



# PENGANTAR NUTRISI TANAMAN



Danner Sagala • Hardian Ningsih • Nurtania Sudarmi  
Tioner Purba • Rezki • Nurul Huda Panggabean • Tatuk Tojibatus S  
Mazlina • Mahyati • Reza Asra • Trisnawaty AR



# **PENGANTAR NUTRISI TANAMAN**

#### UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

##### Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi

##### Pembatasan Pelaksanaan Pasal 26

Keterbatasan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 21, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk keperluan penelitian ilmiah yang dilakukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi ilmiah;
- 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).

# **Pengantar Nutrisi Tanaman**

Danner Sagala, Hardian Ningsih, Nurtania Sudarmi  
Tioner Purba, Rezki, Nurul Huda Panggabean, Tatuk Tojibatus S  
Mazlina, Mahyati, Reza Asra, Trisnawaty AR



Penerbit Yayasan Kita Menulis

---

# Pengantar Nutrisi Tanaman

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2022

Penulis:

Danner Sagala, Hardian Ningsih, Nurtania Sudami  
Tioner Purba, Rezki, Nurul Huda Panggabean, Tatuk Tojibatus S  
Mazlina, Mahyati, Reza Asra, Trisnawaty AR

Editor: Ronal Watrianthos

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

Danner Sagala., dkk.

Pengantar Nutrisi Tanaman

Yayasan Kita Menulis, 2022

xiv; 162 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-492-9

Cetakan 1, Mei 2022

I. Pengantar Nutrisi Tanaman

II. Yayasan Kita Menulis

## Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa

izin tertulis dari penerbit maupun penulis

# Prakata

Budidaya tanaman tidak akan menghasilkan apapun jika nutrisi tanaman tidak terpenuhi. Nutrisi tanaman merupakan bahan baku yang akan diolah menjadi makanan dan energi bagi tanaman untuk bertumbuh. Selain itu, beberapa unsur dari nutrisi tanaman merupakan bagian penting dari sel tanaman atau bagian penting dari kinerja sel.

Buku ini membahas tentang :

Bab 1 Pertumbuhan Tanaman

Bab 2 Sifat-Sifat Tanah dan Ketersediaan Hara

Bab 3 Hubungan Tanah, Air, dan Tanaman

Bab 4 Larutan Tanah dan Penyerapan Hara Tanaman

Bab 5 Pengelolaan Nutrisi Tanaman

Bab 6 Hara Mineral dan Pertumbuhan Tanaman

Bab 7 Penyerapan dan Pengangkutan Hara Mineral

Bab 8 Nitrogen Tanah dan Tanaman

Bab 9 Fosforus Tanah dan Tanaman

Bab 10 Kalsium, Magnesium, dan Sulfur Pada Tanah dan Tanaman

Bab 11 Pupuk dan Pengelolaan Pupuk

Karya ini ditujukan untuk memperkaya sumber bacaan mengenai nutrisi tanaman bagi siapapun yang berkecimpung di dunia tanaman. Buku ini juga dapat digunakan oleh mahasiswa sebagai referensi dalam mempelajari berbagai mata kuliah di bidang pertanian, biologi atau bidang lain yang terkait.

Kekuatan dari buku ini adalah pada kekayaan bahasan dari kerja kolaboratif beberapa dosen perguruan tinggi di Indonesia yang ahli pada

bidang pertanian dan biologi. Karya ini dipesembahkan untuk kemajuan ilmu pengetahuan di Indonesia dan dunia.  
Semoga buku ini bermanfaat.

Bengkulu, April 2022  
Tim Penulis

# Daftar Isi

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	xi
Daftar Tabel .....	xiii
<b>Bab 1 Pertumbuhan Tanaman</b>	
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Pertumbuhan Primer dan Sekunder .....	2
1.3 Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Pertumbuhan.....	5
1.4 Hubungan antara Pertumbuhan dan Nutrisi Tanaman.....	8
<b>Bab 2 Sifat-Sifat Tanah dan Ketersediaan Hara</b>	
2.1 Pendahuluan.....	9
2.2 Sifat-Sifat Tanah.....	10
2.2.1 Sifat Fisika Tanah .....	10
2.2.2 Sifat Kimia Tanah .....	11
2.2.3 Sifat Biologi Tanah.....	14
2.3 Ketersediaan Hara .....	15
<b>Bab 3 Hubungan Tanah, Air, dan Tanaman</b>	
3.1 Pendahuluan.....	19
3.2 Perakaran Tanaman .....	23
3.3 Kesuburan Tanah.....	25
3.3.1 Faktor Memengaruhi Kesuburan Tanah Secara Alami .....	25
3.3.2 Pemupukan .....	29
<b>Bab 4 Larutan Tanah dan Penyerapan Hara Tanaman</b>	
4.1 Pendahuluan.....	33
4.2 Larutan Tanah.....	34
4.2.1 Muatan Tanah .....	35
4.2.2 Koloid Tanah.....	36
4.2.3 Penjerapan dan Pertukaran Ion .....	38
4.3 Ketersediaan Hara .....	42
4.4 Penyerapan Hara Tanaman.....	44



