

ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* SOLMS)
DALAM Mendukung IMPLEMENTASI
PERTANIAN BERKELANJUTAN

D.W. Widjajanto, Sumarsono, Ai'syah Surya Bintang

Penerbit
Indonesian Food Technologists

ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* SOLMS)
DALAM Mendukung IMPLEMENTASI
PERTANIAN BERKELANJUTAN

D.W. Widjajanto, Sumarsono, Ai'syah Surya Bintang

Departemen Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian,
Universitas Diponegoro

Penerbit



Indonesian Food Technologists

**ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* SOLMS)
DALAM MENDUKUNG IMPLEMENTASI
PERTANIAN BERKELANJUTAN**

Disusun oleh:

Ir. Didik Wisnu Widjajanto, MScRes., PhD

Prof. Dr. Ir. Sumarsono, MS

Ai'syah Surya Bintang, SP., MSc

117 hal + xi

ISBN: 978-623-95445-2-2

Cetakan 1, Tahun 2022

Diterbitkan oleh :

Penerbit Indonesian Food Technologists

Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro Lantai 3

Jl. Prof. Soedarto Kampus Tembalang, Semarang 50275

Tel. 024 7474750 Email: mail@ift.or.id, Website: www.ift.or.id

Hak cipta dilindungi Undang-undang. Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku, tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

KATA PENGANTAR

Buku referensi bertemakan Pertanian Berkelanjutan dalam mendukung kemandirian dan ketahanan pangan nasional.

Buku referensi ini dapat dipergunakan oleh mahasiswa pertanian dan peternakan serta para penggiat bidang pertanian dan peternakan karena berisi tentang ilmu-ilmu yang bersifat menambah wawasan tentang pertanian berkelanjutan dan berbagai model pertanian pendukung tercapainya pertanian berkelanjutan seperti pertanian organik (PO), Pertanian Terintegrasi (PI), Pertanian Rendah Input (PRI), Pertanian Rotasi (PR). Buku referensi ini juga membahas tentang definisi, pemahaman dan dinamika kegiatan berbagai model pertanian dimaksud. Buku referensi ditulis berdasarkan hasil penelitian penulis, disamping beberapa data pendukung diambil dari berbagai sumber berupa hasil penelitian dan publikasi sebidang ilmu.

Terselesaikannya buku referensi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada rekan sejawat atas semua dukungan baik moral dan spiritual. Saran dan kritik membangun sangat diperlukan dalam penyempurnaan buku referensi ini dimasa mendatang, semoga bermanfaat.

Semarang, April 2022

DAFTAR ISI

	Halaman
Bab 1 PERTANIAN BERKELANJUTAN	8
1.1. Pengertian Pertanian Berkelanjutan..	8
1.2. Pertanian Berwawasan Lingkungan .	11
1.3. Usahatani Ramah lingkungan.....	15
1.4. Pengelolaan Tanah Berkelanjutan....	17
Bab 2 PERTANIAN ORGANIK	21
2.1. Pengertian Pertanian Organik.....	21
2.2. Peran Bahan Organik dalam PO.....	22
2.3. Peranan Biota Tanah dalam PO.....	29
2.4. Siklus Nutrisi Biota-Tanah.....	33
Bab 3 KONTRIBUSI FIKSASI NITROGEN	37
3.1. Sistem Pertanaman.....	37
3.2. Sistem Pertanaman Rotasi.....	41
3.3. Fiksasi Nitrogen.....	44
3.4. Pupuk Hijau.....	47
3.5. Pupuk organik dan hayati.....,	50
Bab 4 DINAMIKA NITROGEN	54
4.1. Nitrogen pada Sistem Pertanian.....	54
4.2. Faktor penentu Pemindahan N.....	56
Bab 5 PERTANIAN TERINTEGRASI	63
5.1. Pengertian Pertanian Terintegrasi....	63
5.2. Pendekatan Agroekosistem.....	66
5.3. Sistem Pertanian Terintegrasi.....	67
Bab 6 ECENG GONDOK	78
6.1. Karakteristik Eceng Gondok.....	78
6.2. Habitat Eceng Gondok.....	79
6.3. Problem lingkungan - Eceng Gondok...	81
6.4. Manfaat Eceng Gondok.....	87
6.5. Pengendalian Penyakit Tanaman.....	91
6.5. Pengendalian Eceng Gondok.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	112

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
3.1.	Fiksasi N oleh tanaman leguminosa sub tropika dan tropika	41
4.1.	Pengertian berbagai istilah pada siklus N	51

DAFTAR ILUSTRASI

Nomor		Halaman
2.1.	Hubungan tanaman, tanah dan ternak dalam ekosistem pastura.....	28
4.1.	Siklus nitrogen secara global.....	62
5.1.	Berbagai model SPT, <i>Agroforestry</i> (<i>Agriculture-Forestry</i> , <i>AF</i>), <i>Agropastura</i> (<i>Agriculture-Pasture</i> , <i>AP</i>), <i>Silvopastura</i> (<i>Forestry-Pasture</i> , <i>FP</i>), <i>Agrisilvopastura</i> (<i>Agriculture-Forestry-Pasture</i> , <i>AFP</i>).....	68
6.1.	Karakteristik tanaman EG	78
6.2.	Habitat tanaman EG (A) di danau Rawa Pening, (B) di sungai Tuntang, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah.....	80
6.3.	Habitat tanaman EG (A) di Sungai Kimotsuki, (B) di di Sungai Matsuda, Provinsi Kagoshima, Jepang.....	81
6.4.	Perairan danau Rawa Pening yang mengalami pendangkalan karena keberadaan tanaman EG.....	83
6.5.	Prosedur aplikasi tanaman EG sebagai sumber BO pada lahan pertanian.....	88
6.6.	Strategi pengelolaan tanaman EG....	95
6.7.	Pengelolaan tanaman EG dengan metoda fisik menggunakan peralatan modern di Rawa Pening...	96

6.8.	Pengelolaan tanaman EG dengan metoda fisik secara manual di Rawa Pening.....	96
6.9.	A. Tanaman EG kontrol sehat, B. Tanaman EG sakit setelah inokulasi	98
6.10.	Siklus hidup kumbang <i>Neochetina</i> sp.....	101
6.11.	Kumbang <i>Neochetina eichhorniae</i> (kiri) dan <i>Neochetina bruchi</i> (kanan)	102
6.12.	A. Gejala awal (nekrotik) pada tanaman EG akibat larva <i>Neochetina</i> sp. B. Gejala lanjut (kerusakan akar) pada tanaman EG akibat larva <i>Neochetina</i> sp.....	103
6.13.	Tanaman EG rusak akibat <i>Neochetina</i> sp.....	104
6.14.	A. Larva <i>Niphograptus albiguttalis</i> , B. Larva <i>Xubida infusellus</i>	104
6.15.	Ikan Koan (<i>Ctenopharyngodon idella</i>).....	105
6.16.	Pengendalian tanaman EG secara manual dengan A. Model Jual Basah B. Model Jual Kering.....	110
6.17.	Pengendalian tanaman EG secara manual dengan A. Model Jual Setengah Jadi B. Model Jual Jadi.....	111

DAFTAR SINGKATAN

BK	: Bahan kering
BO	: Bahan organik
BOT	: Bahan organik tanah
BMT	: Biomasa mikrobial tanah
EG	: Eceng gondok
EPN	: Efisiensi penggunaan nitrogen
FNB	: Fiksasi nitrogen secara biologis
FNF	: Fiksasi nitrogen secara fisik
FNK	: Fiksasi nitrogen secara kimiawi
FNS	: Fiksasi nitrogen secara simbiosis
FN2S	: Fiksasi nitrogen secara non-simbiosis
Fik-N _{atm}	: Fiksasi N atmosfer
GM	: <i>Green manure</i>
HPT	: Hama dan penyakit tanaman
HST	: Hari setelah tanam
KKBI	: Kamus besar bahasa Indonesia
MST	: Minggu setelah tanam
MO	: Mikroorganisme
PK	: Protein kasar
PO	: Pertanian organik
SPR	: Sistem pertanian rotasi
PPT	: Pengelolaan tanaman terpadu
SDA	: Sumber daya alam
STS	: Sistem tiga strata

