yang berperan penting terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Alnopri, 2004). Peran ini juga dilaporkan oleh (Suherningsih, 1988) bahwa semakin tinggi aktivitas nitrat reduktase semakin tinggi juga berat kering tanaman, produksi tanaman, total N dan daya hasil tanaman.

Proses selanjutnya nitrit yang telah dihasilkan kemudian direduksi kembali dengan bantuan enzim nitrit reductase (NiR) di dalam plastida sel akar dan nantinya akan menghasilkan ammonium. Amonium kemudian mengalami proses metabolisme dengan menghasilkan asam amino yang akan ditranslokasikan ke seluruh tanaman melalui floem atau dapat juga disimpan di dalam plastida. Sebenarnya, hara N masuk dalam tanaman dapat juga dalam

bentuk ammonium, akan tetapi ion ammonium dalam jumlah banyak bersifat racun sehingga harus segera diproses menjadi asam amino di akar. Amonium difiksasi dengan jalur GS/GOGAT menjadi asam amino (glutamin/glutamat) yang berfungsi sebagai substrat untuk transaminase reaksi untuk menghasilkan protein, asam nukleat, alkaloid dan senyawa lain (Mastur, Syafaruddin, M Syakir, 2015). Dalam kasus amonium sebagai sumber N, penggabungan menjadi asam amino terjadi di akar dan tidak ada jumlah amonium yang signifikan yang pernah ada ditemukan dalam getah xilem. Glutamin adalah senyawa N utama yang diangkut ke tunas di sebagian besar tanaman yang ditanam dengan ammonium investigasi mengamati pelepasan senyawa N berupa gas dari daun, tetapi ini terjadi di bawah tekanan lingkungan dan tidak terlalu mempengaruhi metabolisme N secara umum.

Kondisi lingkungan dan polutan merupakan faktor yang mengganggu dalam penyerapan nitrat. Salah satu kontaminan yang meningkat adalah  $\text{ClO}_3^-$  yang merupakan komponen air limbah industri dan dari desinfeksi air minum. Adanya pelepasan senyawa ini ke lingkungan menyebabkan penghambatan nitrat reduktase dan pertumbuhan karena produksi  $\text{ClO}_2^-$ . Namun, efek toksiknya hanya kuat jika konsentrasi nitrat ambien rendah. Selain itu, faktor lingkungan yang mempengaruhi penyerapan nitrat adalah polutan  $\text{NO}_2$ , yang masuk ke tanaman melalui kutikula atau stomata dan menghasilkan peningkatan konsentrasi nitrat dan senyawa N tereduksi dan setelah diangkut ke akar melalui floem menghambat penyerapan nitrat (Tischner, 2000) ; (Ammann, 1995). Selain itu, faktor lingkungan lain yang menyebabkan terganggunya reduksi nitrat adalah peningkatan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer juga mempengaruhi metabolisme nitrat.

Adapun interaksi antara C dan N metabolisme sangat berkaitan. Keduanya bergantung satu sama lain dan kedua jalur diatur oleh satu sama lain dimana fosfoenolpiruvat karboksilase (PEPCo) dianggap menjadi titik persilangan penting antara jalur ini dengan mengantarkan oksaloasetat ke siklus sitrat (yang mungkin dibatasi oleh penghilangan oksoglutarat untuk sintesis asam amino) atau untuk sintesis aspartat. Oleh karena itu, aliran karbon harus diarahkan baik dalam sintesis gula atau pati atau asam organik untuk pembentukan asam amino. Regulasi dari PEPCo pada transkripsi, translasi dan pasca translasi telah banyak diselidiki oleh para peneliti namun hasilnya belum terjabarkan secara rinci, akan tetapi ada semakin banyak bukti bahwa nitrat mungkin terlibat yang masuk dalam PEPCo kinase dan tidak mengesampingkan bahwa juga senyawa N tereduksi yang dibangkitkan dari nitrat. Perubahan terbalik dalam aktivitas

PEPCo dan sukrosa fosfat sintase (SPS) setelah fosforilasi, kenaikan dan penurunan dari masing-masing kemungkinan adalah peristiwa utama dalam adaptasi metabolisme C terhadap perubahan suplai N (Champigny, 1995). Hubungan dekat dari kedua jalur telah diselidiki menggunakan budidaya hari pendek, tanaman dengan pengurangan ekspresi NR dan penambahan gula. Asimilasi nitrat menurun dalam beberapa hari, meskipun sumber-N cukup dipasok. Batasan keduanya Metabolisme C- dan N menjadi jelas. Ekspresi NR rendah tanaman mengakumulasi nitrat dalam jumlah tinggi dan memiliki pucuk : perbandingan akar berdasarkan rangsangan pertumbuhan pucuk dibandingkan dengan tumbuhan liar. Konsentrasi CO<sub>2</sub> yang meningkat di atmosfer juga mempengaruhi keseimbangan antara metabolisme C dan N. Sepertinya karbon dioksida ditingkatkan memiliki efek stimulasi pada asimilasi nitrat (sangat baik) ditinjau oleh (Stitt, 1999). Adapun Faktor lingkungan lain yang mempengaruhi proses ini yaitu suhu akar terbukti mempengaruhi penyerapan nitrat. Dari laporan terbaru seperti nitrat penyerapan lebih dipengaruhi oleh peningkatan suhu di kisaran 4–22 °C dari serapan amonium. Menurunkan suhu akar lingkungan mengakibatkan perubahan sementara tingkat penyerapan nitrat pada awal peningkatan suhu (3 jam – 24 jam) tetapi pulih hampir sepenuhnya setelah terpapar selama 48 jam.

## 8.3 Peran Nitrogen

Adapun peran dari unsur hara N bagi tanaman yaitu:

1. Membentuk asam amino yang berperan sebagai bahan pembentukan protein apabila secara biologis bergabung dengan C, H, O dan S.
2. Nitrogen berperan dalam semua reaksi enzimatik dalam tanaman karena semua enzim tumbuhan berasal dari protein.
3. Nitrogen merupakan salah satu unsur penyusun klorofil yang menjadi agen utama dari kloroplas.
4. Nitrogen merupakan komponen dari beberapa vitamin yang nantinya dihasilkan oleh tanaman untuk dikonsumsi oleh manusia.
5. Pada tanaman sayuran daun dan tanaman biji, N berperan dalam peningkatan kualitas dan kuantitas dari bahan kering yang dihasilkan dan kandungan protein di dalamnya.



