



# **SISTEM PERTANIAN TERPADU :** PERTANIAN MASA DEPAN



Deddy Wahyudin Purba • Badrul Ainy Dalimunthe  
Dwiwiyati Nurul Septariani • Mahyati • Ryan Budi Setiawan  
Nurtania Sudarmi • Ria Megasari • Astrina Nur Inayah  
Oeng Anwarudin • Amruddin

# **SISTEM PERTANIAN TERPADU :** PERTANIAN MASA DEPAN



#### 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 25

Ketersuaian 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).

# **Sistem Pertanian Terpadu: Pertanian Masa Depan**

Deddy Wahyudin Purba, Badrul Ainy Dalimunthe  
Dwiwiyati Nurul Septariani, Mahyati, Ryan Budi Setiawan  
Nurtania Sudarmi, Ria Megasari, Astrina Nur Inayah  
Oeng Anwarudin, Amruddin



Penerbit Yayasan Kita Menulis

# Sistem Pertanian Terpadu: Pertanian Masa Depan

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2022

Penulis:

Deddy Wahyudin Purba, Badrul Ainy Dalimunthe  
Dwiwiyati Nurul Septariani, Mahyati, Ryan Budi Setiawan  
Nurtania Sudarmi, Ria Megasari, Astrina Nur Inayah  
Oeng Anwarudin, Amruddin

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

Deddy Wahyudin Purba., dkk.

Sistem Pertanian Terpadu: Pertanian Masa Depan

Yayasan Kita Menulis, 2022

xii; 146 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-385-4

Cetakan 1, Januari 2022

- I. Sistem Pertanian Terpadu: Pertanian Masa Depan
- 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 panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis berhasil menyelesaikan buku yang berjudul “Sistem Pertanian Terpadu : Pertanian Masa Depan”.

Pertanian terpadu merupakan sistem yang menggabungkan kegiatan pertanian, peternakan, perikanan, kehutanan dan ilmu lain yang terkait dengan pertanian dalam satu lahan, sehingga diharapkan dapat sebagai salah satu solusi alternatif bagi peningkatan produktivitas lahan, program pembangunan & konservasi lingkungan serta pengembangan desa secara terpadu. Diharapkan kebutuhan jangka pendek, menengah dan panjang petani berupa pangan, sandang dan papan akan tercukupi dengan sistem pertanian berbasis agroforestry ini. Hasil pertanian dan perikanan diharapkan mampu mencukupi kehidupan jangka pendek, sedangkan hasil peternakan dan perkebunan dapat dimanfaatkan untuk kehidupan jangka menengah.

Pengelolaan tanaman terpadu dilakukan dengan pola agro-forestri yang memadukan berbagai jenis tanaman pertanian, perkebunan, kehutanan, perikanan dan peternakan. Penggunaan hara secara efisien, membutuhkan keseimbangan antara unsur hara yang ditambahkan melalui pupuk kimia ke dalam tanah dan yang lepas tersedia selama degradasi bahan organik di tanah oleh mikroorganisme. Aspek aktivitas biologi tanah yang berkontribusi dalam menekan hama-penyakit dan peningkatan efisiensi pemanfaatan hara oleh tanaman juga sangat penting untuk system produksi pertanian yang menguntungkan dan ramah lingkungan.

Penulisan buku ini dilakukan secara berkolaborasi sebagai perwujudan Tri Dharma Perguruan Tinggi beberapa dosen dari berbagai institusi melakukan kajian tentang pertanian berwawasan lingkungan yang membahas tentang :

- Bab 1 Konsep Sistem Pertanian Terpadu
- Bab 2 Fungsi Komponen Sistem Pertanian Terpadu
- Bab 3 Peranan Sistem Pertanian Terpadu Dalam Pembangunan Pertanian
- Bab 4 Siklus Daur Hidup Dari Komponen Sistem Pertanian Terpadu
- Bab 5 Bentuk Sistem Pertanian Terpadu
- Bab 6 Pengolahan Lahan Berbasis Sistem Pertanian Terpadu
- Bab 7 Pengelolaan Hara dan Energi Terpadu
- Bab 8 Pengelolaan Air dan Irigasi Secara Terpadu
- Bab 9 Strategi Penelitian dan Pengembangan Sistem Pertanian Terpadu
- Bab 10 Pertanian Berkelanjutan dan Pertanian Terpadu