4.4.1 Gerakan Hara Dari Tanah Ke Akar.....	44
4.4.2 Penyerapan Unsur Hara Oleh Akar.....	46
<b>Bab 5 Pengelolaan Nutrisi Tanaman</b>	
5.1 Pendahuluan.....	49
5.2 Fungsi Umum Unsur Hara.....	50
5.3 Peran Bioteknologi.....	51
5.4 Remediasi Tanah.....	53
5.5 Ameliorasi.....	55
<b>Bab 6 Hara Mineral dan Pertumbuhan Tanaman</b>	
6.1 Pendahuluan.....	59
6.2 Unsur Hara Tanaman.....	62
6.2.1 Unsur Hara Esensial dan Non-Esensial.....	62
6.2.2 Unsur Hara Makro dan Mikro.....	65
6.2.3 Unsur Hara Menurut Fungsi Metabolik.....	67
6.3 Pertumbuhan Tanaman.....	70
<b>Bab 7 Penyerapan dan Pengangkutan Hara Mineral</b>	
7.1 Pendahuluan.....	75
7.2 Gerakan Hara Dari Larutan Tanah Ke Permukaan Akar.....	77
7.2.1 Aliran Massa (Mass Flow).....	79
7.2.2 Difusi.....	80
7.2.3 Intersepsi akar.....	81
7.3 Penyerapan Hara Mineral.....	82
7.4 Pengangkutan Hara Mineral.....	83
<b>Bab 8 Nitrogen Tanah dan Tanaman</b>	
8.1 Pendahuluan.....	85
8.2 Nitrogen Tanah.....	88
8.2.1 Fiksasi.....	89
8.2.2 Kehilangan Nitrogen Dari Tanah.....	92
8.2.3 Digunakan Mikroorganisme Dalam Tanah.....	95
8.3 Nitrogen Tanaman.....	96
<b>Bab 9 Fosforus Tanah dan Tanaman</b>	
9.1 Pendahuluan.....	99
9.2 Bentuk Fosfor Dalam Tanah.....	100
9.2.1 Senyawa Organik.....	100

---

9.2.2 Bentuk Unsur Fosfor Anorganik .....	102
9.2.3 Keberadaan Fosfor (P).....	103
9.3 Bentuk Mineral-Mineral Fosfor .....	104
9.4 Jenis – Jenis Tanah yang Mengandung Unsur P.....	107
<b>Bab 10 Kalsium, Magnesium, dan Sulfur Pada Tanah dan Tanaman</b>	
10.1 Pendahuluan.....	111
10.2 Kalsium (Ca).....	112
10.3 Magnesium (Mg).....	117
10.4 Sulfur (S).....	120
<b>Bab 11 Pupuk dan Pengelolaan Pupuk</b>	
11.1 Pendahuluan.....	125
11.2 Jenis-Jenis Pupuk.....	128
11.3 Menghitung Kebutuhan Pupuk .....	132
11.3.1 Menghitung Kebutuhan Pupuk Untuk Percobaan Lapangan.....	133
11.3.2 Cara Menghitung Dengan Pendekatan Luas Lahan.....	134
Daftar Pustaka .....	139
Biodata Penulis .....	157

---

## **Bab 9**

# **Fosforus Tanah dan Tanaman**

### **9.1 Pendahuluan**

Unsur fosfor adalah unsur kimia yang memiliki lambang P dengan nomor atom 15. Unsur P termasuk non logam, bervalensi banyak, dikelompokkan pada golongan 5A sistem periodik, banyak ditemui dalam batuan fosfat anorganik dan bersifat reaktif, dapat memancarkan cahaya yang lemah ketika bergabung dengan oksigen.

Pada semua sel hidup, tidak pernah ditemui unsur P dalam bentuk unsur bebas. Unsur P sebagai salah satu unsur hara esensial pada tanaman, sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan, tetapi sumber ketersediaan P di dalam tanah yang dapat diserap tanaman sangat rendah. Hal ini disebabkan karena P di dalam tanah banyak terdapat dalam bentuk terjerap (Buckman dan Brady 1974). Unsur P dalam tanah banyak diserap oleh ion Al dan ion Fe, maupun oleh alofan pada tanah andosol. Pada tanah yang memiliki pH rendah, kelarutan ion Al dan ion Fe yang relatif tinggi sehingga proses fiksasi P dapat terjadi dalam tanah. (Nurhayati dkk, 1986)

Pengaruh bahan organik terhadap ketersediaan P dapat secara langsung melalui proses mineralisasi atau secara tidak langsung dengan membantu pelepasan P yang ter fiksasi. Adanya asam organik yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik dan memiliki kemampuan mengikat kation seperti

ion Al dan ion Fe melalui ikatan kelasi sehingga menurunkan kelarutan ion Al dan ion Fe. Oleh karena itu unsur P dapat terlepas dari jerapan oleh ion-ion Al dan ion Fe yang menyebabkan ketersediaan unsur P di dalam tanah dapat meningkat.