## 8.4 Gejala Defisiensi Nitrogen

1. Pertumbuhan terhambat dapat terjadi karena reduksi dalam pembelahan sel.
2. Muncul warna hijau pucat hingga kuning muda (klorosis) pertama pada daun yang lebih tua, biasanya dimulai pada Tips. Tergantung pada tingkat keparahan defisiensi, klorosis dapat mengakibatkan kematian dan/atau jatuhnya daun yang lebih tua (Gambar 9.2). Dalam kasus klorosis kekurangan N, efeknya pertama kali terlihat pada daun dan jaringan yang lebih matang. *Source* akan lebih suka mengekspor N ke jaringan yang tumbuh aktif, meninggalkan bagian yang lebih matang tanaman menunjukkan tanda-tanda defisiensi terlebih dahulu.
3. Pengurangan N menurunkan kandungan protein biji dan bagian vegetatif. Dalam kasus yang parah, berbunga sangat berkurang.
4. Pada tanaman serealia ditandai dengan jumlah anakan sedikit, Jumlah tongkol persatuan luas sedikit
5. Defisiensi N menyebabkan pematangan dini pada beberapa tanaman, yang menghasilkan pengurangan yang signifikan dalam hasil dan kualitas (J. A. Silva and R. Uchida, 2000).



Tanaman kentang yang kekurangan N (kiri) klorosis; tanam di kanan adalah normal.



Jagung kekurangan N; menguning terjadi di pelepah dari daun yang lebih tua.



Buah mentimun yang kekurangan N adalah cacat dan klorosis.



Kekurangan N parah pada jeruk

**Gambar 8.2:** Gejala Defisiensi unsur hara N  
(J. A. Silva and R. Uchida, 2000)

## 8.5 Gejala Kelebihan Nitrogen

1. Warna daun yang terlalu hijau, tanaman rimbun dengan daun dengan sistem perakaran yang kecil (dangkal dan terbatas) sehingga mudah roboh.
2. Daun menunjukkan gejala terbakar pada daerah tepi daun dan diikuti mati jaringan pada helaian di sela-sela tulang daun
3. Proses pembuangan menjadi lama dan produksi bunga pun akan menurun.
4. Adenium bakal bersifat sukulen karena mengandung banyak air. Hal itu menyebabkan tanaman rentan terhadap serangan jamur dan penyakit, serta mudah roboh.

## 8.6 Kehilangan Nitrogen dalam Tanah

### 8.6.1 Digunakan Mikro Organisme dan Diserap oleh Tanaman

Kandungan N di dalam tanah juga dapat berkurang karena proses imobilisasi yang merupakan kebalikan dari proses mineralisasi. Imobilisasi adalah ketidaktersediaan unsur nitrat dan ammonium untuk diserap tanaman karena karena terdapat kompetisi antara tanaman dengan mikroorganisme dalam memperoleh N. Proses ini akan Kembali normal ketika ada mikroorganisme yang mati karena unsur N organik yang terdapat dalam sel akan diubah kembali melalui proses mineralisasi dan nitrifikasi sehingga menghasilkan unsur nitrat yang dapat dikonsumsi tanaman.

Kehilangan nitrat juga dapat terjadi karena diserap oleh tanaman itu sendiri (crop uptake) yang merupakan tujuan utama dari manajemen N di lahan pertanian yang dipengaruhi oleh suhu, kelembaban tanah, tekanan hama, serta pemadatan tanah. Sebagai contoh, pada lahan yang bersifat kering umumnya tanaman menyerap  $\text{NO}_3^-$  relatif lebih besar dibandingkan dengan  $\text{NH}_4^+$ . Selain itu, pada pH rendah, nitrat akan diserap lebih cepat dibandingkan dengan ammonium misalnya pH tanaman di bawah 4 (Afandie R dan Nasih W, 2002) sedangkan ketika pH netral penyerapan keduanya menjadi seimbang kembali. Hal ini bisa disebabkan oleh adanya persaingan anion  $\text{OH}^-$  dengan anion  $\text{NO}_3^-$  karena keduanya diserap oleh tanaman melalui mekanisme pertukaran kation sehingga penyerapan nitrat menjadi sedikit terhambat. Proses ini juga didukung karena akibat adanya pernapasan akar yang bergabung dengan air dalam tanah dan

membentuk  $H_2CO_3$  yang terurai kembali membentuk  $H^+$  dan  $HCO_3^-$ . Ion  $H^+$  yang berada pada permukaan atau di dalam akar akan bertukar posisi dengan unsur hara yang terikat pada koloid tanah terutama oleh mineral liat tipe 2:1 (vermikulit, illit dan montmorillonit). Adanya kehilangan ini menuntut perlu adanya penambahan pupuk dari luar yang harus diberikan secara teratur untuk menggantikan unsur hara yang ditambang dari tanah oleh tanaman. Di Indonesia, permintaan pupuk N meningkat dari tahun ke tahun terutama urea, pupuk ammonium sulfat. Selain itu penggunaan secara efisien unsur N selama musim tanam dan penggunaan tanaman penutup (cover crop) dapat meminimalkan kehilangan unsur N yang berada dalam tanah.

### 8.6.2 Pencucian

Pencucian atau *leaching*  $NO_3^-$  merupakan proses tercucinya unsur nitrat dalam konsentrasi yang tinggi karena ion ini muatan atom negatifnya dan relatif tidak diikat oleh tanah (tidak dijerap dalam kompleks jerapan koloid tanah) sehingga nitrat sangat mudah terbawa air dalam tanah. Proses ini akan terjadi lebih cepat apabila ada lubang bekas akar mati atau lubang bekas penetrasi cacing tanah yang masuk kedalam tanah. Pencucian umumnya banyak terdapat pada tanah-tanah vertisol dan wilayah dengan curah hujan tinggi dengan arah pencucian hara tanah selalu menuju pada lapisan bawah daerah perakaran tanaman, sehingga sulit untuk dimanfaatkan oleh tanaman sehingga keberadaan nitrat di permukaan tanah hampir sangat sedikit ditemukan.

### 8.6.3 Proses Denitrifikasi

Proses ini merupakan hilangnya unsur N melalui konversi nitrat menjadi bentuk gas N yang menguap di udara oleh bakteri aerobik misalnya *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Thiobacillus*, *Pseudomonas* menjadi bentuk oksida seperti Nitric Oxide, Nitrous Oxide, dan Dinitrous Oxide. Proses ini banyak terjadi didaerah dengan kondisi tanah jenuh atau tergenang dan bakteri kemudian menggunakan nitrat sebagai salah satu sumber oksigen sehingga ketersediaan N dalam tanah menjadi terganggu.