BAB 1

PERTANIAN BERKELANJUTAN

1.1. Pengertian Pertanian Berkelanjutan

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) kata “berkelanjutan” dapat didefinisikan sebagai sesuatu yang berlangsung secara terus-menerus atau berkesinambungan. Istilah berkelanjutan dipergunakan pada banyak hal tidak terkecuali pada sektor pertanian, kata berkelanjutan digunakan pada frasa pertanian berkelanjutan (*agricultural sustainability*). Istilah berkelanjutan pada awalnya diperkenalkan oleh Komisi Lingkungan dan Perkembangan Dunia pada tahun 1987 yang mendefinisikan kata berkelanjutan sebagai :“memenuhi kebutuhan generasi sekarang tanpa menghambat kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhannya”. Lebih spesifik istilah berkelanjutan didefinisikan sebagai: “kemampuan untuk memberikan kesehatan dan kebutuhan pada semua orang di bumi, sekarang dan untuk generasi mendatang sambil meningkatkan kesehatan ekosistem dan kemampuan spesies lain untuk bertahan hidup dalam lingkungan alamnya”.

Berdasarkan pada definisi berkelanjutan di atas maka pemahaman berkelanjutan (*sustainability*) mengandung tiga komponen penting yang saling bertautan dengan sosial atau masyarakat (*society*), lingkungan (*environment*) dan ekonomi/*economic* (*benefit*). Berdasarkan pada ketiga komponen penting

tersebut dan faktor yang saling berhubungan maka pertanian dapat dikatakan berkesinambungan apabila :

1. Sistem pertanian mampu memberikan keamanan, kualitas dan jaminan rasa aman kepada masyarakat, dengan mampu memberikan produk berupa pangan sehat dan berkualitas kepada masyarakat dengan keamanan terjamin. Dalam hal ini sistem pertanian berfungsi memberikan jaminan kepada keamanan dan rasa aman kepada masyarakat (*society*) atau konsumen. Jika kondisi tersebut dapat terus dipertahankan maka sistem pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*) dapat dikatakan tercapai.
2. Sistem pertanian mampu menjaga kualitas tanah, air tanah, air permukaan dan atmosfer dengan baik dengan tidak menekan sumber-sumber yang dapat diperbaharui. Sistem pertanian harus mampu menjaga kelestarian lingkungan dan pertanian. Fungsi kedua ini memberikan makna bahwa jika sistem pertanian yang diusahakan oleh masyarakat mampu menjaga lingkungan dari kerusakan maka dapat dikatakan bahwa sistem pertanian tersebut mampu menjadi pertanian berkesinambungan.
3. Sistem pertanian mampu memberikan keuntungan kepada produsen secara adil terhadap barang dan jasa yang dihasilkan; konsumen membayar secara adil bahan pangan; mampu memberikan distribusi keuntungan yang tepat kesemua individu. Seperti apapun usaha pertanian yang dihasilkan tanpa memberikan keuntungan yang baik kepada produsen maka usaha tersebut tidak akan

berkesinambungan. Fungsi ketiga memberikan gambaran bahwa usaha pertanian yang dijalankan harus mampu memberikan kesejahteraan terhadap masyarakat secara ekonomis.

Pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*) dapat didefinisikan sebagai pertanian yang mengarahkan pemanfaatan oleh manusia yang lebih besar dan efisien dalam penggunaan sumberdaya lahan dan SDA, dan seimbang dengan lingkungan, baik dengan manusia maupun hewan. Berdasarkan pada definisi di atas maka usaha dapat dikatakan sebagai kegiatan pertanian berkelanjutan jika memenuhi beberapa persyaratan seperti (1). diversifikasi usaha yang pada dasarnya diperlukan untuk memenuhi kebutuhan keluarga petani; (2). lebih banyak biomassa yang harus digunakan didalam usahatani, sehingga sama sekali tidak tergantung pada penggunaan bahan kimia tambahan seperti pupuk dan bahan kimia lainnya; (3). mampu mempertahankan produksi dan jika memungkinkan dapat meningkatkan produksi; (4). penggunaan hara tanah harus dibatasi dengan mengoptimalkan fiksasi N_2 atmosfer atau sumber lainnya; dan (5). biota tanah harus terus menerus diperbaiki, sehingga menurunkan serangan HPT.

Organisasi pangan dan pertanian dunia (*Food and Agriculture Organisation, FAO*) mendefinisikan pertanian berkelanjutan sebagai : 1. tercukupinya kebutuhan pangan dunia pada saat ini dan dimasa mendatang; 2. tersediannya cukup lapangan kerja, pendapatan layak dan kehidupan manusia sejahtera; 3. memelihara atau meningkatkan kapasitas produksi

sumber daya alam (SDA), tanpa mengganggu siklus dan keseimbangan ekologi, serta tidak merusak identitas sosial budaya komunitas pedesaan; dan 4. sektor pertanian lebih fleksibel menghadapi faktor-faktor alami dan sosial ekonomi yang merusak, serta percaya diri kepada penduduk pedesaan.

Definisi tersebut memiliki makna yang sangat luas menghubungkan manusia dan lingkungan yang ditempatinya dengan tujuan utama membangun kesejahteraan manusia dan keseimbangan ekosistem planet secara berkelanjutan. Pembangunan tidak hanya mengeksploitasi lingkungan guna memenuhi kebutuhan saat ini, tetapi bagaimana manusia mampu mengelola bumi dengan produksi yang mampu mencukupi kebutuhannya, tetapi lingkungan tetap terjaga dengan baik sehingga tetap mampu memenuhi kebutuhan generasi mendatang.

1.2. Pertanian Berwawasan Lingkungan

Guna mencapai tatanan pembangunan berkelanjutan khususnya dalam bidang pertanian maka perlu diperhatikan setiap aspek kegiatan dalam melaksanakan kegiatan usahatani. Beberapa pilar yang perlu diperhatikan dalam penerapan usahatani menuju pembangunan berkelanjutan dan ramah lingkungan, meliputi (1) teknologi yang dipergunakan harus disesuaikan dengan ciri lingkungan dimana usahatani diimplementasikan sehingga usahatani tidak bersifat eksploitatif, destruktif dan polutif, (2) teknologi harus ditujukan untuk optimalisasi produksi dengan mempertimbangkan kemampuan daya dukung lahan

dan keseimbangan ekosistem, (3) teknologi dan sistem produksi memperhatikan kriteria kelestarian lingkungan dan keberlanjutan sistem produksi.

Pertanian berwawasan lingkungan dicirikan dengan beberapa hal berhubungan dengan keberadaan pertanian dan keberlanjutan produksi tanaman pertanian, meliputi (1) produktif, dikontrol oleh keragaman sistem, (2) memadukan tanaman pohon-pangan-pakan-ternak-tanaman spesifik yang lain, (3) bahan tercukupi secara swadaya dan memanfaatkan daur energi, (4) mempertahankan kesuburan tanah dengan prinsip daur ulang, (5) menerapkan teknologi masukan rendah, (6) produksi tinggi, (7) stabilitas pertanaman tinggi, (8) pengolahan tanah secara mekanik dilakukan pada aras sedang, (8) erosi dikontrol secara biologi, (9) petak usahatani dipisahkan menggunakan pagar hidup, (10) menggunakan varietas tahan terhadap HPT, (12) pertanaman campuran, dan (13) tanaman toleran terhadap gulma.