Dalam penyusunan buku ini kami (penulis) banyak mendapat bantuan dan serta informasi dari berbagai sumber. Kami juga banyak mendapat dukungan dan saran saran dari banyak pihak. Untuk itu kami ucapkan terima kasih kepada pihak pihak yang telah membantu. Akhir kata, penulis sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan buku ini dari awal sampai akhir. Semoga Allah SWT senantiasa meridhai usaha kita. Amin.

Medan, Januari 2022.

Penulis.

# Daftar Isi

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	xi
<b>Bab 1 Konsep Sistem Pertanian Terpadu</b>	
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Batasan Sistem Pertanian Terpadu.....	3
1.3 Konsep Dasar Sistem Pertanian Terpadu .....	5
1.4 Kegiatan Penunjang Pertanian Berkelanjutan .....	10
<b>Bab 2 Fungsi Komponen Sistem Pertanian Terpadu</b>	
2.1 Pendahuluan.....	15
2.2 Komponen Sistem Pertanian Terpadu .....	17
2.2.1 Peranan Komponen Tanaman Dalam Sistem Pertanian Terpadu..	18
2.2.2 Peranan Komponen Ternak Dalam Sistem Pertanian Terpadu .....	21
2.2.3 Peranan Ikan Dalam Sistem Pertanian Terpadu.....	24
2.2.4 Peranan Manusia Dalam Sistem Pertanian Terpadu.....	24
2.3 Pengintegrasian Komponen Sistem Pertanian Terpadu .....	26
<b>Bab 3 Peranan Sistem Pertanian Terpadu Dalam Pembangunan Pertanian</b>	
3.1 Pendahuluan.....	33
3.2 Tenaga Kerja Sektor Pertanian .....	37
3.3 Peningkatan Produksi.....	40
3.4 Teknologi Dalam Pembangunan Pertanian.....	41
<b>Bab 4 Siklus Daur Hidup Dari Komponen Sistem Pertanian Terpadu</b>	
4.1 Siklus Unsur Karbon .....	45
4.2 Siklus Unsur Fosfor.....	49
4.3 Siklus Unsur Nitrogen.....	52
4.4 Siklus Unsur Belerang.....	54

**Bab 5 Bentuk Sistem Pertanian Terpadu**

5.1 Pendahuluan.....	57
5.2 Bentuk Sistem Pertanian Terpadu.....	58
5.2.1 Pengelolaan Tanaman Terpadu (Integrated Crop Management)...	58
5.2.2 Pengelolaan Hara Terpadu (Integrated Nutrient Management).....	61
5.2.3 Pengelolaan Hama dan Penyakit Terpadu (Integrated Pest dan Diseases Management).....	64

**Bab 6 Pengolahan Lahan Berbasis Sistem Pertanian Terpadu**

6.1 Pendahuluan.....	69
6.2 Pengolahan Tanah Konvensional.....	71
6.3 Pengolahan Tanah Konservasi.....	73

**Bab 7 Pengelolaan Hara dan Energi Terpadu**

7.1 Pendahuluan.....	77
7.2 Membangun Kesuburan Tanah.....	79
7.3 Pengelolaan Nutrisi Terpadu.....	81
7.4 Pengelolaan Energi Terpadu.....	84

**Bab 8 Pengelolaan Air dan Irigasi Secara Terpadu**

8.1 Pendahuluan.....	89
8.2 Kerangka Pengelolaan.....	90
8.3 Periode-Periode Pembangunan Irigasi.....	93
8.4 Kerangka Pengelolaan Terpadu Sumber Daya Air.....	97

**Bab 9 Strategi Penelitian dan Pengembangan Sistem Pertanian Terpadu**

9.1 Pendahuluan.....	101
9.2 Kendala Pengembangan Sistem Pertanian Terpadu.....	103
9.3 Strategi Penelitian Sistem Pertanian Terpadu.....	106
9.4 Strategi Pengembangan Sistem Pertanian Terpadu.....	110