Secara umum faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses ini yaitu:

1. Jumlah dan sifat dari bahan organik tanah
2. Kadar air tanah terutama berkaitan dengan kelembaban tanah, aerasi tanah (kelancaran pergerakan atau pertukaran udara didalam tanah) yang berkaitan langsung dengan porositas tanah, perkembangan akar dan

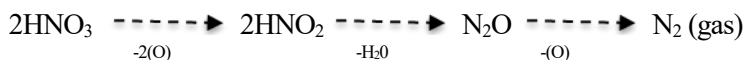
kesuburan tanah oleh karena itu kandungan nitrat dan nitrit tergantung pada ketiadaan  $O_2$ ,

3. pH tanah karena bakteri denitrifikasi sangat peka pada tanah-tanah yang memiliki pH masam.
4. Suhu tanah (terhambat bila suhu  $> 60^\circ C$ )
5. Kadar Nitrat apabila  $NO_3$  tinggi maka proses denitrifikasi akan naik

Adapun reaksi dari denitrifikasi yaitu:

### Oleh Mikroorganismen

Bakteri denitrifikasi



### Proses reduksi kimia setelah terbentuknya nitrit misalnya dengan urea



## 8.6.4 Volatilisasi (penguapan)

Proses volatilisasi merupakan proses kehilangan N ke atmosfer melalui transformasi  $NH_4^+$  menjadi  $NH_3$  yang selanjutnya akan menguap ke atmosfer apabila tanah kering melalui sistem kapiler tanah. Proses ini akan mengalami peningkatan apabila kondisi tanah memiliki pH tinggi ( $pH > 7$ ), tanah yang mudah kehilangan air, dan pada suhu tinggi sedangkan ketika keadaan pH lebih rendah dari pH netral, maka hilangnya N melalui volatilisasi relatif sangat kecil.

## 8.7 Macam-macam Pupuk Nitrogen

Pupuk N merupakan salah satu pupuk yang memiliki ragam jenis yang cukup banyak. Secara umum pupuk N dikelompokkan menjadi tiga yaitu pupuk amonium (senyawa dasar amonium), pupuk nitrat dan pupuk amida. Pupuk ammonium misalnya anhidrus amoniak ( $NH_3$ ), akua amoniak (amoniak cair/ammonia water dan urea amonium nitrat/UAN), amonium sulfat (Zwavelzuur amoniak/ZA), amonium klorida ( $NH_4Cl$ ), amonium nitrat ( $NH_4NO_3$ ), amonium nitrat limestone (ANL) dan kalsium amonium nitrat (CAN/Cal-nitro). Pupuk kategori ammonium yang banyak dikenal oleh para petani adalah Zwavelzure amoniak lebih dikenal dengan sebutan ZA yang

terbuat dari dari gas amoniak dan asam belerang (zwavelzure). Kandungan N dalam pupuk ini mencapai 20,5 – 21% dengan bentuk fisik kristal kecil – kecil berwarna putih, abu – abu, biru keabu-abuan, atau kuning dan sedikit higroskopis (menarik air). Penggunaan pupuk ini secara terus menerus akan menjadikan tanah lenih masak oleh karena itu pupuk ini cenderung tidak cocok apabila diberikan pada tanah muda yang baru dibuka dan tanah yang kandungan kalsiumnya rendah.

Jenis kelompok N yang kedua yaitu pupuk nitrat misalnya adalah pupuk kalsium nitrat ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) dan natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ ) dengan kandungan N bekisar antara 15,5 – 21%. Kelebihan dari penggunaan pupuk jenis ini yaitu mengurangi serangan jamur pada tanaman dan *blossom-end-rot* (busuk ujung buah) pada tomat dan paprika, serta mampu meningkatkan daya tahan dan umur simpan. Hal tersebut juga didukung oleh penelitian (Suherningsih, 1988) melaporkan bahwa penambahan ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) berpengaruh sangat nyata terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada keriting, yang terlihat dari semua variabel yang diamati, kecuali pada variabel diameter batang. Hasil berat segar tajuk dan berat segar total tertinggi diperoleh dari penambahan ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) sejumlah 90 g.

Jenis kelompok N yang ketiga pupuk amida diantaranya urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) dan kalsium sianamida ( $\text{CaCN}_2$ ). Pupuk urea disebut juga karbamida karena merupakan gabungan dari  $\text{CO}_2$  dan amida. Adapun keuntungan atau kemudahan dalam penggunaan urea yaitu dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman dengan kandungan N 46%, tetapi dalam tanah biasanya akan diubah menjadi amonium (via amonifikasi) dan nitrat (via nitrifikasi). Dalam tanah, urea dihidrolisis oleh enzim urease menjadi  $\text{NH}_4$ -karbamat dengan reaksi:



Adapun kelemahan dari pupuk jenis ini yaitu mudah menyerap air dari udara (higroskopis) maka pupuk ini mudah basah atau hancur dan N yang terkandung juga ikut hilang dan berkurang. Selain itu pupuk jenis ini mudah larut dan tercuci sehingga hanya 30 – 50% saja yang dimanfaatkan oleh tanaman.



# Daftar Pustaka

- Abay, U. (2019) "Pengelolaan Hara dan Pupuk Kandang dalam COP25 untuk Memerangi Perubahan Iklim," <https://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/berita/1550-pengelolaan-hara-dan-pupuk-kandang-dalam-cop25-untuk-memerangi-perubahan-iklim>.
- Ahemad, M. and Kibret, M. (2013) 'Review: Mechanisms and application of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective', *Journal of King Saud University-Science*, 26 (1): 1-20.
- Alexander, M. (1978) 'Introduction to Soil Microbiology, 2nd ed', Willey Eastern Limited, New Delhi.
- Anonim. (2015) "Budidaya Tanaman Cabai Merah," <http://hortikultura.litbang.pertanian.go.id/teknologi-detail-47.html>
- Anonim. (2021) "Pengertian Tanaman Pangan, Jenis, Manfaat, dan Contohnya," <https://dosenpertanian.com/tanaman-pangan/>.
- Anonimus (2019) "Unsur Hara pada Tanaman," Badan Penyuluhan dan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Anonimus (2015) "Kegunaan Unsur-Unsur Hara bagi Tanaman," Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Utara. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian.
- Anonimus (2018) "Unsur Hara Kebutuhan Tanaman," Dinas Pangan, Pertanian, dan Perikanan. Kota Pontianak.
- Anwar, S. dan Sudadi, U. (2013) "Kimia Tanah," Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB Bogor
- Bais, H. P., Walker, T. S., Schweizer, H. P. and Vivanco, J. M. (2002) 'Root specific elicitation and antimicrobial activity of rosmarinic acid in hairy