Pertanian ramah lingkungan adalah praktek pertanian yang mempertimbangkan masyarakat sebagai pengendali praktek usahatani harus memiliki kesediaan untuk lebih memperhatikan (*willingness to pay more attention*) terhadap usahatani sehingga kualitas usahatani dapat terjaga dengan baik. Oleh karena itu, tidak mudah bagi masyarakat untuk menjalankan pertanian ramah lingkungan. Berkenaan dengan kondisi tersebut maka ada beberapa hal yang harus selalu menjadi pijakan dalam mempraktekan pertanian ramah lingkungan antara lain 1. penggunaan pupuk anorganik harus lebih bersifat suplementatif dengan efisiensi

tinggi, tepat dosis dan waktu aplikasi guna mencapai target hasil optimal; 2. penggunaan pestisida secara selektif, aman terhadap lingkungan dan hanya diberikan jika sangat diperlukan sekali, sebaiknya mengutamakan pengendalian dengan memanfaatkan kemampuan parasit, predator, antagonis, ketahanan varietas dan keseimbangan ekologis alamiah sebagai “alat dan mekanisme pengendalian”; (3) penerapan pengelolaan tanaman terpadu (PPT) untuk mendapatkan pertumbuhan dan hasil yang optimal, serta peningkatan daya tahan tanaman terhadap HPT; (4) pemanfaatan teknologi asli pedesaan yang telah terbukti efektif; (5) penerapan sistem usahatani bersih dan sehat; dan (6) peningkatan kemampuan lahan untuk memelihara kesuburan fisik-kimiawi secara alamiah. Menerapkan berbagai pijakan tersebut secara optimal diharapkan pencapaian pertanian berwawasan lingkungan dapat optimal.

Usahatani ramah lingkungan dicirikan dengan beberapa karakter antara lain (i) kelestarian keseimbangan ekologi lingkungan, (ii) kelestarian keragaman hayati di atas dan di dalam tanah, dan (iii) pengurangan pembentukan gas rumah kaca asal pertanian. Kelestarian keseimbangan ekologi lingkungan diindikasikan oleh beberapa hal meliputi (1) penerapan usahatani bersih dan sehat, (2) penggunaan pestisida, fungisida secara bijak hanya apabila keadaan mengharuskan, (3) rotasi tanaman dan pertanaman multi spesies, (4) menghindarkan tanaman inang hidup sepanjang tahun, dan (5) penanaman komoditas menyesuaikan dinamika populasi HPT, guna

menghindari terjadinya serangan yang bersifat endemik.

Kelestarian keragaman hayati di atas dan di dalam tanah dapat dicapai dengan penerapan strategi seperti (1) penanaman multi komoditas dalam bentuk tumpangsari, penanaman berjalur berdasarkan komoditas tanaman, (2) penanaman spesies berbeda pada pematang dan pinggiran lahan, (3) tidak melakukan pembakaran sisa tanaman, dan (4) pembatasan penggunaan pestisida, fungisida, herbisida, dan (5) pengembalian residu tanaman dan BO ke dalam tanah.

Sementara itu pengurangan pembentukan gas rumah kaca asal pertanian dapat dilakukan dengan (1) memilih varietas padi yang menghasilkan emisi gas metan rendah, (2) pengelolaan pengairan dengan penggenangan dan pengeringan tanah secara berselang seling, dan (3) penggunaan urea tablet yang ditanamkan ke dalam tanah untuk mengurangi terbentuknya emisi gas N_2O .

Produktivitas usahatani berwawasan lingkungan dipengaruhi oleh beberapa elemen meliputi (1) kualitas tanah, (2) ekonomi air, dan (3) potensi bio-ekologi. Penjelasanannya adalah sebagai berikut bahwa (1) keseimbangan iklim mikro baik, (2) kandungan humus tinggi, (3) kandungan biomassa awal dan humus tinggi, (4) kapasitas tukar kation tinggi, (5) kejenuhan ion baik, (6) nilai pH menguntungkan, (7) pelindian terbatas, (8) penyerapan air oleh tanaman dan pengikatan oleh lengas tinggi, (9) tidak pernah tergenang, (10) evapotranspirasi rendah, (11) nisbah

evaporasi /transpirasi/asimilasi rendah, (12) terdapat keseimbangan organisme menguntungkan dan merugikan, (13) kompleksitas tinggi, (14) keragaman habitat besar, (15) kandungan BO tanah baik (hidup dan mati), dan (16) perlindungan terhadap erosi makro dan mikro.

Prinsip metodologi (1) terkontrol, keragaman produktif, (2) pergiliran usahatani, dan (3) pengendalian erosi secara biologi. Prinsip ini dapat diperoleh melalui (1) komponen hutan dalam lingkungan, (2) ditanam lebih banyak jenis pohon, (3) dipilih jenis tanaman yang multiguna, (4) usaha pertanian-peternakan terpadu, (5) tanaman pakan, (6) rotasi pemupukan, (7) pengendalian erosi menggunakan rumput pakan dan tanaman pagar, (8) pembagian petak pertanaman menggunakan pagar, (9) penanaman menurut kontur, (10) pertanaman campuran, (11) pergiliran tanaman, (12) pemberoan secara intensif (musiman), (13) dikontrol tanaman toleran terhadap gulma, (14) pemulsaan, (15) kompos, (16) diversifikasi tanaman pangan, (17) adaptasi varietas lokal, (18) pembatasan pemupukan dari luar usahatani, (19) pembatasan penggunaan pestisida

1.3. Usahatani Ramah Lingkungan

Model usahatani ramah lingkungan dapat diaplikasikan sebagai (1) sistem usahatani berwawasan konservasi tanah seperti pembuatan teras (*terassering*), pengelolaan BO, tanaman lorong (*alley cropping*), dan rehabilitasi lahan; (2) sistem pertanian berkelanjutan dengan masukan eksternal rendah dalam rangka

meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dengan penggunaan pupuk hijau; (3) wanatani (*agroforestry*) diimplementasikan untuk pengendalian erosi, pelestarian keanekaragaman hayati, dan konservasi C-organik.

Guna memperoleh hasil yang optimal pada penerapan sistem pertanian berkelanjutan maka beberapa persyaratan harus diimplementasikan, antara lain (1) penentuan pilihan komoditas adaptif sesuai agroklimat dan musim tanam; (2) penggunaan varietas unggul adaptif dan benih bermutu tinggi; (3) pola tanam, rotasi tanaman dan waktu tanam dipilih secara cermat untuk menjamin kesehatan dan kesuburan tanaman, mengurangi resiko serangan HPT, serta memanfaatkan kelembaban tanah secara efisien; (4) pengelolaan tanah, air dan hara secara optimal; (5) pengendalian HPT; dan (6) penanganan panen dan pasca panen secara tepat untuk mendapatkan produk berkualitas tinggi.

Guna memenuhi suplai kebutuhan BO, maka salah satu strategi yang perlu dipertimbangkan dan dipergunakan adalah peningkatan biomasa. Terdapat beberapa prinsip yang harus dipertimbangkan dalam kegiatan usahatani dengan meningkatkan peran biomassa meliputi (1) melalui PO dihasilkan makanan dengan kualitas nutrisi tinggi dan dalam jumlah yang cukup, (2) melaksanakan interaksi bersifat sinergisme dengan sistem dan daur ulang alami yang mendukung semua bentuk kehidupan yang ada, (3) mendorong dan meningkatkan daur ulang dalam sistem usahatani dengan mengaktifkan kehidupan biologi, (4)

memelihara dan meningkatkan kesuburan tanah, (5) memanfaatkan sumber daya terbarukan yang berasal dari sistem usahatani, (6) memanfaatkan bahan-bahan yang mudah didaur ulang, (7) menciptakan keadaan yang memungkinkan ternak hidup sesuai dengan habitatnya, (8) membatasi terjadinya pencemaran, (9) mempertahankan keanekaragaman hayati, (10) memberikan jaminan kepada produsen sesuai HAM, dan (11) mempertimbangkan dampak yang lebih luas terhadap kondisi lingkungan fisik dan sosial.