Menurut Bhatti, dkk (1998), asam-asam organik sederhana seperti asam oksalat merupakan salah satu senyawa penting dalam proses pelepasan jerapan unsur P. Mekanisme asam oksalat dalam meningkatkan ketersediaan P, dan menggantikan P yang terjerap melalui pertukaran ligan pada permukaan Al dan Fe oksida.

Selain itu juga dapat dengan melalui pelarutan permukaan logam oksida dan melepaskan P yang terjerap, serta dapat juga melalui ikatan kompleks dari ion Al dan ion Fe pada larutan, lalu mencegah pengendapan ulang dari senyawa P-logam dan penjerapan P oleh ion Al dan ion Fe.

## 9.2 Bentuk Fosfor Dalam Tanah

Fosfor merupakan salah satu unsur makro esensial dan secara alami fosfor di dalam tanah berbentuk senyawa organik atau anorganik. Kedua bentuk tersebut merupakan bentuk fosfor yang tidak larut, sehingga ketersediaannya di dalam tanah sangat terbatas. Mineral fosfat anorganik pada umumnya terikat sebagai Aluminium Fosfat dan Besi (III).

Tanaman menyerap P dalam bentuk *ortofosfat primer* ( $H_2PO_4$ ) dan sebagian kecil dalam bentuk *ortofosfat sekunder* ( $HPO_4$ ) (Barker and Pilbeam, 2007). Bentuk P dalam tanah dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu organik dan anorganik. Proporsi kedua bentuk P tersebut sangat bervariasi yaitu nilai P-organik sekitar 5-80% (Hao, dkk, 2008).

### 9.2.1 Senyawa Organik

Bakteri pelarut fosfat (BPF) merupakan salah satu mikroorganisme tanah yang mampu melarutkan ion P yang terikat dengan kation tanah berupa Al, Fe, Ca dan Mg lalu mengubahnya bentuk unsur yang tersedia sehingga mudah diserap oleh tanaman secara alami.

Pemanfaatan bakteri pelarut fosfat sebagai pupuk hayati dilakukan dengan cara menambahkan isolat bakteri pelarut fosfat ke lahan pertanian yang umumnya

dilakukan pada *rizosfer* tanah dengan menggunakan media pembawa (Keneni dkk., 2010).

Hal ini bertujuan untuk membantu mempercepat proses penyediaan nutrisi utama bagi tanaman khususnya tersedia unsur P dalam tanah sehingga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman. Bakteri pelarut fosfat sebagai pupuk hayati dapat diaplikasikan bersama dengan pupuk anorganik dan pupuk organik lainnya dengan tujuan untuk mempercepat penyerapan dan menjaga ketersediaan nutrisi. Selain itu, beberapa bakteri pelarut fosfat juga dapat berperan sebagai biokontrol yang dapat meningkatkan kesehatan akar dan pertumbuhan tanaman (Saragih. dkk, 2013).

Unsur P merupakan unsur esensial kedua setelah unsur N yang berperan penting dalam fotosintesis dan perkembangan akar. Salah satu senyawa P yang dikenal yaitu ion fosfat (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) pada tanah masam dan sebagai trikalsium fosfat pada tanah basa. Sebagian besar bentuk ion PO<sub>4</sub><sup>-</sup> terikat oleh koloid tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman.

Jenis tanah bervariasi yang tergantung kandungan organik yaitu memiliki kandungan ion PO<sub>4</sub><sup>-</sup> organik tanah. Unsur P termasuk unsur hara makro yang memiliki fungsi penting sebagai penyusun ATP dan DNA (Islamiati dan Enny, 2015). Ketersediaan P dalam tanah jarang yang melebihi 0,01% dari total P dan kandungan senyawa P organik dapat mencapai 25% sampai 50% dari jumlah total P tanah.

Tanah dengan kandungan organik rendah seperti tanah oksisols dan tanah ultisols yang banyak terdapat di Indonesia karena kandungan P organik bervariasi sekitar 20-80%, bahkan bisa kurang dari 20% tergantung tempat (Ginting dkk., 2006).