**Bab 10 Pertanian Berkelanjutan dan Pertanian Terpadu**

10.1 Pendahuluan.....	115
10.2 Pertanian Berkelanjutan.....	116
10.3 Pertanian Terpadu.....	121
Daftar Pustaka.....	127
Biodata Penulis.....	141

## **Bab 4**

# **Siklus Daur Hidup Dari Komponen Sistem Pertanian Terpadu**

Sistem pertanian terpadu (SPT) merupakan sebuah sistem yang menggabungkan beberapa kegiatan bidang ilmu yang digabung misalkan kegiatan pertanian, peternakan, perikanan, kehutanan dan ilmu lain yang terkait dalam satu lahan sebagai solusi alternatif bagi peningkatan produktivitas lahan, program pembangunan & konservasi lingkungan metode menciptakan ekosistem buatan. Adanya kegiatan SPT akan terintegrasi antara satu dengan kegiatan lainnya, dan diharapkan dapat menambah penghasilan petani dari segi ekonomi tetapi tidak rusak lingkungan sebagai lahan pertanian (Anugrah, 2014).

### **4.1 Siklus Unsur Karbon**

Siklus karbon termasuk satu jenis siklus bahan kimia yang paling sederhana. Gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang tersebar dalam atmosfer (0,03%) hanya merupakan satu dari sekian banyak sumber yang ada dalam ekosfer (dalam

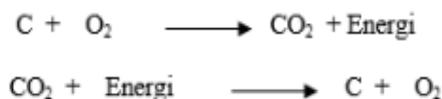
---

lingkungan hidup). Gas CO<sub>2</sub> dalam proses fotosintesis tereduksi, kemudian membentuk senyawa sebagai bahan makanan. Manusia bernapas menghirup oksigen (O<sub>2</sub>) yang dipakai sebagai sumber energi dan menghasilkan gas CO<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis, dan gas buangan bahan bakar migas akan diserap oleh tumbuh-tumbuhan yang di daratan dan biota yang ada di lautan menghasilkan oksigen dan kembali dihirup oleh manusia untuk bernapas. (Mahyati, 2013)

Definisi dari siklus karbon adalah suatu siklus biogeokimia yang dipertukarkan antara biosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi. Dalam siklus ini terdapat empat reservoir karbon yang dihubungkan oleh jalur pertukaran atau proses perpindahan karbon dalam berbagai proses disebut siklus karbon (Balaubramanian, 2017).

Siklus karbon yang berlangsung cepat disebut siklus karbon pendek, sementara siklus karbon yang berlangsung dalam rentang waktu yang lama dan melalui proses geologis disebut siklus karbon panjang. Pergerakan tahunan karbon antar reservoir tersebut, akibat adanya proses kimia, fisika, geologi dan biologi. Lautan mengandung kolam aktif karbon terbesar dekat permukaan bumi yang mengalami pertukaran yang lambat dengan atmosfer.

Secara sederhana, siklus karbon di atmosfer bumi terdiri dari 2 buah reaksi sebagai berikut:



### Unsur Karbon Atmosfer

Senyawa karbon di atmosfer berbentuk gas CO<sub>2</sub>, gas metan (CH<sub>4</sub>) dan kloro fluoro karbon (CFC). Jenis gas tersebut sebagai gas rumah kaca yang konsentrasinya di atmosfer terus bertambah dan sebagai penyebab terjadinya pemanasan global.

Karbon diambil dari atmosfer dengan berbagai cara:

1. Ketika matahari bersinar, tumbuhan melakukan fotosintesis untuk mengubah CO<sub>2</sub> menjadi karbohidrat, dan melepaskan oksigen ke atmosfer. Proses ini akan lebih banyak menyerap karbon pada hutan dengan tumbuhan yang baru saja tumbuh atau hutan yang sedang mengalami pertumbuhan yang cepat.