1.4. Pengelolaan Tanah Berkelanjutan

Dalam dunia pertanian tanah memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung keberlangsungan pertanian, oleh karena itu dalam mengusahakan pertanian manusia harus lebih fokus sehingga kondisi tanah tidak terabaikan. Hal ini mengingat hubungan antara tanah dan tanaman tidak dapat terpisahkan dikarenakan keduanya saling memiliki ketergantungan. Dari definisi tanah dalam pertanian yaitu bahwa tanah adalah tempat berjangkarnya akar tanaman dan sebagai sumber dan cadangan nutrisi bagi tanaman maka untuk memperoleh penampilan tanaman yang optimal, keberadaan tanah harus mampu mendukung penampilan tanaman baik secara fisik, kimia maupun biologis. Sebaliknya tanaman sebagai biomassa dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kesuburan tanah baik secara fisik, kimia maupun biologis. Maka dari itu, guna mendapatkan hasil pertanian yang optimal pengelolaan tanah harus dilakukan dalam rangka mencapai penampilan tanaman optimal tidak hanya dari

kuantitas tetapi juga dalam hal kualitas, untuk itu tetap menjaga lingkungan dalam keseimbangan merupakan hal wajib yang harus dipertimbangkan dan dikerjakan dalam menuju ke pertanian berkelanjutan.

Pengelolaan tanah berkelanjutan dipengaruhi oleh beberapa aspek meliputi 1. aspek biofisik yaitu meningkatkan kondisi fisik dan biologi tanah untuk produksi tanaman dan keragaman hayati (*biodiversity*); 2. aspek sosial budaya yaitu sesuai dengan kebutuhan manusia secara sosial dan budaya; dan 3. aspek ekonomi yaitu melakukan pengelolaan tanah berkelanjutan harus mencakup semua aspek penggunaan tanah. Untuk itu, dalam pengelolaan tanah berkelanjutan beberapa ilmu menjadi dasar antara lain ilmu tanah, budidaya pertanian, ekonomi, geografi dan sosiologi.

Komponen dalam sistem pertanian berkelanjutan meliputi pengelolaan unsur hara tanah, rotasi tanaman, karakteristik ekologi dan agronomi sistem penanaman inovatif, pengembalaan dan peranan ternak. Terkait dengan siklus unsur hara dalam sistem pertanian berkelanjutan beberapa hal menjadi perhatian secara penuh meliputi : 1. unsur hara yang diserap oleh tanaman harus datang dari dalam tanah, 2. terbentuk bahan organik (BO) tanaman berkualitas baik secara kuantitas maupun kualitas produksi, dan 3. residu tanaman sebaiknya dikembalikan kedalam tanah guna memenuhi kebutuhan nutrisi untuk tanaman berikut.

Rotasi tanaman dalam sistem pertanian berkelanjutan berhubungan dengan keterkaitannya dengan keberagaman biologi tanah, sehingga hama dan

penyakit tanaman (HPT) dan tanah dapat dikendalikan dengan sistem pengendalian terpadu dengan penggantian species tanaman atau rotasi tanaman. Melalui penggantian tanaman atau rotasi tanaman diharapkan mampu memutus siklus HPT sehingga dapat mencegah tanaman dari kerusakan karena HPT. Sementara itu berhubungan dengan sistem pertanian inovatif dalam praktek pertanian berkelanjutan diusahakan untuk menekan atau bahkan menghilangkan sama sekali masukan berupa bahan-bahan kimia sintetis dari luar. Sedangkan penggembalaan dan peranan ternak dalam pertanian berkelanjutan berhubungan dengan beberapa hal seperti 1. integrasi dalam pertanian berkelanjutan dapat dilakukan dengan bidang peternakan dan perikanan; 2. integrasi peternakan dan perikanan diharapkan dapat membantu meningkatkan efisiensi siklus unsur hara tanaman; 3. memahami dan menyadari bahwa ternak adalah komponen yang sangat penting dalam mendukung implementasi pertanian organik (PO), mengingat ternak berpotensi sebagai pensuplai BO yang efektif yaitu berupa kotoran padat dan urin; 4. usahatani dengan mengoptimalkan peranan ternak dalam sistem akan mampu menambah pendapatan petani melalui usahatani yang diusahakan.

Pertanian berkelanjutan dapat dipraktekan dengan berbagai metoda bertani atau usahatani seperti 1. pertanian campuran; 2. pertanian dengan pengelolaan minimum; 3. sistem pertanian terintegrasi (SPT) dengan berbagai model seperti agroforestry, agropastura, silvopastura, agrosilvopastura; 4. praktek pertanian dengan input dari luar rendah (*low external*

input sustainable agriculture, LEISA); pengembangan model agrosilvopastura menjadi sistem tiga strata (STS) dan 5. pertanian organik dengan menggunakan pupuk organik dan memanfaatkan sumber BO yang terdapat dalam sistem tersebut.

BAB 2

PERTANIAN ORGANIK

2.1. Pengertian Pertanian Organik

Pertanian organik (PO) dapat didefinisikan sebagai suatu sistem produksi pertanian berasas pada daur ulang unsur hara secara hayati, melalui penggunaan limbah tanaman dan ternak, serta limbah lainnya yang mampu memperbaiki status kesuburan dan struktur tanah. Mengacu pada definisi tersebut maka PO mencakup beberapa hal meliputi 1. hukum pengembalian (*law of return*); 2. memberikan makanan pada tanah yang selanjutnya secara mandiri tanah menyediakan makanan untuk tanaman (*feeding the soil that feeds the plant*); 3. tidak memberikan makanan secara langsung pada tanaman; dan 4. membangun kesuburan tanah dengan strategi yang sesuai untuk praktek PO yaitu dengan memindahkan unsur hara secepatnya dari sisa tanaman, kompos, dan pupuk kandang menjadi biomassa tanah yang akan mengalami dekomposisi menjadi hara dalam larutan tanah.

Pada dasarnya kegiatan PO hanya memanfaatkan BO dalam memperbaiki kesuburan tanah dan penyediaan nutrisi bagi tanaman. Tidak sedikitpun bahan kimia dapat menyentuh kegiatan PO. Oleh karena itu, dalam usaha PO sebenarnya tidak dikenal adanya istilah semi PO. Pada kenyataannya praktek di lapangan banyak ditemukan semi PO, tentu semi PO

bukan merupakan usaha PO tetapi *claimed* PO dikarenakan pada usaha semi PO produsen masih memberikan input bukan dalam bentuk BO sehingga produksi tidak dapat tersertifikasi oleh badan sertifikasi PO baik nasional, regional maupun internasional.

2.2. Bahan organik dalam Pertanian Organik

Bahan organik merupakan komponen utama dalam usaha PO, mengingat BO memiliki fungsi sangat penting dalam mendukung tercapainya usaha PO secara optimal. Peranan BO dalam kegiatan PO meliputi : 1. sebagai sumber unsur hara tanaman (hampir semua unsur hara yang diperlukan tanaman terkandung dalam BO); 2. mampu memperbaiki kondisi fisik, kimia dan biologi tanah dengan mengemburkan tanah (fisik-struktur tanah-aerasi); 3. memiliki kemampuan daya simpan air yang tinggi; 4. menjadi sumber kapasitas pertukaran kation; 5. mampu meningkatkan aktivitas biologi tanah; 6. mampu mengikat logam berat (Al dan Fe) pada tanah masam; dan 7. mampu menurunkan tingkat pencucian hara (*leaching*) sehingga dapat mempertahankan tanah dari kehilangan unsur hara yang berlebihan atau dengan kata lain BO mampu mempertahankan status unsur hara tanah.