- root cultures of *Ocimum basilicum*', *Plant Physiol. Biochem*, 40 (11): 983-995.
- Balch, E. P. M., Manuel, G., Magdalena, S. N., Luis, H. E., dan Neftali, O. A. (1996) "Effect of Water Stress on Plant Growth and Root Proteins in Three Cultivars of Rice (*Oryza sativa*) with Different Levels of Drought Tolerance". *Physiologia Plantarum*, (96), pp. 284–290.
- Baronti, S., Giorgio, A., Gemini, D. V., Filippo, D. G., Guido, F., Lorenzo, G., Franco, M., Alessandro, P., dan Francesco, P. V. (2010) "The Biochar Option To Improve Plant Yields: First Result From Some Field And Pot Experiments In Italy". *J. Agron Ital*, (5), pp. 3 – 11.
- Bertalan, M., dkk. (2009) Complete genome sequence of the sugarcane nitrogen-fixing endophyte *Gloconacetobacter diazotrophicus* Pal5', *BMC Genomics*, 10 (1): 450.
- Bhattacharyya, P. N. and Jha, D. K. (2012) 'Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture', *World J. Microbiol. Biotechnol*, 28 (4): 1327-1350.
- Bot, A. dan Jose, B. (2005) "The Importance Of Soil Organic Matter Key To Drought-Resistant Soil And Sustained Food Production". Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
- Brady, N. C. dan Ray, R. W. (2008) "The Nature and Properties of Soils". United States of America: Pearson Education, Inc.
- Buckman, H. O. and Brady, N. C. (1982) Ilmu tanah. Bhratara Karya Aksara.
- Budi, S. (2015) "Ilmu dan Implementasi dan Kesuburan Tanah," UMM Press.
- Carvalho, T. L. G., Balsemao-Pires, E., Saraiva, R. M., Ferreira, P. C. G., and Hemery, A. S. (2014) 'Nitrogen signalling in plant interactions with associative and endophytic diazotrophic bacteria', *Journal of Experimental Botany*, 65 (19): 5631-5642.
- Cholid, M., Kadarwati, F.T. (2007) "Penelitian Perbaikan Pengelolaan Hara P dan K pada Tumpangsari Kapas dan Kacang Hijau," *Agritek Edisi Khusus Dies Natalis IPM ke-6*, hal. 79-86.
- Compant, S., Clement, C., and Sessitsch, A. (2010) 'Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: their role, colonization,



- mechanisms involved and prospects for utilization', *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5): 669-678.
- Dawwam, G. E., Elbeltagy, Emara, H. M., Abbas, I. H., and Hassan, M. M. (2013) 'Beneficial effect of plant growth promoting bacteria isolated from the roots of potato plant, *Annals of Agriculture Science*', 58 (2): 195-201.
- Dragovic, N. dan Tijana, V. (2020) "Soil Degradation Processes, Causes, and Assessment Approaches". Switzerland: Springer Nature.
- Durbak, A., Yao, H., and McSteen, P. (2012) 'Hormone signaling in plant development', *Curr. Opin. Plant Biol*, 15 (1): 92-96.
- Eckert, B., Weber, O. B., Kirchof, G., Halbritter, A., Stoffels, M. and Hartmann, A. (2001) 'Azospirillum doebereineriae sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium associated with the C4-grass *Miscanthus*', *Int. J. Syst. Evol. Microbiol*, 51 (1): 17-26.
- Elmerich C. (2007) 'Historical perspective: from bacterization to endophytes. In: Elmerich C, Newton W, eds. *Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations*', Springer, Dordrecht.
- Eviati and Sulaeman (2012) *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, tanaman, Air dan Pupuk*. 2nd ed. Bogor.
- Farrasati, R. et al. (2019) "C-organik Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit Sumatera Utara: Status dan Hubungan dengan Beberapa Sifat Kimia Tanah," *Jurnal Tanah dan Iklim*, 43(2), pp. 157–165.
- Ghafoor, A., Qadir, M., dan Murtaza, G. (2004) "Sources of salts, genesis and classification of salt affected soils. In: *Salt Affected Soils. Principles of Management*," Univ. Agric, Faisalabad: 39-42
- Glick, B. R. (2012) 'Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications', Hidawi Publishing Corporation, Scientifica.
- Graber, E. R., Yael, M. H., Max, K., Eddie, C., Avner, S., Dalia, R. D., Ludmilla, T., Menahem, B., dan Yigal, E. (2010) "Biochar Impact On Development And Productivity Of Pepper And Tomato Grown In Fertigated Soilless Media". *Plant Soil*, (337), pp. 481 – 496.
- Hamza, M. A. and Anderson, W. K. (2002) 'Improving soil physical fertility and crop yield on a clay soil in Western Australia', *Australian journal of agricultural research*, 53(5), pp. 615–620.

- Hanafiah, K. A. (2005) 'Dasar Dasar Ilmu Tanah'.
- Hanafiah, K.A. (2013) "Dasar-dasar Ilmu Tanah," Raja Grafindo Persada: Jakarta.
- Handayanto, E., Muddarisna, N. and Fiqri, A. (2017) *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Universitas Brawijaya Press.
- Harahap, I. Y. et al. (2008) *Mucuna bracteata*, Pengembangan dan Pemanfaatannya di Perkebunan Kelapa Sawit. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Hardjowigeno, S. (1987) *Ilmu Tanah*. 1st ed. Bogor: Mediatama Sarana Perkasa.
- Hardjowigeno, S. (2007) 'Dasar-Dasar Ilmu Tanah', Penerbit Pustaka Utama. Jakarta, pp. 77–79.
- Hartemink, A. E. (2006) "Soil fertility decline: Definitions and assessment," *Encyclopedia of Soil Science*. Encycloped. Taylor & Francis. doi: 10.1081/E-ESS-120041235.
- Hati, K. M. et al. (2006) 'Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India', *Bioresource technology*, 97(16), pp. 2182–2188.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Nelson, S.L., Nelson, W.L. (2005) "soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management," New Jersey: Person Prentice Hall
- Hernita, D., Poerwanto, R., Susilo, A.D., dan Anwar, S. (2012) "Penentuan Status Hara Nitrogen pada Bibit Duku," *J. Hort.* 22(1): 29-36.
- Hoffland, E., Thomas, W. K., Rob, N. J. C., dan Rachel, E. C. (2020) "Eco-Functionality of Organic Matter in Soils". *Plant Soil*, (455), pp. 1–22.
- James, E. K., Olivares, F. L., de Oliveira A. L., dos Reis F. B., da Silva, L. G., and Reis, V. M. (2001) 'Futher observations on the interaction between sugarcane and *Gluconacetobacter diazotrophicus* under laboratory and greenhouse conditions', *Journal of Experimental Botany*, 52 (357): 747-760.