2. Pada permukaan laut terjadi produktivitas yang tinggi pada organisme untuk membentuk jaringan yang mengandung karbon.
3. Pada dasar laut terdapat beberapa organisme membentuk cangkang karbonat dan bagian-bagian tubuh lainnya yang keras, dikenal aliran karbon ke bawah.
4. Pelapukan batuan silikat, terjadi proses yang berbeda, proses ini tidak memindahkan karbon ke dalam reservoir untuk kembali ke atmosfer. Pelapukan batuan karbonat tidak meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer karena ion karbonat yang terbentuk terbawa ke laut. Selanjutnya dipakai untuk membuat karbonat laut dengan reaksi yang sebaliknya (reverse reaction).

Karbon dapat kembali ke atmosfer dengan berbagai cara yaitu:

1. Melalui pernapasan (respirasi) oleh tumbuhan dan binatang. Hal ini merupakan reaksi eksoterm dan termasuk juga di dalamnya penguraian glukosa (atau molekul organik lainnya) menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.
2. Melalui pembusukan binatang dan tumbuhan, fungi atau jamur dan bakteri mengurai senyawa karbon pada binatang dan tumbuhan yang mati dan mengubah karbon menjadi CO<sub>2</sub> jika tersedia oksigen atau menjadi CH<sub>4</sub> jika tidak tersedia oksigen.
3. Melalui pembakaran material organik yang mengoksidasi karbon yang terkandung menghasilkan CO<sub>2</sub> (juga yang lainnya seperti asap). Pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, produk dari industri perminyakan (petroleum), dan gas alam akan melepaskan karbon yang sudah tersimpan selama jutaan tahun di dalam geosfer. Hal inilah yang merupakan penyebab utama naiknya konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer.
4. Suhu air laut di permukaan menjadi lebih hangat karena senyawa CO<sub>2</sub> terlarut dilepaskan kembali ke atmosfer.

### Unsur Karbon Biosfer

Sekitar 1.9 juta ton karbon ada di dalam biosfer yang memiliki peran yang penting dalam struktur, biokimia, dan nutrisi pada semua sel makhluk hidup dalam bentuk siklus karbon.

Adapun siklus karbon di biosfer antara lain:

1. Autotroph adalah organisme yang menghasilkan senyawa organiknya sendiri dengan menggunakan CO<sub>2</sub> yang berasal dari udara dan air di sekitar tempat mereka hidup, untuk menghasilkan senyawa organik tersebut maka dibutuhkan sumber energi dari luar. Hampir sebagian besar autotroph menggunakan radiasi matahari untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut, dan proses produksi ini disebut sebagai fotosintesis memiliki reaksi:



2. Karbon dipindahkan di dalam biosfer sebagai makanan heterotroph pada organisme lain atau bagiannya (seperti buah-buahan). Termasuk di dalamnya pemanfaatan material organik yang mati oleh jamur dan bakteri untuk fermentasi atau penguraian.
3. Sebagian besar karbon meninggalkan biosfer melalui pernafasan atau respirasi. Ketika tersedia oksigen, respirasi aerobik terjadi, yang melepaskan CO<sub>2</sub> ke udara atau air dengan reaksi:



Pada keadaan tanpa oksigen, respirasi anaerobik yang terjadi, yang melepaskan metana ke lingkungan sekitarnya yang akhirnya berpindah ke atmosfer atau hidrosfer.

4. Pembakaran biomassa (seperti kebakaran hutan, kayu yang digunakan untuk tungku pemanas atau kayu bakar dll) dapat juga memindahkan karbon ke atmosfer dalam jumlah yang banyak.

### Unsur Karbon di Laut

Laut mengandung sekitar 36 juta ton karbon, sebagian besar dalam bentuk ion bikarbonat. Karbon anorganik yaitu senyawa tanpa ikatan C-C atau C-H

adalah penting dalam reaksinya di dalam air. Pertukaran karbon dapat mengontrol pH air laut dan sumber karbon. Karbon siap untuk saling dipertukarkan antara atmosfer dan lautan. Pada daerah *upwelling*, karbon dilepaskan ke atmosfer. Sebaliknya pada daerah *downwelling* CO<sub>2</sub> berpindah dari atmosfer ke lautan.