Sistem PO merupakan salah satu sistem yang dianggap sehat didalam menyediakan kebutuhan pangan, dan dalam mencapai kelestarian pertanian dan lingkungan. Oleh karena itu, penerapan PO diharapkan mampu memperbaiki keberadaan lahan pertanian sehingga mampu meningkatkan kualitas hasil tanaman, dan mampu memperbaiki lingkungan yang telah

terpolusi. Disamping kelebihan dan keuntungannya penerapan PO juga memiliki berbagai kelemahan, antara lain (i) rendahnya produktivitas tanaman secara kuantitas, (ii) tingginya penggunaan tenaga kerja, (iii) sulitnya pemasaran produk hasil PO, dan (iv) masih kurangnya dukungan pemerintah terutama di negara-negara sedang berkembang. Dalam rangka mencapai penampilan optimal maka kelemahan-kelemahan tersebut harus ditanggulangi dengan menerapkan tepat strategi usaha PO.

Pemanfaatan BO tersedia secara efektif dan efisien, jaminan atas produksi dan pemilihan komoditas harus menjadi prioritas utama dalam menjalankan usaha PO. Edukasi tentang manfaat PO terhadap masyarakat harus dilakukan terus menerus bagi tercapainya pertanian berkelanjutan secara optimal. Dalam hal ini peranan pemerintah sangat diperlukan untuk terus mengkampanyekan *back to nature* secara berkelanjutan. Dukungan finansial atau modal kepada produsen melalui usaha kecil dan menengah juga harus terus diberikan. Tanpa penerapan strategi yang tepat tidak menutup kemungkinan usaha PO tidak akan berkembang dengan baik, konsekuensinya pertanian berkelanjutan akan sulit dicapai.

Berbagai informasi menunjukkan bahwa kegiatan PO bukan merupakan kegiatan pertanian yang baru tetapi telah diusahakan oleh manusia di seluruh dunia jauh sebelum revolusi hijau walaupun secara ilmiah penelitian PO baru dimulai sekitar 200 tahun yang lalu. Pertanian berkesinambungan termasuk salah satu modelnya adalah PO diterapkan berdasarkan pada

kenyataan bahwa kondisi kesuburan tanah, kualitas tanaman dan lingkungan semakin menurun. Tanpa usaha mengembalikan kondisi tersebut ditakutkan kegiatan pertanian tidak dapat berkesinambungan. Padahal pada kenyataan pembangunan pertanian harus diprioritaskan guna memenuhi kebutuhan pangan yang secara langsung berdampak pada pembangunan kesehatan manusia, dan terus dikembangkan dengan memperhatikan kemungkinan bahaya serius yang mungkin timbul dikarenakan penggunaan bahan-bahan kimia yang dapat bersifat racun.

Pada kenyataannya kegiatan pertanian pada saat ini banyak yang kurang mempertimbangkan kelestarian / kesinambungan pertanian dan lingkungan. Hal ini dapat dilihat atau dipelajari dari bagaimana aktivitas pertanian yang berdampak negatif terhadap lingkungan yang lebih luas sehingga tidak mampu memberikan keuntungan yang terbaik terhadap masyarakat dan lingkungan. Fenomena ini dapat diperhatikan dari masih banyaknya permasalahan pertanian dan polusi lingkungan yang terus menjadi perdebatan.

Penerapan PO ditandai dengan tidak digunakannya tambahan bahan-bahan kimia kedalam sistem pertanian tetapi input diberikan sebagai BO alami. Sebagai BO, kotoran ternak memegang peranan penting dalam menjalankan usaha PO. Kotoran ternak berfungsi sebagai media pemindahan nutrisi dari tanaman yang dikonsumsi oleh ternak kembali kedalam sistem pertanian. Melalui proses mineralisasi kotoran ternak yang dikembalikan kedalam sistem pertanian

akan melepaskan berbagai mineral misalnya mineral-N dimana mineral-N segera tersedia bagi tanaman.

Disamping kotoran ternak, tanaman leguminosa juga sering menjadi tumpuan utama dalam menunjang kebutuhan nutrisi dalam sistem PO. Mengingat tanaman leguminosa mampu mensuplai nitrogen kedalam sistem pertanian melalui kemampuannya dalam menfiksasi nitrogen udara ($\text{fik-N}_{\text{atm}}$). Pengembalian residu tanaman leguminosa kedalam sistem pertanian, proses mineralisasi akar dan bintil akar yang telah mati juga mampu melepaskan mineral-N kedalam tanah sehingga mampu memperbaiki kesuburan tanah. Bukti bahwa tanaman leguminosa mampu melakukan $\text{fik-N}_{\text{atm}}$ dan mentransfernya kedalam tanah guna dimanfaatkan oleh tanaman disekitarnya sudah banyak dibuktikan. Demikian juga bukti bahwa tanaman leguminosa juga mensuplai N melalui hasil mineralisasi residu tanaman dan bintil akar yang mati didalam tanah juga telah ditemukan dalam berbagai laporan penelitian terdahulu.

Penggunaan BO alam seperti kotoran ternak, residu tanaman, tanaman leguminosa dalam sistem PO bukan berarti tidak menimbulkan permasalahan. Penanganan kotoran ternak yang kurang baik sering menimbulkan polusi lingkungan terutama melalui proses volatilisasi. Oleh karena itu, banyak hal yang harus diperhatikan dalam pemanfaatan kotoran ternak pada sistem PO. Bentuk, dosis serta waktu aplikasi kotoran ternak sangat menentukan tingkat efisiensi penggunaan kotoran ternak pada usaha PO. Disamping itu, penggunaan kotoran ternak pada sistem PO

dianggap kurang ekonomis mengingat perlunya tempat penyimpanan serta peralatan khusus terutama bila kotoran ternak diaplikasikan dalam bentuk cair.

Penanaman tanaman leguminosa sebagai pupuk hijau (*green manure*, GM) juga sering dianggap kurang ekonomis, karena (i) memerlukan pengolahan tanah dan benih yang baik, (ii) padat tenaga kerja, (iii) kesuburan tanah yang sudah baik, dan (iv) mengkonsumsi air sangat banyak. Secara ekonomis pengadaan GM memerlukan biaya yang sangat tinggi, dimana persoalan biaya tinggi sering menjadi salah satu penghambat penerapan GM dalam sistem PO.

Peningkatan kesuburan tanah pada usaha PO juga dapat dicapai dengan rotasi tanaman leguminosa – non-leguminosa. Didalam sistem rotasi diharapkan tanaman leguminosa mampu mensuplai mineral-N kedalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman non-leguminosa. Namun demikian, pada saat pupuk atau BO lainnya ditambahkan dalam sistem rotasi, tanaman non-leguminosa akan berpengaruh terhadap status mineral-N tanah, dan kondisi ini akan menekan proses fik-N_{atm} oleh tanaman leguminosa pada rotasi berikutnya.

Banyak faktor menjadi penghambat berkembangnya usaha PO di negara-negara sedang berkembang, antara lain : (i) masih kurangnya dukungan pemerintah dalam memberikan fasilitas, (ii) masih rendahnya animo konsumen dalam menyerap produk usaha PO, (iii) belum banyak tersedia pasar-pasar khusus produk PO, dan (iv) masih rendahnya kesadaran masyarakat terhadap kelestarian pertanian-

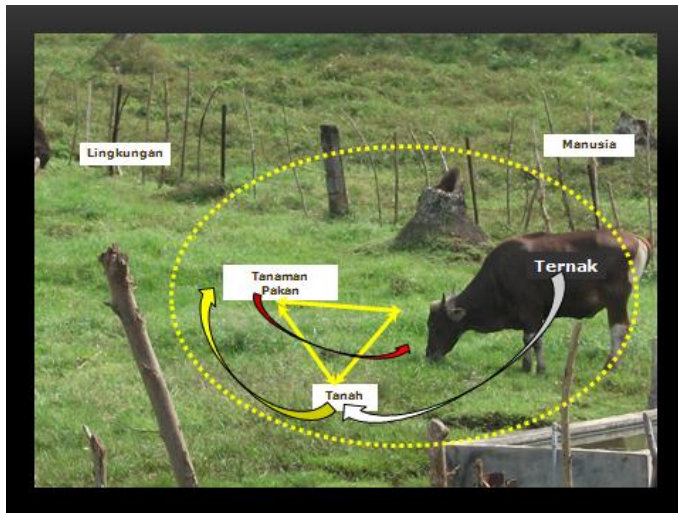
lingkungan. Sebaliknya, perhatian pemerintah di negara-negara maju terhadap usaha PO sangat besar, dan kesadaran masyarakat terhadap lingkungan juga sangat besar sehingga kegiatan PO di negara-negara maju sangat pesat.