- Ji, S. H., Gururani, M. A., and Chun, S. C. (2014) 'Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic diazotrophic bacteria from Korean rice cultivars', *Microbiological Research*, 169 (1): 83-98.
- Kartasapoetra, G., Kartasapoetra, A. G. and Sutedjo, M. M. (1985) *Teknologi konservasi tanah dan air*. PT Bina Aksara, Jakarta.
- Kasno, A., Setyorini, D., Suastika, I.W. (2020) "Pengelolaan Hara Terpadu pada Lahan Sawah Tadah Hujan sebagai Upaya Peningkatan Produksi Beras Nasional," *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(1), hal. 15-24.
- Ketterings, Q., Karl, C., Doug, B., dan Joe, L. (2016) "Soil Fertility and Nutrient Management". NRCCA: Study guide.
- Khan, M. S., Zaidi, A., and Wani, P. A. (2006) 'Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review', *Agron. Sustain. Dev.*, 27 (1): 29-43.
- Khan, M. S., Zaidi, A., Wani, P. A., and Oves, M. (2009) 'Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils', *Environ. Chem. Left*, 7 (1): 1-19.
- Kirchhof, G., Eckert, B., Stoffels, M., Balandi, J. I., Reis, V. M., and Hartmann, A. (2001) 'Herbaspirillum frisingense sp. nov., a new nitrogen-fixing bacterial species that occurs in C4-fibre plants', *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 51 (1): 157-168.
- Kurnia, A. (2018) "Proses Penyerapan Unsur Hara oleh Tanaman," *Jurusan Budidaya Pertanian*. Universitas Brawijaya.
- Liferdi, L. (2010) "Efek Pemberian Fosfor Terhadap Pertumbuhan dan Status Hara pada Bibit Manggis," *J.Hort.* 20(1): 18-26, 2010.
- Long, H. F., Aprea, J., Crespo, J. M., and Baldwin, I. T. (2008) 'Native bacterial endophytes promote host growth in a species-specific manner; phytohormone manipulations do not result in common growth responses', *PloS ONE*, 3 (7): 1-10.
- Madjid, A. (2014) "Mekanisme Penyerapan Hara," <https://rahmidesire.wordpress.com/2014/05/26-hubungan-pertukaran-kation-dan-anion-dalam-tanah/>

- Marlina, A. and Satriawaniqbal, H. (2014) 'Pengaruh olah tanah dan pemberian pupuk kandang terhadap sifat fisik tanah dan produksi tanaman jagung', *Lentera: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 14, p. 146250.
- Miyamoto, T., Kawahar, M., and Minasawa, K. (2004) 'Novel endophytic nitrogen-fixing Clostridia from the grass *Miscanthus sinensis* as revealed by terminal restriction fragment length polymorphism analysis', *Appl. Environ. Microbiol.*, 70 (11): 6580-6586.
- Montanez, A., Blanco, A. R., Barlocco, C., Beracochea, M., and Sicardi, M. (2012) 'Characterization of cultivable putative endophytic plant growth promoting bacteria associated with maize cultivars (*Zea mays* L.) and their inoculation effects in vitro', *Applied Soil Ecology*, 58 (1): 21-28.
- Monteiro, R. A., Alsanelli, E., Wassem, Rl, Marin, A. M., Brusamarello-Santos, L. C. C., Schmidt, M. A., Tadra-Sfeir, M. Z., Pankiewicz, V. C. S., Cruz, L. M., Chubatsu, L. S., Pedrosa, F. O. and Souza E. M. (2012) 'Herbaspirillum-plant interactions: microscopical, histological and molecular aspects', *Plant and Soil*, 356 (7): 175-196.
- Mosaic (2020) "Soil pH - Nutrient Management | Mosaic Crop Nutrition," Nutrient Management. Available at: <https://www.cropnutrition.com/nutrient-management/soil-ph>.
- Mukhlis (2017) "Unsur Hara Makro dan Mikro yang Dibutuhkan oleh Tanaman," Dinas Tanaman Pangan, Hortikultura dan Perkebunan. Kabupaten Luwu Utara.
- Munawar, A. (2011) "Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman," IPB Press: Bogor
- Nazari, Y.A., Soemarno, Agustina, L. (2012) "Pengelolaan Kesuburan Tanah pada Pertanaman Kentang dengan Aplikasi Pupuk Organik dan Anorganik," *Indonesian Green Technology Journal*, 1(1), hal. 7-12.
- Noguera, D., Marco, R., Kam, R. L., Valerio, H., Patrick, L., Maria, H. C. D. C., dan Sebastien, B. (2010) "Contrasted Effect Of Biochar And Earthworms On Rice Growth And Resource Allocation In Different Soils". *Soil Biol. Biochem.*, (42), pp. 1017 – 1027.
- Notohadiprawiro, T., Soekodarmodjo, S. and Sukana, E. (2006) 'Pengelolaan kesuburan tanah dan peningkatan efisiensi pemupukan', *Ilmu Tanah*, pp. 1-19.

- Nurida, N. L. Dan Kurnia, U. (2009) "Perubahan Agregat Tanah pada Ultisols Jasingan Terdegradasi Akibat Pengolahan Tanah dan Pemberian Bahan Organik". *Jurnal Tanah dan Iklim*, (30), pp. 37–46.
- Oldroyd, G. E. D. (2013) 'Speak, friend, and enter: signalling systems that promote beneficial symbiotic associations in plants', *Nature Reviews Microbiology*, 11 (4): 252-263.
- Pattern, C. L. and Glick, B. R. (2002) 'Role of *Pseudomonas putida* indole acetic acid in development of the host plant root system', *Appl. Environ. Microbiol*, 68 (8): 3795-3801.
- Pedrosa, F. O. (2011) 'Genome of *Herbaspirillum seropedicae* strain SmR1, a specialized diazotrophic endophyte of tropical grasses', *PloS Genet*, 7(5): 1-10.
- Permadi, K., Haryati, Y. (2015) "Pemberian Pupuk N, P, dan K Berdasarkan Pengelolaan Hara Spesifik Lokasi untuk Meningkatkan Produktivitas Kedelai," *Agrotrop*, 5(1), hal. 1-8.
- Perry & Hickman (2001) "A Survey to Determine the Leaf Nitrogen Concentrations of 25 Landscape Tree Species," *J. Arboricult*, Vol 27, No. 3.
- Prasad, R. dan Power, J.F. (1997) "Soil fertility Management for sustainable agriculture", New York: CRC Lesi Publisher
- Prayitno, J. and Rolfe, B. (2010) 'Characterization of endophytic diazotrof bacteria isolated from rice', *HAYATI Journal of Bioscience*, 17 (2): 73-78.
- Pujiastuti, E.S. (2006) "Pengelolaan Hara Padi pada Tanah Sawah Demi Peningkatan Efisiensi Pupuk," *Media Unika*, 18(62), hal. 659-673.
- Qin, S., Xing, K., Jiang, J. H., Xu, L. H. and Li, W. J. (2011) 'Biodiversity bioactive natural products and biotechnological potential of plant-associated endophytic Actinobacteria', *Appl. Microbiol, Biotechnol*, 89 (3): 457-473.
- Queensland Government, A. (2013) "Soil pH | Environment, land and water | Queensland Government." Available at: <https://www.qld.gov.au>.
- Rajesh, P. S. and Ravihankar, R. V. (2013) 'Quorum quenching activity in cell-free lysate of endophytica bacteria isolated from *Pterocarpus santalinus*