Beberapa jenis P - organik tanah dapat digolongkan menjadi:

1. Inositol fosfat (2-50%).
2. Asam nukleat (0,2 – 2,5 %).
3. Fosfolipida, (1-5%).
4. Fosfoprotein.
5. Fosfat metabolik.

Unsur P pembentuk senyawa *adeno sindi fosfat* (ADP) dan senyawa *adeno sintri fosfat* (ATP), kedua senyawa tersebut akan mengalami transformasi energi yang paling signifikan pada tanaman sesuai sistem informasi genetik

(DNA dan RNA). Pada penyusunan fosfolipid nukleoprotein, gula fosfat dan khususnya pada transpor dan penyimpanan energi serta proses pembentukan membran sel (fosfolipid), dan fosfoprotein (Brady, 1990).

Unsur P berperan sebagai aktivator berbagai enzim metabolisme tanaman dan merupakan komponen klorofil, akan diserap dalam bentuk ion ortofosfat primer ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) dan ion ortofosfat sekunder ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Kemungkinan ada unsur P yang dapat diserap dalam bentuk lain, yaitu pirofosfat dan metafosfat, selain itu dapat pula diserap dalam bentuk senyawa P organik yang larut dalam air misalnya asam nukleat dan phitin (Premono. dkk, 1991).

Fosfat tanah pada umumnya berada dalam bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman. Tanaman akan menyerap P dalam bentuk orthofosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ , dan  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Jumlah masing-masing bentuk sangat tergantung kepada pH tanah, tetapi umumnya bentuk  $\text{HPO}_4^{2-}$  terbanyak dijumpai pada pH tanah berkisar antara 5,0 - 7,2 (Hakim. dkk, 1986).

Kelarutan P tanah untuk tanaman yaitu pada pH 6 - 7. Apabila pH di bawah 6, maka unsur P akan terikat oleh ion Fe dan ion Al. Ketersediaan ion P umumnya rendah pada tanah asam dan basa. Pada tanah dengan pH di atas 7, maka ion P akan diikat oleh Ca (Hakim. dkk, 1986).

Menurut Lynch (1983), terdapat tiga bentuk P dalam tanah yaitu, P-cepat tersedia, P-agak cepat tersedia dan P-sangat lambat tersedia. Bentuk P-cepat tersedia dapat dimanfaatkan melalui larutan tanah, dan juga dapat tercuci serta hilang saat panen/produksi. Sumber unsur P lainnya berasal dari pupuk dan pemupukan.

Kisaran pH untuk ketersediaan P tanah yang terbaik adalah antara 6,0 - 7,0. Pada segi pengaturan hara P bagi tanaman maka kisaran pH tanah di atas perlu dipertahankan. Walaupun demikian tanaman hanya sanggup menyerap 1/3 sampai 1/2 dari P yang diberikan ke dalam tanah sebagai P yang diikat tanah serta adanya bentuk kelarutannya rendah (Premono. dkk,1991).

## 9.2.2 Bentuk Unsur Fosfor Anorganik

Unsur P secara umum berbentuk padatan putih yang lengket dan memiliki bau tidak enak tetapi ketika warna berubah transparan. Unsur P tidak dapat larut dalam air, tetapi dapat larut dalam karbon di sulfida, pada kondisi unsur P murni dapat terbakar secara spontan di udara membentuk fosfor pentoksida.

Unsur P dapat berada dalam empat bentuk dan indikasi warna atau alotrop yaitu warna putih (atau kuning), warna merah, warna merah dan warna hitam (atau ungu). Paling umum terdapat di alam adalah fosfor merah dan putih, keduanya mengelompok dalam empat struktur atom yang berbentuk tetrahedral. Fosfor putih bersifat mudah terbakar apabila bersentuhan dengan udara dan berubah warna menjadi fosfor merah apabila terkena panas atau cahaya.

Fosfor putih dapat berbentuk alfa P dan beta P dan memiliki sifat yang berbeda suhu transisi sekitar  $-3,8^{\circ}\text{C}$ . Fosfor merah relatif lebih stabil dan menyublim pada  $170^{\circ}\text{C}$  pada tekanan uap 1 atm, tetapi terbakar akibat tumbukan atau gesekan. Alotrop fosfor hitam mempunyai struktur seperti grafit atom-atom tersusun dalam lapisan-lapisan heksagonal yang menghantarkan listrik (Brady, 1990).

### 9.2.3 Keberadaan Fosfor (P)

Unsur P termasuk unsur penyusun bahan makanan utama yang dibutuhkan oleh semua organisme untuk energi dan pertumbuhan. Secara geokimia, unsur P merupakan 11 unsur yang sangat berlimpah di kerak bumi, misalnya unsur nitrogen (N), unsur P merupakan unsur utama di dalam proses fotosintesis. Unsur P merupakan salah satu bahan galian yang sangat berguna untuk pembuatan pupuk. Sekitar 90% konsumsi fosfat dunia dipergunakan untuk pembuatan pupuk, bahan peledak, korek api, kembang api, pestisida, pasta gigi dan detergen makanan ternak.