Pada saat CO<sub>2</sub> memasuki lautan, asam karbonat terbentuk:



Reaksi ini dapat mengontrol pH air laut karena terjadi pelepasan ion hidrogen dan bikarbonat.



## 4.2 Siklus Unsur Fosfor

Fosfor adalah unsur kimia yang memiliki lambang P dengan nomor atom 15. Fosfor termasuk unsur non logam, bervalensi banyak, banyak ditemui dalam batuan fosfat anorganik dan penyusun sel hidup tetapi tidak pernah ditemui dalam bentuk unsur bebas.

Fosfor bersifat reaktif, dapat memancarkan cahaya yang lemah ketika bergabung dengan oksigen, ditemukan dalam berbagai bentuk. Fosfor sebagai unsur penyusun pada pembuatan pupuk, bahan peledak, korek api, kembang api, pestisida, pasta gigi dan detergen.

### **Bentuk Unsur Fosfor**

Bentuk fosfor secara umum berbentuk padatan putih yang lengket dan memiliki bau tidak enak tetapi ketika murni berubah menjadi tak berwarna dan transparan. Fosfor tidak larut dalam air, tetapi dapat larut dalam karbon disulfida, pada kondisi fosfor murni dapat terbakar secara spontan di udara membentuk fosfor pentoksida.

Fosfor dapat berada dalam empat bentuk atau alotrop: putih (atau kuning), merah, merah dan hitam (atau ungu). Paling umum terdapat adalah fosfor merah dan putih, keduanya mengelompok dalam empat atom yang tetrahedral. Fosfor putih terbakar ketika bersentuhan dengan udara dan dapat berubah menjadi fosfor merah ketika terkena panas atau cahaya. Fosfor putih juga

dapat berada dalam keadaan alfa dan beta yang dipisahkan oleh suhu transisi – 3,8°C.

Fosfor merah relatif lebih stabil dan menyublim pada 170°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.

### **Keberadaan Fosfor**

Tanah mengandung senyawa anorganik yang terdiri dari kalsium, besi, dan aluminium. Senyawa kalsium yang lebih larut bergabung dengan besi dan aluminium, tanah yang mengandung senyawa ini memiliki sifat yang paling stabil dan tidak dapat larut. Senyawa fosfor organik dapat mencapai 25% sampai 50% dari jumlah total fosfor tanah.

Fosfor memiliki peranan penting sebagai bahan baku universal untuk kegiatan biokimia dalam sel hidup, tulang dan gigi. Ikatan *Adenosin Trifosfat (ATP)* yang berenergi tinggi melepaskan energi untuk kegiatan bila diubah menjadi *Adenosine Difosfat (ADP)*. Sumber fosfat dalam larutan tanah, yang langsung dibutuhkan tanaman adalah berbentuk ion fosfat anorganik. Suatu struktur tanah yang lepas meningkatkan daya serap dan aerasi yang baik sehingga memenuhi kebutuhan oksigen jasad renik tanah secara baik.

Walaupun pemberdayaan fosfor pada umumnya sangat rendah, bahan organik memiliki peranan sangat penting dalam meningkatkan tersedianya unsur ini. Perombakan struktur organik menghasilkan pembebasan fosfat dari bahan yang terurai itu. Jika bahan organik telah dirombak oleh jasad renik, maka fosfornya demineralisasi dan dibebaskan untuk pertumbuhan tanaman, bahan organik dan jasa renik sehingga dapat mempengaruhi ketersediaan fosfor organik.

Siklus fosfor hampir sama mirip dengan siklus nitrogen, dalam ekosistem air fosfor ada 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 fosfor 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 fosfor 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 fosfat dalam tanah.

Batu karang fosfor dalam tanah terkikis karena pengaruh cuaca menjadi senyawa fosfat 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 fosfat yang dapat menyuburkan tanah untuk pertanian sebagian senyawa fosfat yang terlarut dalam air tanah terbawa aliran air sungai menuju ke laut atau ke danau, kemudian mengendap pada dasar danau.