Produksi dari usaha PO dipercaya merupakan produk pertanian yang aman mengingat dalam beberapa hal, PO menerapkan hanya BO dalam meningkatkan kualitas tanah dan lingkungan. Produk pertanian yang aman dicirikan dengan beberapa hal antara lain (1) tidak mengandung senyawa racun alamiah membahayakan kesehatan seperti asam sianida (HCN), (2) tidak mengandung senyawa kimia hasil metabolisme cendawan atau bakteri mengkontaminasi produk, seperti aflatoxin, (3) tidak mengandung residu zat kimia bersifat racun berasal dari pupuk, pestisida fungisida, herbisida, (4) memenuhi persyaratan aman berdasarkan Surat Kesepakatan Bersama (SKB) tiga kementerian yaitu kementerian pertanian, kehutanan dan lingkungan hidup, serta kesehatan, jika tanaman berasal dari varietas transgenik, (5) kesegaran produk pertanian, tidak busuk, tidak rusak dan tidak cacat.

Berdasarkan pada sangat pentingnya keberlangsungan pertanian dan lingkungan bersih, maka mau tidak mau masyarakat dan pemerintah harus bekerjasama sekuat tenaga guna mencapai keharmonisan pertanian-lingkungan sehingga makna *sustainability* dapat dicapai dengan baik.

Ekosistem pastura merupakan contoh yang sangat jelas untuk mempelajari hubungan antar komponen dalam sistem. *Mastering* ekosistem pastura dapat

menjadikan jaminan dalam menjalankan pertanian PO menuju ke pertanian berkesinambungan. Hubungan tanaman, tanaman dan ternak dalam ekosistem pastura dapat dijelaskan seperti pada Ilustrasi 2.1.



Ilustrasi 2.1. Hubungan tanaman, tanah dan ternak dalam ekosistem pastura

Hubungan ketiga komponen di atas tanah-tanaman-ternak (T3) dapat dijelaskan bahwa pada dasarnya tanaman dapat tumbuh dikarenakan dukungan tanah baik sebagai tempat berjangkarnya akar tanaman dan sebagai sumber unsur hara bagi tanaman. Sementara itu, tanaman termasuk tanaman pakan dimanfaatkan oleh ternak untuk keperluan hidup dan produksi, dan ternak menghasilkan kotoran yang didepositkan kembali kedalam tanah sebagai BO. Siklus tersebut terjadi atau berjalan terus menerus atau berkelanjutan sehingga dalam usahatani PO

pemanfaatan BO dari kotoran ternak akan sangat mendukung tercapainya usahatani PO secara optimal.

2.3. Peranan Biota Tanah dalam Pertanian Organik

Dalam kehidupan sehari-hari sering dimaknai bahwa tanah adalah benda mati, tetapi sebenarnya di dalam tanah terdapat berbagai makhluk hidup yang berperan dalam sistem lingkungan tanah tersebut. Kehidupan di dalam tanah disebut sebagai bio tanah (biota) yang antara lain terdiri atas berbagai jenis MO seperti bakteri, aktinomisetes, jamur atau fungi, alga, protozoa dan kelompok jenis makrofauna seperti nematoda, cacing tanah dan macam-macam mikro dan makro antropoda.

Di dalam tanah baik mikro maupun makro organisme berperan dalam kelangsungan kehidupan. Makro fauna berperan dalam banyak hal seperti sebagai penyubur tanah dengan cara memotong BO dan mencampur dengan tanah, membentuk agregat dan struktur tanah, sehingga sebenarnya pengolahan tanah menjadi tidak mutlak diperlukan apabila peranan biologi tanah sangat efektif untuk dekomposisi BO. Berkenaan dengan keberadaan mikro dan makro organisme (MO) tanah, maka tanah bukanlah benda alam yang mati tetapi sangat dinamis dimana interaksi antar sifat biologi dan biokimia tanah terjadi walaupun intensitas tergantung pada BO tanah. Dinamika biota tanah mampu memperbaiki fisik tanah dan mengatur dekomposisi tanah.

Mikroorganisme tanah memiliki peran sebagai mesin pengatur daur-hara, menjadi hara tersedia, dan

cadangan, dan melaksanakan sintesis BO stabil (humus) sebagai penyimpan hara dalam memperbaiki struktur tanah.

Bakteri adalah sebagai kelompok yang paling dominan di dalam tanah, berkembang sangat baik pada daerah perakaran atau zone rhizofe, tumbuh kembang di tanah yang ditanami, dan bersifat sebagai dekomposer heterotrof.

Berbagai jenis terdapat pada tanah antara lain *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Nitrosomonas*, *Pseudomonas* dan *Bacillus*. Bakteri-bakteri tersebut memiliki peran masing-masing, seperti *Rhizobium* berperan dalam fiksasi N_{atm} secara simbiosis. Dalam simbiosisnya dengan tanaman leguminosa bakteri *Rhizobium* mampu mensuplai N berkisar antara 100-300 kg N/ha. Disamping simbiosis fiksasi N_{atm} juga dihasilkan melalui non-simbiosis oleh beberapa jenis bakteri seperti *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Clostridium*. Kedua jalur ini, simbiosis dan non-simbiosis secara bersama-sama mampu mensuplai hampir 70% N ke dalam sistem tanah-tanaman.

Aktinomicetes merupakan MO pengurai sisa tanaman dan hewan mati di tanah atau kompos heterotropik. Beradaptasi pada kondisi aerob relatif panas, tanah netral sampai alkalin tetapi tidak asam, memiliki hifa panjang dan tipis, sehingga mampu menembus tanah mencari sisa tanaman. Berperan dalam mendekomposisi selulosa, hemiselulosa, kreatin, kitin, asam oxalat. Populasi di dalam tanah tinggi pada saat terjadi proses dekomposisi yaitu mencapai 200^6 *Coloni Form Unit (CFU)* /g tanah.

Jamur atau fungi merupakan MO tanah bersifat saprofit dan berperan sebagai pengurai semua residu dan komponen tanaman (lignin, selulosa), serta dapat bersimbiosis dengan akar tanaman, membentuk struktur mikoriza yaitu sejenis jamur berperan sebagai pengekstrak fosfat, sehingga fosfat yang tidak tersedia bagi tanaman dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

Ganggang membentuk koloni dan terkonsentrasi di permukaan tanah lembab, termasuk ganggang antara lain lumut, ganggang hijau dan sianobakteri mampu mengikat N udara. Dapat ditemukan pada hampir semua jenis tanah tetapi populasi rendah dibanding bakteri, aktinomisetes dan jamur.

Makro organisme tanah dapat dikelompokkan menjadi golongan cacing tanah, rayap dan antropoda yang lain. Ketiga kelompok makro organisme tanah tersebut memiliki peran masing-masing di dalam tanah.

Cacing berperan dalam peningkatan kesuburan tanah melalui pembuatan liang (kanal) yang berfungsi pada drainase, aerasi, dan pengatungan, menghaluskan BO sehingga laju proses mineralisasi dapat berjalan lebih lancar. Meningkatnya laju mineralisasi berujung pada peningkatan ketersediaan hara tanah seperti Ca, Mg, K, dan P dapat dipertukarkan (P_{dd}).