Fosfor biasanya berasal dari pupuk buatan yang kandungannya berdasarkan rasio N-P-K. Sebagai contoh 15-30-15, mengindikasikan bahwa berat persen fosfor dalam pupuk buatan adalah 30% fosfor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Unsur P yang dapat dikonsumsi oleh tanaman adalah dalam bentuk fosfat, seperti di amonium fosfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) atau kalsium fosfat di hidrogen ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ).

## 9.3 Bentuk Mineral-Mineral Fosfor

Unsur P termasuk batuan dengan kandungan fosfor yang ekonomis. Kandungan fosfor pada batuan dikenal atas kandungan  $P_2O_5$ , dan disebut senyawa BPL (Bone Phosphate of Lime) dan TPL (Triphosphate of Lime).

Senyawa fosfat komersial dapat diuraikan berasal dari:

1. Mineral Apatit ( $Ca_5(PO_4)_3(FCI, OH)$ ) adalah kalsium fluo-fosfat dan kloro-fosfat dan sebagian kecil Wavelit (fosfat aluminium hidros). Apatit merupakan mineral aksesoris dari semua jenis batuan— beku, sedimen, dan metamorf. Mineral ini ditemukan pada pegmatit dan urat-urat hidrotermal. Mineral apatit sering digunakan sebagai bahan pupuk, mineral apatit ini, berbentuk transparan dan berwarna bagus biasanya digunakan untuk batu permata. Struktur kristal heksagonal dan biasanya dalam bentuk kristal panjang prismatic. Sifat fisik yang dimilikinya: warna putih atau putih kehijauan, hijau, kilap kaca sampai lemak, berat jenis 3.15-3.20, dan kekerasan level 5.
2. Jenis Slag, Guano, Krandalit ( $CaAl_2(PO_4)_2(OH).H_2O$ ).
3. Milisit ( $Na,K CaAl_3(PO_4)_4(OH).3H_2O$ ).
4. Mineral kaolinit – gibbsit, dan gibbsit-goetit untuk mencapai jerapan maksimum, jumlah P yang diserap masing-masing sebanyak 670 dan 1.320 ppm unsur P (Sanchez,1976).

### Pengaruh Kelarutan Aluminium Tanah Terhadap Ketersediaan P

Kelarutan ion P tanah untuk tanaman yaitu pada pH 6-7. Apabila pH di bawah 6, maka P akan terikat oleh ion Fe dan ion Al. Ketersediaan P umumnya rendah pada tanah asam dan basa. Pada tanah dengan pH di atas 7, maka unsur P akan diikat oleh Ca (Hakim. dkk, 1986).

pH tanah juga sangat berpengaruh terhadap daya fiksasi ion P, pada tanah bersifat asam maka ketersediaan hara P sangat rendah karena tingginya kandungan ion Al dalam kondisi kering (tidak tergenang) dan tingginya kandungan ion Fe dalam kondisi basah (tergenang), terjadi fiksasi dalam bentuk Al-P dan Fe-P. Ketersediaan unsur P yang tertinggi pada selang pH 6,0 - 6,5 dan apabila di atas pH tersebut akan di retensi oleh ion Ca dan ion Mg maupun  $CaCO_3$  (Ardjasa .dkk, 2000).



Berdasarkan ketersediaan senyawa P, maka semakin tinggi nilai kelarutan Al<sup>3+</sup> maka semakin rendah kandungan P tersedia di dalam tanah. Menurut Sanchez (1992), pada tanah kering dan masam ketersediaan P rendah, hal ini disebabkan oleh tingginya ion Al terlarut pada pH tanah < 5.

### Proses Siklus Unsur P

Siklus unsur P hampir sama mirip dengan siklus nitrogen (N), dalam ekosistem air unsur P terbagi dalam tiga bentuk yakni senyawa fosfor anorganik seperti *ortofosfat*, senyawa organik dalam protoplasma dan senyawa anorganik seperti *ortofosfat*, dan senyawa anorganik terlarut yang terbentuk karena kotoran atau tubuh organisme yang mengurai.

Siklus unsur P dalam lingkungan hidup relatif lebih sederhana bila dibandingkan bahan kimia lain, tetapi mempunyai peranan yang sangat penting sebagai pembawa energi dalam bentuk ATP. Lingkungan hidup unsur P dapat menghasilkan endapan, tidak pernah ditemukan dalam bentuk gas. Dekomposisi yang cepat pada bahan organik memperbaiki struktur tanah dan aerasi yang dapat memperbaiki kondisi aktivitas akar dan ketersediaan unsur P dalam tanah (Mahyati, 2013).