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

Kadar fosfor dalam larutan terutama merupakan fungsi kelarutan bentuk fosfor yang terikat. Hasilnya adalah kadar fosfor yang sangat rendah dalam tanah pada suatu saat karena bentuk terikat rendah pada umumnya, terdapatnya penurunan keterlarutan atau ketersediaan dalam larutan kalsium fosfat yang diserap tanah liat serta besi aluminium fosfat.

Nutrisi tumbuhan dan hewan meliputi lingkaran metabolisme energi dengan reaksi kimia memanfaatkan *Adrenalin Trifosfat* (ATP). Tumbuhan menyerap garam fosfat anorganik dari dalam tanah dan mengubah menjadi fosfat organik. Tumbuhan yang mengandung fosfat organik dikonsumsi oleh hewan untuk memenuhi kebutuhan fosfat hewan tersebut.

Sumber utama fosfat adalah batuan dan tanah, fosfat terlarut, tidak larut dalam air atau campuran keduanya. Fosfat 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 diubah menjadi humus oleh aksi mikroba tanah. Di dalam tanah, fosfat umumnya diserap oleh partikel-partikel padat, akan tetapi sebagian terbuang ke dalam sumber-sumber air.

Di dalam air, beberapa algae atau fitoplankton menyerap fosfat anorganik terlarut secara cepat dan menjadi fosfat organik. Algae merupakan makanan bagi zooplankton yang kemudian dikonsumsi oleh hewan air lainnya. Semua

mahluk 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. Fosfat yang dihasilkan dari proses ini akan dibebaskan ke dalam air dengan bentuk fosfat terlarut dan selanjutnya masuk kembali ke dalam siklus.

Pada dasarnya siklus fosfat alami dapat dipengaruhi oleh cemaran/limbah bahan-bahan kimia. Saat ini, aplikasi pupuk yang mengandung superfosfat atau tripel superfosfat banyak digunakan pada lahan pertanian, yang mengakibatkan bertambahnya jumlah fosfat masuk ke tanah atau air. Sumber cemaran fosfat lainnya dapat berasal dari hasil ekskresi hewan, residu yang berasal dari tumbuhan atau deterjen. Selanjutnya senyawa fosfat secara lambat laun akan mencapai aliran air, sungai dan danau.

### 4.3 Siklus Unsur Nitrogen

Dalam proses siklus bahan kimia dalam lingkup besar ini mengikutsertakan semua komponen lingkungan hidup, biotik maupun abiotik dengan energi matahari sebagai matahari sumber energi. unsur kimia yang terbesar dalam lingkungan hidup yang memiliki peranan penting yaitu karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, fosfor dan belerang.

Unsur-unsur ini berada dalam lingkungan hidup berupa senyawa organik dan senyawa anorganik. Keenam unsur tersebut digolongkan makro nutrien. Selain unsur tersebut yang diperlukan untuk kehidupan hanya dalam jumlah sedikit sekali digolongkan mikro nutrien yaitu besi, magnesium, tembaga, yodium.

Siklus nitrogen merupakan siklus bahan kimia yang sangat kompleks dan sangat penting dalam lingkungan hidup. Unsur nitrogen banyak terdapat dalam atmosfer dalam bentuk gas nitrogen ( $N_2$ ) sampai mencapai 78% volume udara bersih dan kering, tetapi tidak dapat digunakan secara langsung oleh tumbuh-tumbuhan untuk proses asimilasi N. Setelah diubah menjadi gas amoniak ( $NH_3$ ) senyawa nitrat, senyawa nitrit atau senyawa ammonium yang terlarut dalam air tanah, baru dapat digunakan oleh tumbuh-tumbuhan.