Cacing tanah beraktivitas pada zone perakaran yaitu berkisar antara permukaan tanah sampai kedalaman 20 cm. Jumlah tinggi pada tanah pertanian lembab yang mengandung banyak BO. Penggunaan cacing sampai dengan 360 kg/ha pada lahan dengan tanaman bergilir seperti padi-kacang-padi terbukti mampu meningkatkan laju mineralisasi N dan

memperbaiki agregasi tanah. Produksi tanaman meningkat 42%, 78% dan 50% berturut-turut pada tanam pertama, kedua, dan keempat, sementara itu pada tanam ketiga tidak terjadi peningkatan produksi tanaman.

Cacing juga dipergunakan dalam proses pengomposan, dimana teknik pengomposan menggunakan cacing dikenal sebagai vermi kompos. Teknik vermi kompos perlu diadopsi dalam rangka memperbaiki kesuburan tanah pada skala besar. Di Indonesia teknik ini pernah diadopsi untuk mengatasi masalah sampah kota.

Rayap merupakan makro fauna yang dominan khususnya pada tanah tropika. Aktivitas melalui pembentukan bukit rayap, sarang rayap, liang rayap terbukti mampu memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah. Partikel tanah terpilih, diangkut, disusun, direkatkan bersama kemudian dicampur dengan bahan organik. Aktivitas ini mampu memperbaiki kesuburan tanah dan perkolasi. Hasil kerja rayap sangat kaya fraksi halus lempung, debu dan pasir halus, total N dan BO tinggi, KPK, Ca dan Mg tinggi.

Banyak jenis antropoda lain juga berperan positif seperti rayap. Semua organisme di dalam tanah mempunyai pengaruh yang baik terhadap sifat fisik tanah, pembentukan humus, aerasi tanah. Bahan organik merupakan makanan bagi mikrobia dan antropoda. Kelimpahan populasi antropoda lain tergantung pada curah hujan dan suhu lingkungan.

3.4. Siklus Nutrisi Biota -Tanah

Siklus nutrisi di dalam tanah meliputi aliran hara, proses mineralisasi, faktor percepatan dekomposisi, aliran dan konversi hara, kelarutan unsur hara dan kehilangan hara.

Aliran hara meliputi dinamika BO terkait dengan input karbon yang bersumber dari residu tanaman dan hewan di dalam tanah dengan pengatur daur hara adalah biota. Unsur karbon menjadi sumber energi biota yang berperan sebagai konsumen primer seperti protozoa dan nematoda, sementara itu konsumen tersier misalnya kumbang tanah. Populasi biota sangat beragam seperti bakteri 10^{14} , jamur 10^9 , nematoda 10^7 , cacing tanah 10^2 per m^2 .

3.4.1. Mineralisasi-immobilisasi

Mineralisasi adalah proses pelapukan BO menjadi bahan anorganik yang tersedia bagi tanaman. Mineralisasi merupakan proses transformasi dimana NH_4^+ atau NH_3 dilepas oleh MO tanah. Proses mineralisasi sangat rumit dan tergantung pada aktivitas MO tanah non-spesifik heterotropik baik dalam kondisi aerobik maupun anaerobik. Selama proses mineralisasi biota berperan dalam mendekomposisi BO dan melepas hara tersedia bagi tanaman. Selama proses mineralisasi terjadi penggunaan energi dimana selama proses sekitar 70% C dilepas ke udara. Sementara itu, unsur hara tetap berada di dalam tanah. Energi berasal dari produktivitas primer dan lepas melalui respirasi organisme selama proses mineralisasi.

Mineralisasi terjadi baik dengan adanya penambahan residu baru atau yang sudah ada, BO dengan umur seragam dan level sifat berbeda terdegradasi. Mineralisasi kasar adalah total pelepasan NH_4^+ melalui aktivitas MO, sebelum adanya imobilisasi kembali ke biomasa tanah. Sementara itu, mineralisasi netto adalah perbedaan antara laju mineralisasi kasar dengan imobilisasi. Dalam keadaan sebaliknya yang terjadi bukan mineralisasi netto tetapi imobilisasi netto.

Proses mineralisasi-imobilisasi terjadi secara bersamaan dan konstan, dan proses ini dikenal sebagai proses balik mineralisasi-imobilisasi yaitu sebagai proses transfer N mineral kedalam BO dan pelepasan N yang diimobilisasi kembali ke dalam pool organik dimana proses ini berlangsung terus menerus. Asumsi dasar proses balik mineralisasi-imobilisasi adalah bahwa imobilisasi terjadi dari pool anorganik (NH_4^+ atau NO_3^-).

Beberapa faktor berpengaruh terhadap proses balik mineralisasi-imobilisasi, antara lain kelembaban, aerasi, suhu, rasio C/N dan pH tanah. Kelembaban tanah secara langsung berpengaruh terhadap aerasi, dan keduanya mempengaruhi proses mineralisasi-imobilisasi. Disamping itu, kuantitas dan kualitas BO juga sangat berpengaruh terhadap laju mineralisasi, sehingga rasio C/N merupakan aspek penting dalam proses mineralisasi. Carbon merupakan unsur yang sangat penting sebagai sumber energi bagi MO sedangkan N berfungsi dalam proses sintesis. Beberapa faktor seperti iklim, pengolahan tanah, jumlah dan tipe

residu serta kotoran ternak berpengaruh terhadap laju mineralisasi.

3.4.2. Peran Rasio C/N pada Dekomposisi Residu

Rasio C/N sering dipergunakan untuk memprediksi berlangsungnya proses mineralisasi atau imobilisasi. Rasio C/N yang tinggi (30/1) pada BO cenderung terjadi proses imobilisasi, hal ini disebabkan karena MO sangat memerlukan N untuk mengasimilasi C. Sebaliknya rasio C/N 20/1 cenderung akan terjadi proses mineralisasi dan rasio C/N antara 30/1 dan 20/1 akan terjadi keseimbangan antara proses mineralisasi dan imobilisasi. Pelepasan N dari proses dekomposisi BO tidak hanya tergantung kepada rasio C/N, tetapi beberapa faktor lain juga berpengaruh terhadap pelepasan N, antara lain tipe kandungan C-organik pada BO dan laju dekomposisi.

Bahan organik seperti residu tanaman dan akar, serta jerami tanaman mengandung elemen yang dapat dikelompokkan menjadi elemen mudah, lambat dan sulit didekomposisi. Laju dekomposisi sangat dipengaruhi oleh kandungan lignin dalam BO, dimana BO dengan kandungan lignin tinggi mempunyai laju dekomposisi lambat, dan sebaliknya. Bahan organik dengan kandungan elemen utama mudah didekomposisi akan terlihat manfaat langsung pada tanaman, sedangkan BO dengan kandungan elemen utama sulit didekomposisi biasanya pengaruhnya akan terlihat pada tanaman berikutnya.

Tingkat dekomposisi BO dikelompokkan berdasar pada susbtrat yang terkandung didalamnya.

Gula, pati, lemak dan protein merupakan substrat mudah terdekomposisi dimana dapat dikomposisi dalam beberapa minggu pertama setelah inkorporasi BO kedalam tanah. Hemisellulosa dan selulosa termasuk substrat lambat terdekomposisi, dimana dapat didekomposisi oleh actinomycetes dan jamur dalam waktu beberapa bulan sampai beberapa tahun. Lignin dan lignosellulosa adalah substrat lambat terdekomposisi, dimana keduanya dapat didekomposisi oleh jamur setelah 10 hingga 100 tahun.

BAB 3

KONTRIBUSI FIKSASI NITROGEN

Telah diketahui bahwa tanaman leguminosa memiliki kemampuan membentuk simbiosis dengan rhizobium spp., dimana simbiosis tersebut mampu melakukan fik- N_{atm} . Terbukti bahwa baik pada pertanaman monokultur leguminosa maupun campuran leguminosa-non-leguminosa, tanaman leguminosa mampu mempertahankan dan memperbaiki ketersediaan N tanah melalui fik- N_{atm} . Mempelajari secara seksama proses fik- N_{atm} pada sistem pertanian yang melibatkan penerapan tanaman leguminosa diharapkan mampu meningkatkan pemahaman tentang fik- N_{atm} dalam sistem pertanian.