Batu karang setiap unsur P dalam tanah akan terkikis karena pengaruh cuaca pada senyawa P yang terlarut dalam air tanah dan dapat digunakan/ diambil oleh tumbuh-tumbuhan untuk pertumbuhannya. Penguraian senyawa organik (tumbuh-tumbuhan dan hewan yang mati) menghasilkan senyawa P yang dapat menyuburkan tanah untuk pertanian sebagian senyawa P yang terlarut dalam air tanah terbawa aliran air sungai menuju ke laut atau ke danau, kemudian mengendap pada dasar danau.

Apabila senyawa P berkurang dalam tanah maka kualitas tanah berkurang subur. Penambahan senyawa P dari tulang-tulang ikan yang telah mati atau dari proses pemupukan menggunakan pupuk P yang terbawa oleh aliran sungai. Tumbuhan dan hewan memerlukan suplai senyawa P secara kontinu. Senyawa organo fosfat esensial bagi sel, termasuk dalam proses pembentukan DNA dan RNA.

Nutrisi tumbuhan dan hewan meliputi siklus metabolisme energi dengan reaksi kimia memanfaatkan *Adrenalin Trifosfat (ATP)*. Tanaman akan menyerap garam P anorganik dari dalam tanah terbentuk P organik. Tumbuhan yang mengandung P organik dapat dikonsumsi oleh hewan untuk memenuhi kebutuhan unsur P hewan tersebut.

Sumber utama unsur P adalah batuan dan tanah, fosfat terlarut, tidak larut dalam air atau campuran keduanya. Senyawa P yang diserap oleh tumbuhan (dikonsumsi oleh manusia/hewan) akan dikembalikan ke tanah dalam bentuk tanaman yang mati dan residu organik hewan seperti bangkai dan kotoran. Senyawa ini kemudian membentuk humus oleh aksi mikroba tanah. Di dalam tanah, unsur P umumnya diserap oleh partikel-partikel padat, akan tetapi sebagian terbuang ke dalam sumber-sumber air.

Di dalam air, beberapa *algae* atau *fitoplankton* menyerap P anorganik terlarut secara cepat dan membentuk senyawa P organik. Alga merupakan makanan bagi zooplankton yang kemudian dikonsumsi oleh hewan air lainnya. Semua makhluk hidup yang mati di dalam air dan hasil-hasil sekresinya akan hancur dan mengendap di dasar perairan.

Pada saat itu bahan-bahan tersebut, akan mengalami pembusukan akibat aktivitas bakteri. Unsur P yang dihasilkan dari proses ini akan dibebaskan ke dalam air dengan bentuk P terlarut dan selanjutnya masuk kembali ke dalam siklus.

### **Tanaman Yang Kekurangan Unsur P**

Keberadaan unsur P berfungsi sebagai penyimpan dan transfer energi untuk seluruh aktivitas metabolisme tanaman.

Adapun manfaat unsur P pada tanaman sebagai berikut:

1. Meningkatkan pertumbuhan akar dan membentuk sistem perakaran yang baik.
2. Memacu pembentukan bunga dan pematangan buah/biji, sehingga mempercepat masa panen.
3. Memperbesar persentase terbentuknya bunga menjadi buah.
4. Menyusun dan menstabilkan dinding sel, sehingga menambah daya tahan tanaman terhadap serangan hama penyakit.

Ciri-ciri kekurangan unsur P pada tanaman antara lain:

1. Daun tanaman akan berwarna lebih tua dan berubah keunguan dan cenderung kelabu atau berwarna keunguan. Kemudian tepi daun berwarna coklat, pertumbuhan daun kecil dan akhirnya rontok.
2. Pertumbuhan tanaman lambat atau kerdil.
3. Sistem perakaran tanaman kurang berkembang.

4. Pembentukan bunga/ buah/ biji terhambat sehingga panen terlambat.
5. Persentase bunga yang menjadi buah menurun karena penyerbukan tidak sempurna.
6. Defisiensi unsur P menunjukkan gejala seperti pertumbuhan yang lambat, lemah, daun berwarna hijau tua, daun-daun tua mengalami pigmentasi ungu.

Tindakan Pencegahan dapat dilakukan antara lain:

1. Gunakan varietas yang efisien dalam menyerap fosfor dari tanah.
2. Pemupukan tanaman menggunakan senyawa organik dan mineral yang seimbang dan efisien.
3. Mengubur sisa-sisa tanaman ke dalam tanah setelah panen.

## 9.4 Jenis – Jenis Tanah yang Mengandung Unsur P

Tanah merupakan lapisan teratas dari bumi dan terbentuk dari batuan yang mengalami pelapukan. Proses pelapukan ini terjadi dalam waktu yang lama bahkan hingga ratusan tahun. Pelapukan batuan menjadi tanah juga dibantu dengan beberapa mikroorganisme, perubahan suhu dan air. Komponen yang ada di dalam tanah yang baik untuk tanaman adalah tanah yang mengandung mineral 50%, bahan organik 5% dan air 25%.