Dalam siklus nitrogen pada lingkungan hidup terjadi proses kimia antara lain:

1. Fiksasi nitrogen adalah proses perubahan gas nitrogen menjadi senyawa nitrat yang akan larut dalam air.

2. Reaksi amonifikasi adalah nama reaksi yang diberikan pada reaksi penguraian protein (tumbuh-tumbuhan dan hewan yang mati) menjadi asam amino dan gas  $\text{NH}_3$  oleh bakteri. Gas  $\text{NH}_3$  yang terbentuk sebagian diambil oleh tumbuh-tumbuhan untuk pertumbuhannya dan sebagian lagi masuk ke atmosfer. Pada kondisi tertentu gas  $\text{NH}_3$  teroksidasi menjadi nitrat.
3. Protein asam amino.
4. Reaksi nitrifikasi adalah istilah yang diberikan pada proses perubahan gas  $\text{NH}_3$  menjadi senyawa nitrat oleh bakteri.
5. Reaksi denitrifikasi yang sebagian dari senyawa nitrat yang terlarut dalam air tanah akan tereduksi lagi menjadi gas nitrogen. Sebagian besar dari oksigen dalam senyawa nitrat digunakan oleh bakteri anaerob untuk mengoksidasi karbohidrat.

Pertukaran nitrogen di ekosistem dapat digambarkan melalui siklus nitrogen. Tumbuhan dan hewan secara berkesinambungan menghasilkan protein yaitu salah satu senyawa organik yang kaya akan kandungan nitrogen. Tumbuhan menyerap nitrat dari dalam tanah untuk selanjutnya menghasilkan protein, selain itu beberapa makanan hewan pada tumbuh-tumbuhan digunakan untuk memenuhi kebutuhan protein. Organisme yang mati dan bahan organik hasil ekskresi merupakan tambahan residu organik bagi tanah yang mengandung protein.

Di dalam tanah terdapat jenis mikroorganisme yang berbeda dalam pemanfaatan senyawa nitrogen untuk keperluan metabolismenya. Protein digunakan oleh bakteri melalui suatu rantai senyawa antara misalnya amonia, nitrat dan akhirnya dihasilkan senyawa nitrat. Senyawa nitrat ini diserap oleh tumbuhan kemudian dimasukkan kembali ke dalam siklus nitrogen. Selain itu, terdapat pertukaran nitrogen antara siklus di atmosfer melalui aksi mikroba tanah lainnya.

Beberapa senyawa nitrat dari tanah berubah menjadi nitrogen melalui proses denitrifikasi dan lainnya mengubah nitrogen menjadi senyawa nitrogen terlarut, yang dapat larut ke dalam tanah dengan jumlah sekitar 0,097 – 0,105 ton/hektar/tahun. Dalam siklus nitrogen ditambahkan ke dalam tanah setiap tahun. Sebaliknya sebagian nitrogen, dalam bentuk nitrat, meninggalkan tanah berpindah ke sumber-sumber air dan laut.

Siklus nitrogen sebenarnya berlangsung seimbang sehingga konsentrasi nitrogen di atmosfer relatif konstan. Sistem pertanian modern, termasuk budidaya tanaman yang sangat efisien membutuhkan sejumlah tanaman yang sangat efisien membutuhkan sejumlah pupuk nitrogen yang ditambahkan pada tanah/lahan pertanian. Pemupukan yang berlangsung berulang-ulang ini, akan merubah keseimbangan siklus alami. Pencemaran air karena nitrogen dapat disebabkan oleh pelepasan senyawa nitrat ke dalam saluran air, irigasi, sungai dan danau.

## 4.4 Siklus Unsur Belerang

Tumbuhan dan hewan juga memerlukan suplai belerang dan senyawa lainnya secara kontinu, terutama dalam kaitannya dengan sintesis asam amino dan protein. Proses pertukaran belerang di dalam ekosistem berlangsung melalui aktivitas bakteri.

Ada 3 sumber unsur sulfur sebagai berikut:

1. Mineral tanah

Ada beberapa mineral tanah yang mengandung sulfur yang dapat dilepaskan untuk tanaman, misalnya sulfida besi, nikel dan tembaga banyak terdapat dalam tanah terutama tanah dengan drainase terbatas. Sulfida itu juga jika mengalami oksidasi menjadi sulfat yang cepat tersedia untuk tanaman.