- Linn., and its effect on quorum sensing regulated biofilm in *Pseudomonas aeruginosa* PAO1', *Microbial. Res*, 169 (7-8): 561-568.
- Rajiman. (2020) "Pengantar Pemupukan," Deepublish Publisher. Yogyakarta.
- Rasool, R., Kukal, S. S. and Hira, G. S. (2007) 'Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice-wheat system', *Soil and Tillage research*, 96(1-2), pp. 64-72.
- Reinhold-Hurek, B. and Hurek, T. (2011) 'Living inside plants: bacterial endophytes', *Current Opinion in Plant Biology*, 14 (4): 435-443.
- Roslani, R., Sumarni, N. and Sulastrini, I. (2010) 'Pengaruh cara pengolahan tanah dan tanaman kacang-kacangan sebagai tanaman penutup tanah terhadap kesuburan tanah dan hasil kubis di dataran tinggi', *Jurnal Hortikultura*, 20(1).
- Rosmarkam, A. and Yuwono, N. W. (2002) *Ilmu kesuburan tanah*. Kanisius.
- Saidy, A. R. (2018) *Bahan Organik Tanah : Klasifikasi, Fungsi dan Metode Studi. pertama*. Banjarbaru: Lambung Mangkurat University Press.
- Saidy, A. R. and SP, M. A. (2021) *Stabilisasi Bahan Organik Tanah: Peningkatan Kesuburan Tanah Dan Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. Deepublish.
- Sakiah, S., Bobby, E. and Manurung, A. (2018) "The Effect of Palm Oil Mill Effluent on Total Microbes, Soil Respiration, Organic Matters and Soil pH in Oil Palm Plantation," *Resources and Environment*, 8(6), pp. 245-249. doi: 10.5923/j.re.20180806.02.
- Sakiah, S., Dibisono, M. Y. and Irawan, R. I. (2018) "Analisis total mikroba, bahan organik dan respirasi tanah pada lahan aplikasi dan tanpa aplikasi tandan kosong kelapa sawit," *Jurnal Agro Estate*. Medan, 2(2), pp. 109-115. Available at: <https://ejournal.stipap.ac.id/index.php/JAE/article/view/49>.
- Sakiah, S., Firmansyah, A. and Arfianti, D. (2020) "Sifat Biologi Tanah Pada Lahan Aplikasi dan Tanpa Aplikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit di Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV," *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 17(3), pp. 11-17. doi: 10.25181/jppt.v17i3.1493.

- Sakiah, Sembiring, M. and Hasibuan, J. (2018) "Entisol land characteristics with and without cover crop (*Mucuna bracteata*) on rubber plantation," in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Medan, Indonesia: Institute of Physics Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/122/1/012043.
- Samac, D.A. dan Tesfaye, M. (2003) "Plat improvement for tolerance to aluminium in acid soils – a review. Plat cell, Tissue, and organ culture" 75:189-207
- Santi, L. P., dan Didiek, H. G. (2010) "Pemanfaatan Biochar Sebagai Pembawa Mikroba Untuk Pemantap Agregat Tanah Ultisol Dari Taman Bogolampung". Menara Perkebunan, 78(2), pp. 52 – 60.
- Sathya, A., Rajendran, V., dan Subramaniam, G. (2016) "Soil Microbes: The Invisible Managers of Soil Fertility". Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity, pp. 1–16.
- Schoonover, J. E. dan J. F. C. (2015) "An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management". Journal of Contemporary Water Research & Education, (154), pp. 21–47.
- Setyorini, D., Saraswati, R. and Anwar, E. K. (2012) Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Edited by R. D. M. Simanungkalit et al. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Simanungkalit, R. D. M. dan Suriadikarta, D. A. (2006) 'Pupuk Organik dan Pupuk Hayati', Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Smith, J. L., Harold, P. C., dan Vannesa, L. B. (2010) "The Effect Of Young Biochar On Soil Respiration". Soil Biol. Biochem, (42), pp. 2345 – 2347.
- Sonon, L. S., Kissel, D. E. and Saha, U. (2017) "Exchange Capacity." United State of America: University of Georgia, pp. 1–4.
- Sopandie, D. (2013) "Fisiologi adaptasi tanaman terhadap cekaman abiotik pada agroekosistem tropika," Bogor : IPB Press.
- Soplanit, R., Nukuhaly, S.H. (2012) "Pengaruh Pengelolaan Hara NPK terhadap Ketersediaan N dan Hasil Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) di Desa Waelo Kecamatan Waeapo kabupaten Buru," *Agrologia*, 1(1), hal. 81-90.
- Spaepen, S. and Vanderleyden, J. (2011) 'Auxin and plant-microbe interactions', *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 3 (4): a001438

- Spaepen, S., Vanderleyden, J., and Remans, R. (2007) 'Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling', *FEMS Microbiol. Rev*, 31 (4): 425-448.
- Subandi (2011) "Pengelolaan Hara Kalium untuk Ubikayu pada Lahan Kering Masam," *Buletin Palawija*, 22, hal. 86-95.
- Sumarni, N., Setiawati, W., Hudayya, A. (2014) "Pengelolaan Hara dan Tanaman untuk Mendukung Usahatani Cabai Merah Menggunakan Input Luar Rendah di Dataran Tinggi," *Jurnal Hortikultura*, 24(2), hal. 141-153.
- Sumarno, S., Kartasmita, U. G. and Djuber Pasaribu (2009) "Pengayaan Kandungan Bahan Organik Tanah Mendukung Keberlanjutan Sistem Produksi Padi Sawah," *Iptek Tanaman Pangan*, 4(1), pp. 18–32. Available at: <http://repository.pertanian.go.id>.
- Suriaman, E. (2012) 'Eksplorasi and Uji Potensi Bakteri Endofit Diazotrof Penghasil Indole Acetic Acid (IAA) dari Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) Kultivar Bima', Tesis, Fakultas Sains and Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.
- Susilowati, L.E., Kusumo, B.H. (2018) "Peningkatan Kompetensi Petani Dalam Pengelolaan Haea Pada Pertanaman Jagung Berbasis Pemupukan Berimbang di Kabupaten Dompu, " *Prosiding PKM CSR 1*, hal. 1905-1915.
- Taisa, R., Desi, M., Abdul, K. S. Muhamad, K., dan Ainin, N. (2019) "Improvement of Soil Chemical Properties and Growth of Maize due to Biochar Application on Ultisol". *Journal of Tropical Soils*, 24(3), pp. 101-107.
- Tarigan, B. et al. (2015) 'Evaluasi status bahan organik dan sifat fisik tanah (bulk density, tekstur, suhu tanah) pada lahan tanaman kopi (*coffea* sp.) di beberapa kecamatan kabupaten Dairi', *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 3(1), p. 103124.
- Tsavkelova, E. A., Klimova, S. Y., Cherdyntseva, T. A., and Netrusov, A. I. (2006) 'Hormones and hormone-like substances of microorganisms: A review', *Appl. Biochem. Microbiol*, 42 (3): 229-235.
- U.S Department of Agriculture (2006) "Soil pH-Soil quality kit," U.S Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. United State Department of Agriculture, pp. 1–7.