Unsur fosfat (P) adalah unsur esensial kedua setelah N yang berperan penting dalam fotosintesis dan perkembangan akar. Sebagian besar bentuk fosfat terikat oleh koloid tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Ginting.dkk, 2012).

### Tanah Regosol

Tanah regosol merupakan salah satu sub jenis tanah *entisol* yang berasal dari pelapukan dari material yang dikeluarkan oleh letusan gunung berapi seperti debu, pasir, lahar, lapili, batu dan kerikil yang belum melapuk secara sempurna. Jenis tanah ini belum mengalami perkembangan sempurna. Seperti

tanah *entisol* pada umumnya, tanah regosol bertekstur kasar dengan pH 6-7. Tanah Regosol mengandung unsur P dan K serta sedikit unsur N.

Sifat tanah seperti ini sulit untuk menampung air, sehingga tidak semua tanaman cocok ditanam pada tanah ini. Tanaman yang cocok untuk tanah ini adalah jenis palawija, tembakau dan beberapa jenis buah-buahan yang tidak terlalu memerlukan air.

Tanah Regosol merupakan tanah yang masih sangat muda yaitu baru pada tingkat permulaan perkembangan. Tidak ada horizon penciri lain kecuali *epipedon okrik* atau *histik* bila tanah sangat lembek. Regosol berasal dari bahan lepas, bukan berupa bahan *alluvial*, dengan tingkat perkembangan profil lemah atau tanpa perkembangan profil.

Rendahnya perkembangan profil dapat disebabkan oleh erosi atau oleh bahan induk yang masih muda. Tanah ini ditemukan pada bahan induk abu vulkan, mergel, dan bukit pasir pantai, pada iklim dan ketinggian yang beraneka ragam (Hardjowigeno, 2007)

### **Andosol**

Tanah andosol merupakan salah satu jenis tanah vulkanik di mana terbentuk karena adanya proses vulkanisme pada gunung berapi. Tanah ini sangat kaya dengan mineral, unsur hara, berwarna keabu-abuan, sangat subur air dan baik untuk tanaman. Setiap tanah memiliki respons yang berbeda dengan penambahan bahan organik dalam meningkatkan ketersediaan P. Tanah Andosol dapat menyerap unsur P sangat kuat, sangat lambat dalam melepaskan unsur P kembali, sedangkan tanah Latosol lebih lemah mengikat unsur P, dan melepaskan unsur P lebih cepat (Nuryani. dkk, 1993).

Jumlah serapan fosfat oleh tanah Andosol dapat ditentukan oleh kandungan dan bentuk ion Al dan ion Fe aktif, semakin tinggi kandungan ion Al dan ion Fe aktif dalam tanah, maka unsur yang terjerap juga semakin tinggi. Ion Al dan atau ion Fe aktif yang terdiri atas mineral liat non kristalin seperti alofan dan *ferrihidrit* serta mineral liat imogolit P terjerap kuat pada struktur mineral ini dan terikat pada gugus fungsional OH atau H yang bermuatan positif (Shoji . dkk, 1993).

Pada tanah Andosol unsur fosfat sebagian besar terikat oleh mineral liat non kristalin alofan, imogolit, dan ferihidrit. Alofan mampu meretensi unsur P hingga 97,8%, dan keberadaan Al dan Fe dalam bentuk amorf juga mempunyai kemampuan dalam mengikat unsur P (Sukarman. dkk, 2014).

### **Tanah Podsolik**

Tanah Podsolik merupakan jenis tanah dengan penimbunan liat di horison bawah (horizon argilik), bersifat masam, kejenuhan basa kurang dari 35%. Tanah Podsolik merupakan tanah yang sangat tercuci, terdapat akumulasi liat hingga tekstur relatif berat (kadar liat tinggi), permeabilitas rendah, stabilitas agregat rendah, dan peka terhadap erosi.

Podsolik umumnya memiliki sifat-sifat kimia sebagai berikut: pH H<sub>2</sub>O berkisar 3.5 dan 5, C/N rasio >12, bahan organik maksimum pada horison A (< 10%), bersifat masam, kejenuhan basa rendah (< 35%), kadar unsur hara rendah terutama N, P, K, Ca, dan Mg. Kadar bahan organik dan KTK tanah umumnya rendah, sering disertai Al dan Mn yang tinggi dan mempunyai daya fiksasi P yang tinggi (Adiningsih dan Rochayati, 1988).