2. Sulfur Atmosfer

Pembakaran bahan bakar, terutama batu bara melepaskan SO<sub>2</sub> dari senyawa sulfur lain dalam atmosfer, sering berhubungan erat dengan jarak dari pusat industri. Percikan garam di sekitar pantai dapat menambah konsentrasi sulfur dan di dekat rawa-rawa yang merupakan sumber Hidrogen Sulfida. Oleh karena itu pembakaran batu bara merupakan sumber paling berarti bagi sulfur atmosfer. Jumlah sulfur yang diabsorpsi langsung oleh tanaman dari atmosfer akan bervariasi tergantung pada keadaan tanah.

### 3. Sulfur yang terikat dalam organik

Pada tanah permukaan daerah lembab, sebagian besar sulfur berbentuk organik. Sulfur yang terdapat dalam sisa-sisa tanaman sebagian besar berbentuk protein dengan konsentrasi rendah. Beberapa cara sulfur (bersama nitrogen) dihindarkan dari pelepasan yang cepat.

Oksidasi belerang (S) atau senyawa organik belerang dalam kondisi aerobik disebabkan oleh bakteri *Thiobacillus Thiooxidans*. Akan tetapi, salah satu jenis bakteri aerobik yaitu *Thiobacillus Denitrificans* yang dapat mengoksidasi belerang dan senyawanya tanpa ada oksigen dari udara. Energi yang diperlukan untuk perkembangan dan pertumbuhan bakteri ini diperoleh dari hasil oksidasi belerang dan hasil akhirnya adalah asam sulfat.

Bakteri ini paling mudah berkembang baik dalam lingkungan asam dengan pH antara 0 – 6. Jenis bakteri ini dapat menghasilkan asam sulfat yang tidak begitu banyak dengan konsentrasi mencapai 10% atau 2N. Bakteri sulfur menerima energi yang diperlukan untuk kehidupannya dari oksidasi asam sulfit.

Bakteri pengoksidasi sulfur menggunakan sulfat sebagai sumber energi bagi pertumbuhan dan perkembangan dirinya, dan dapat mempercepat terjadinya korosi karena terbentuk reaksi sebagai berikut:



Perubahan H<sub>2</sub>S dan belerang menjadi sulfit dan akhirnya sulfat tersebut sulfifikasi. Sulfifikasi ini dikerjakan oleh bakteri tanah aerob yang disebut *Beggiatoa* dan *Thiobacillus thiooxidans*. Ion sulfat adalah bentuk S tersedia bagi tanaman. Pada pemberian S (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) berlebihan maka sebagian sulfat bebas di dalam tanaman sebagai ion SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> dan digunakan dalam metabolisme selanjutnya. Apabila kadar ion SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> bebas di dalam tanaman sebanyak 20 ml/Kg bahan kering maka dapat dikatakan bahwa status S dalam tanaman cukup.

Apabila kekurangan unsur S akan menghambat proses konversi S menjadi N protein sehingga kadar amida dan nitrat tanaman tinggi yang sangat berbahaya pada ternak (khususnya tanaman ternak). Unsur S merupakan bagian aktif dari beberapa enzim (papain, bromelin, ficin) dan vitamin.

Siklus bagian atas menggambarkan proses oksida belerang sedangkan siklus bagian bawah menunjukkan perubahan sulfat menjadi protein selular dari

hewan, tumbuhan dan degradasi bahan yang mati akibat aksi bakteri. Dalam lingkungan perairan yang sangat tercemar, mungkin terdapat kondisi anaerobik yang memiliki kandungan oksida anaerobik dan oksigen terlarut sangat kecil atau bahkan tak ada sama sekali. Pada kondisi seperti ini aksi bakteri pembusuk akan menghasilkan senyawa hidrogen sulfida yang sangat toksik dan deposit besi sulfida yang memberikan warna hitam pada lingkungan perairan tersebut. Dalam perairan yang belum tercemar, atau sedikit tercemar, lingkungannya masih memberikan kondisi aerobik. Pada kondisi seperti ini, bakteri sulfur akan mengubah sulfida menjadi senyawa sulfat yang dapat digunakan dalam produksi protein selanjutnya.