- Utomo, I. M. (2016) Ilmu Tanah Dasar-Dasar dan Pengelolaan. Kencana.
- Utomo, M., Henrie, B., dan Irwan, S. B. (2012) "Olah Tanah Konservasi: Teknologi mitigasi Gas Rumah Kaca Pertanian Tanaman Pangan". Universitas Lampung Lembaga Penelitian.
- Videira, S. S., Oliveira, D. M., Morais, R. F., Borges, W. L., Balandi, V. L. D. and Balandi, J. I. (2012) 'Genetic diversity and plant growth promoting traits of diazotrophic bacteria isolated from two *Pennisetum purpureum* Schum. genotypes grown in the field', *Plant Soil*, 356 (1-2): 51-56.
- Wibowo, A. (2017) "Penerapan Pemupukan Brimbang Spesifik Lokasi, " Dinas Pertanian dan Pangan. Pemerintah Kota Magelang.
- Widodo, D. (2019) "Unsur-Unsur Hara Makro dan Karakteristiknya," *bunikita Art of Growing*.
- Wijanarko, A., Taufiq, A. (2008) "Pemenuhan Kebutuhan Pupuk Puntuk Tanaman Kedelai, Kacang Tanah dan Kacang Hijau Berdasar Uji Tanah di Lahan Kering Masam Ultisol," *Buletin Palawija*, 15, hal. 1-8.
- Zaidi, A., Khan, M. S., Ahemad, M., and Oves, M. (2009) 'Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria', *Acta Microbiol, Immunol Hung*, 56 (3): 263-284.



# Biodata Penulis



**Rianida Taisa** lahir di Pringsewu, pada 24 Januari 1987. Pendidikan sarjana dan magister masing-masing diselesaikan pada tahun 2009 dan 2015 di Universitas Lampung dalam bidang Ilmu Tanah. Wanita yang biasa disapa Nida ini, lahir dari pasangan Bapak Tamimi dan Ibu Armi. Sebagai dosen sejak 2018 di Jurusan Budidaya Tanaman Pangan Politeknik Negeri Lampung ia mengajar berbagai mata kuliah untuk program diploma dan sarjana terapan: Dasar Ilmu Tanah, Kesuburan Tanah dan Pemupukan, Pertanian Berkelanjutan, Pupuk dan Pestisida, Teknik Penulisan Karya Ilmiah, Statistika Terapan, dan Teknik Irigasi. Sebagai peneliti, ia juga aktif meneliti tentang pengelolaan kesuburan tanah, khususnya yang berkaitan dengan bahan pembenah tanah dan pupuk organik dengan dukungan pendanaan dari Politeknik Negeri Lampung dan Kementerian Riset dan Teknologi.



**Tioner Purba**, Lahir pada tanggal 12 Mei 1973 di Persatuan Baru Kecamatan Panei Kabupaten Simalungun Sumatera Utara, merupakan Putri Keempat dari pasangan Bapak Jaralim Purba (+) dan Ibu Raulina Sinaga serta istri dari Manondang Situmorang. Dikaruniai anak 3 orang, dua putra (Daniel Sun Micho Situmorang dan Nathan Kajushi Samratima Situmorang) dan satu putri (Sefry Tiara Situmorang). Menyelesaikan pendidikan Sarjana Kehutanan di Jurusan Manajemen hutan Fakultas Pertanian Universitas Palangkaraya tahun 1997. Gelar Magister Pertanian diperoleh pada tahun 2005 di Fakultas Pertanian Program Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, menyelesaikan program

doktor di Program Studi Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara dan lulus tahun 2017. Sejak tahun 2004 sampai sekarang mengabdikan sebagai dosen di Fakultas Pertanian Universitas Simalungun Pematangsiantar. Saat ini diberi tugas tambahan sebagai Ketua Lembaga Penelitian Universitas Simalungun.



**Sakiah, SP., MP**, Lahir di Maga Dolok (Madina), 5 Maret 1979. Telah melalui pendidikan S1 di Universitas Sumatera Utara pada Fakultas Pertanian, Jurusan Ilmu Tanah dan Pendidikan S2 di Universitas Sumatera Utara, Fakultas Pertanian, Program Studi Agroekoteknologi. Penulis mengawali karir sebagai Dosen di Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Agrobisnis Perkebunan (STIP-AP) pada tahun 2007 hingga saat ini dan telah memperoleh Sertifikasi Dosen (2015). Aktif mengajar pada Mata Kuliah Kimia, Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Klimatologi, Kesuburan Tanah,

Jenis Pupuk dan Sifat-Sifatnya, Pupuk dan Pemupukan. Buku pertama yang telah disusun adalah Jenis Pupuk dan Sifat-sifatnya, selain menulis buku, juga aktif menulis pada Jurnal Nasional maupun Internasional.



**Ir. Jajuk Herawati, M. Kes** lahir di Surabaya tahun 1967. Setelah lulus dari Fakultas Pertanian - UWKS (1991), kemudian pada tahun 2001 penulis menamatkan pendidikan program pasca sarjana minat Biologi (IKD – Biologi) di Universitas Airlangga Surabaya. Penulis adalah dosen tetap di Fakultas Pertanian UWKS mulai Januari tahun 1992 sampai sekarang. Sebelum menjadi dosen, Penulis sempat bekerja sebagai karyawan salah satu bank swasta di Surabaya selama dua tahun. Pengalaman struktural, pada tahun 2002 - 2003 sebagai sekprodi PS

Agroteknologi, tahun 2003 - 2007 sebagai Kaprodi, tahun 2007 - 2009 sebagai wadek bidang akademik, dan tahun 2009 - 2019 sebagai dekan Fakultas Pertanian UWKS. Sekarang penulis sebagai ketua Unit Penjaminan Mutu. Penulis adalah seorang peneliti, dan pernah memperoleh Hibah Dikti mulai tahun 2011, baik penelitian maupun pengabdian masyarakat. Tahun 2012 –

2016 sebagai ketua tim penelitian Hibah Bersaing (HB), dan masuk nominasi 38 finalis produk penelitian unggulan Perguruan Tinggi se-Indonesia tahun 2013. Pada tahun 2015 – 2017 sebagai ketua tim pengabdian masyarakat Iptek bagi Wilayah (IbW) di Kab. Pacitan serta berhasil mengantarkan desa binaannya juara 1 tingkat Propinsi Jawa Timur sebagai Kawasan Rumah Pangan Lestari (KRPL) pada tahun 2015, dan tahun 2017 – 2020 sebagai ketua tim Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT), serta di luar kegiatan tersebut sebagai anggota dalam tim pengabdian masyarakat Iptek bagi Masyarakat/IbM (2011 – 2016). Di buku ini penulis menulis Bab 4 Unsur Hara dan Penyerapannya oleh Tanaman.