### **Tanah Masam**

Hal itu menyebabkan banyak unsur hara dalam bentuk kation-kation basa tercuci, sehingga tanah banyak mengandung ion H<sup>+</sup> dan tanah bersifat asam. Pada tanah yang masam, banyak kation Al<sup>3+</sup> dan Fe<sup>3+</sup> di dalam tanah yang dapat mengikat ion H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> yang berasal dari pemberian pupuk P. Akibatnya sebagian kecil saja (kurang lebih 30%) pupuk P yang dapat diserap oleh tanaman.

Sementara pada daerah dengan curah hujan rendah, seperti di Nusa Tenggara dan biasanya tanahnya banyak mengandung kapur (tanah alkalin), kation Ca<sup>2+</sup> yang banyak pada tanah tersebut akan mengikat unsur P. Maka, ketersediaan unsur P dalam tanah tersebut rendah. Padahal, unsur P sangat penting bagi tanaman antara lain untuk pembelahan sel, perkembangan akar, pembentukan bunga, buah, biji, dll (Dewi, 2007).

Bakteri pelarut fosfat merupakan jasad renik yang mempunyai kemampuan melarutkan fosfat dalam bentuk tidak larut menjadi fosfat dalam bentuk larut dengan mengeluarkan asam-asam organik, sehingga bakteri tersebut mampu meningkatkan efisiensi pemupukan fosfat. Pada tanah-tanah masam, P akan bersenyawa dalam bentuk-bentuk Al-P dan Fe-P, sedangkan pada tanah-tanah alkali, P akan bersenyawa dengan kalsium (Ca) sebagai Ca-P membentuk senyawa kompleks yang sukar larut (Winarso, 2005).

### Mekanisme Fiksasi P Dalam Tanah

Pada tanah masam (Ultisol/Oxisol) ion  $H_2PO_4$  yang berasal dari pupuk super fosfat tidak hanya bereaksi dengan besi, aluminium dan mangan, tetapi juga dengan hidrous oksida tidak larut seperti limonit dan goetit. Jumlah P yang difiksasi oleh mineral ini dalam tanah masam melebihi yang disebabkan oleh pengendapan kimia oleh kation-kation Fe, Al dan Mn dapat larut. Mekanisme fiksasi oleh senyawa ini terjadi dalam kisaran pH yang relatif lebar (Buckman dan Brady, 1982). Makin tinggi oksida Fe dan oksida Al, makin tinggi daya fiksasi unsur P. Makin tinggi kandungan Al dapat ditukar akan makin besar daya fiksasinya.

Pupuk super fosfat yang diberikan ke dalam tanah masam, diawali dengan Bergeraknya air ke dalam butiran dan melarutkan beberapa monokalsium fosfat menjadi di kalsium fosfat dan asam fosfat bebas. Larutan yang bereaksi dengan butiran tersebut mempunyai pH 1 - 1,5 melarutkan senyawa aluminium, besi, dan magnesium di dalam partikel tanah. Dalam tanah masam, aluminium dan besi bereaksi dengan P membentuk Al-P dan Fe-P yang tidak larut (Sanchez, 1976).

Peranan bahan organik dalam meningkatkan ketersediaan unsur P dalam tanah untuk meningkatkan ketersediaan unsur P atau mengurangi kemungkinan fiksasi unsur P, beberapa peneliti berpendapat bahwa usaha dapat dilakukan antara lain dengan pemberian bahan organik (Soepardi, 1983). Menurut Stevenson (1994) melalui interaksi bahan humat dengan ion Al dalam larutan tanah menjadi tidak aktif, sehingga fiksasi fosfat dapat dikurangi menyebabkan ketersediaan P dalam tanah meningkat. Mekanisme meningkatnya ketersediaan P sehingga tidak terserap oleh hidroksida Al, bahan organik dapat berperan sebagai anion organik menjadi pesaing pada kompleks jerapan unsur P yang aktif sehingga fiksasi unsur P dapat dikurangi. Gugus bermuatan negatif asam organik dapat memblokir gugus  $Al(OH)_3$ -positif.

Sebagai komponen organik, asam humat dan fulvat banyak mengandung gugus fungsional seperti gugus karboksil ( $R-COOH$ ), gugus hidroksil ( $R-COH$ ), gugus keton ( $R-C=O$ ) dan gugus koordinasi seperti amino (Tan, 1982). Selain itu gugus fungsional tersebut dapat berperan dalam reaksi pertukaran anion yaitu antara anion P dengan anion asam humat atau fulvat pada permukaan liat, atau bereaksi dengan ion logam seperti ion  $Al^3+$  dan ion  $Fe^{3+}$  melalui proses fiksasi membentuk senyawa khelat yang relatif tidak larut. Peristiwa ini dapat melepaskan unsur P dari ikatan tersebut, sehingga P tersedia dalam tanah (Tan, 1982).