**Abdus Salam Junaedi**, lahir di Mojokerto, pada 26 Juni 1992. Pendidikan Sarjana ditempuh pada Program Studi S1-Biologi, Universitas Airlangga, Surabaya, lulus pada tahun 2014. Pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan S2 di Program Studi S2-Biologi, Universitas Airlangga, Surabaya dan selesai pada tahun 2017. Saat ini penulis bekerja sebagai dosen pada Program Studi S1-Manajemen Sumberdaya Perairan, Jurusan Kelautan dan Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia. Beberapa karya ilmiah penulis antara lain “Isolation and

identification of phosphate solubilizing diazotrophic endophytic bacteria from the root of tomato plant (*Lycopersicon esulentum* Mill. var. *tymoti*)” pada *International Journal of Medicine, Health and Food Science* Volume 1, Nomor 2, Agustus 2017 halaman 1-5; “Kualitas daging ikan kurisi (*Nemipterus japonicus*) hasil tangkapan nelayan di pelabuhan perikanan branta, Pamekasan” pada *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* Volume 23, Nomor 2, Agustus 2020, “Karakteristik ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dan ikan lele (*Clarias batrachus*) pada fase rigor mortis” pada *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research* Volume 4, Nomor 3, Oktober 2020, dan “Potensi konsorsium sampel air pelabuhan kamal dan bittern dalam mendegradasi solar” pada *Jurnal Kelautan Tropis (Tropical Marine Journal)* Volume 24, Nomor 2, Mei 2021. Salah satu buku penulis yang telah diterbitkan dengan beberapa rekan penulis berjudul “Tanah dan Nutrisi Tanaman”, Juli, 2021



**Halimatus Syahdia Hasibuan, S.P., M.Si.**, lahir di Sipirok, pada 21 April 1990. Penulis lulus S1 dari Universitas Andalas Padang, Jurusan Agroekoteknologi pada tahun 2013. Lulus S2 dari Institut Pertanian Bogor (IPB) Bogor, jurusan Agronomi dan Hortikultura pada tahun 2017. Studi S2 diperoleh dari beasiswa Program 3T Prasainstek dari Kemenristek Dikti. Sebagai dosen di Universitas Graha Nusantara (UGN) Padangsidimpuan, Fakultas Pertanian, Jurusan Agroteknologi pada tahun 2018-2020. Sebagai dosen di Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Agrobisnis Perkebunan (STIP-AP) Medan, jurusan Budidaya Perkebunan pada tahun 2020-sekarang.



**Dr. Junairiah, S.Si., M. Kes.** lahir di Surabaya pada tanggal 14 Juli 1971. Pendidikan S1 ditempuh di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor lulus tahun 1995. Pendidikan S2 di Program Studi Ilmu Kedokteran Dasar, Universitas Airlangga dan lulus tahun 2001. Pendidikan S3 Biologi di Program Studi S3 Biologi, Universitas Gadjah Mada, lulus tahun 2013. Penulis merupakan dosen Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga. Pada Program Studi S1 Biologi, penulis mengampu mata kuliah Taksonomi Tumbuhan, Morfologi Tumbuhan, Botani Ekonomi, dan Fisiologi Tumbuhan. Pada Program Studi S2 Biologi, penulis mengampu mata kuliah Fisiologi Zat Tumbuh dan Biokimia Tanaman. Saat ini penulis menekuni penelitian tentang metabolit sekunder yang dihasilkan dari kultur *in vitro* serta aktivitas biologinya. Buku yang telah ditulis dan terbit adalah Keanekaragaman dan Potensi Piperaceae, Tumbuhan sebagai Bahan Antimikroba, Teknologi dan Produksi Benih, Dasar-dasar Perlindungan Tanaman, Tata Ruang Pertanian Kota serta Penyakit Tanaman dan Pengendaliannya.



Penulis dilahirkan di Banyumas, Jawa Tengah pada tanggal 26 Maret 1990. Pendidikan sarjana sejak tahun 2008 ditempuh di Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto dan pendidikan master di Program Studi Agronomi dan Hortikultura, Sekolah Pascasarjana, Institut pertanian Bogor melalui program Beasiswa Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) pada tahun 2013. Selepas kuliah, penulis mengabdikan diri di Politeknik Pertanian dan Peternakan Tuban pada tahun 2015, kemudian melanjutkan pengabdian di Politeknik Negeri Jember sejak 2018 dan mengajar pada bidang kajian produksi tanaman hortikultura.





# **ILMU KESUBURAN TANAH DAN PEMUPUKAN**

Tanah merupakan salah satu sumberdaya yang harus kita jaga kelestariannya. Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk, semakin meningkat pula kebutuhan akan lahan yang produktif. Namun hal ini tidak diikuti dengan perluasan areal pertanian guna untuk mendukung mencukupi kebutuhan pangan. Dengan demikian, untuk mempertahankan kesuburan tanah, diperlukan cara-cara pengelolaan yang tepat. Buku ini diharapkan dapat menjadi pegangan bagi mahasiswa di bidang pertanian serta membantu menambah pengetahuan bagi para masyarakat umum yang sudah atau berminat untuk berkecimpung di bidang pertanian.

Buku ini membahas :

- Bab 1 Pengantar Kesuburan Tanah Dan Pemupukan
- Bab 2 Kesuburan Fisik Tanah
- Bab 3 Kesuburan Kimia Tanah
- Bab 4 Unsur Hara Dan Penyerapannya Oleh Tanaman
- Bab 5 Kesuburan Biologi Tanah
- Bab 6 Kemasaman Dan Alkalinitas Tanah
- Bab 7 Dasar Pengelolaan Hara Tanaman
- Bab 8 Nitrogen Sebagai Hara Tanaman



YAYASAN KITA MENULIS  
press@kitamenulis.id  
www.kitamenulis.id

ISBN 978-623-342-165-2