3.1. Sistem Pertanaman

Dikenal dua sistem pertanaman yaitu monokultur dan campuran. Monokultur adalah penanaman satu jenis tanaman pada sebidang tanah. Setiap sistem pertanaman memiliki dampak positif dan negatif. Sistem pertanaman monokultur banyak berdampak negatif meliputi (1) penurunan biomassa dan hasil tanaman, (2) tidak cukup residu dan limbah tanaman untuk didaur ulang dan jika pupuk organik diabaikan maka dalam jangka panjang akan berpengaruh pada kesehatan tanah dan menghilangkan kesempatan keberlanjutan, (3) tanaman mengalami kerugian karena

serangan HPT, dimana pemberantasan HPT dengan racun kimia menyebabkan polusi, (4) jumlah biota tanah rendah dan tidak seimbang, dan (5) penurunan hara pada kedalaman tertentu sehingga ketergantungan pada pupuk kimia dan bahan kimia pertanian tinggi.

Sistem pertanian campuran adalah penanaman dua atau lebih jenis tanaman pada satu bidang tanah yang sama. Oleh karena itu, sistem pertanian campuran memiliki sifat berkelanjutan, sehingga mampu mendukung pertanian keberlanjutan antara lain (1) diversifikasi untuk memenuhi kebutuhan keluarga petani, (2) lebih banyak biomassa yang digunakan sehingga tidak tergantung pada pupuk kimia, (3) produksi dipertahankan atau ditingkatkan, (4) penambahan hara dibatasi, dengan utilisasi penyematan N dari fik- N_{atm} dilaksanakan apabila memungkinkan, dan (5) produksi dipertahankan atau ditingkatkan.

Sistem pertanian terintegrasi (SPT) melalui percampuran tanaman dengan ternak merupakan salah satu contoh sistem PO dengan ciri khas bahwa (1) daur ulang dipertahankan dan ditingkatkan, (2) lingkup PO ditingkatkan, (3) produktivitas diperbaiki; kesehatan tanah lebih baik, (4) produksi dianekaragamkan dengan memanfaatkan residu dan limbah, (5) menggantikan biomassa dalam jumlah banyak, sisa tanaman dan kotoran ternak didaur lebih, dan (6) diperlukan tenaga kerja lebih banyak sepanjang tahun. Sistem usahatani seperti ini biasanya kurang berkembang mengingat (1) merupakan pertanian subsistem, (2) hanya skala keluarga petani, (3) sumber daya terbatas, keluaran

rendah, (4) tanaman pangan/ternak kecil atau tidak ada ternak sama sekali, dan (5) tidak ada bantuan/subsidi dan keberlanjutan berada pada posisi terendah. Namun demikian sistem usahatani seperti ini dapat berkembang jika dipraktekan dengan penerapan (1) skala besar dan komersial, (2) spesifik dan berorientasi pasar, (3) tenaga kerja rendah, kemungkinan keluaran besar, (4) diversifikasi tanaman dan mengusahakan ternak, dan (5) dibantu subsidi sehingga luasan lahan untuk usaha meningkat.

Kontribusi tanaman leguminosa dalam mempertahankan dan memperbaiki kesuburan tanah sebenarnya sudah diketahui berabad-abad yang lalu, tetapi baru memasuki abad 19 penelitian ilmiah berhubungan dengan peranan tanaman leguminosa dalam memelihara kesuburan tanah dilakukan. Tanaman leguminosa memiliki kemampuan untuk memenuhi kebutuhan nitrogen tidak hanya dari bentuk mineral tetapi langsung dari fik- N_{atm} .

Tanaman leguminosa mampu menyumbang N ke dalam sistem pertanaman, sehingga tanaman leguminosa mampu mempertahankan dan meningkatkan kesuburan tanah melalui fik- N_{atm} . Bukti bahwa tanaman non-leguminosa yang ditanam bersama-sama dengan tanaman leguminosa tumbuh dan memberikan hasil lebih baik dibanding tanaman non-leguminosa yang dibudidayakan secara monokultur. Hal ini dikarenakan tanah pada pertanaman campuran mendapatkan suplai nitrogen melalui fik- N_{atm} . Dua pola pertanaman campuran yaitu gandum-gram, jagung-cowpea dan pertanaman monokultur

leguminosa dan non-leguminosa dievaluasi selama 1,5-2,0 bulan. Hasil estimasi menunjukkan bahwa suplai N pada pertanaman campuran lebih tinggi daripada monokultur non-leguminosa. Hal ini salah satunya dikarenakan bahwa pada pertanaman monokultur non-leguminosa keberadaan N tanah cepat sekali menurun karena tidak adanya suplai N kedalam tanah melalui fik- N_{atm} , sedang kebutuhan N tanaman non-leguminosa sangat tinggi. Sebaliknya pada pertanaman tanaman leguminosa monokultur, ketersediaan N tanah terpelihara dikarenakan tanaman leguminosa mampu melakukan fik- N_{atm} melalui simbiosis dengan bakteri rhizobium.

Bukti hasil penelitian fik- N_{atm} pada tanaman leguminosa yang dilakukan pada tahun 1987 dan 1994 menunjukkan bahwa tanaman leguminosa baik di sub tropika maupun tropika mampu melakukan fik- N_{atm} . Tanaman leguminosa sub tropika memiliki kemampuan fik- N_{atm} rata-rata 200 kgN/ha/th lebih tinggi dibanding tanaman leguminosa tropika yang hanya mampu mencapai rata-rata 100 kgN/ha/th (Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Fiksasi N oleh tanaman leguminosa sub tropika dan tropika

Tanaman leguminosa	Fiksasi-N _{atm} oleh tanaman leguminosa	
	1987	1994
	-----kg N/ha/th-----	
Sub tropika	200	-
1. Clover	55-600	-
2. Clover merah	-	170
3. Clover putih	55-600	130
4. Alfalfa	55-600	260
5. Kedelai	90-200	120
6. Kacang-kacangan	33-160	54
Tropika	100	-
1. Pastura	10 - 129	-
rumput/leguminosa		
2. Kacang-kacangan	64	-
3. Kacang gude	97 - 152	-
4. Kacang tanah	-	130

3.2. Sistem Pertanian Rotasi

Sistem pertanian rotasi (SPR) adalah suatu sistem pertanian dengan cara menanam tanaman secara berturutan atau berselang seling pada setiap musim tanam atau dalam musim tanam berikutnya. Sistem pertanian rotasi dapat dilakukan dengan menerapkan sistem pergantian tanaman antara tanaman leguminosa yang diikuti dengan tanaman non-leguminosa. Hal ini dimaksudkan untuk memanfaatkan keuntungan yang kemungkinan dapat diperoleh dari tanaman leguminosa melalui kontribusi nitrogen yang diperoleh dari fik-

N_{atm}. Sistem pertanian rotasi telah dipraktekan di beberapa wilayah tropika dan sub tropika seperti India, Pakistan dan Asia Tenggara termasuk Indonesia.

Telah dilakukan evaluasi pengaruh empat jenis tanaman leguminosa (*Vigna radiata* cv. PS16, *Vigna Unguiculata* cv. 779, kacang tanah (*Arachis hypogoea* cv M13), dan kacang gude (*Cajanus cajan* cv. BS1) terhadap pertumbuhan dan serapan N oleh *Pearl millet* (*Pennisetum americanum* (L) K. Schum). Pada tahun kedua semua plot yang telah ditanami tanaman leguminosa dan non-leguminosa ditanam *Pearl millet*. Disamping itu semua plot diberikan perlakuan pupuk urea dengan dosis berturut-turut 0, 30 dan 60 kg N/ha. Produksi bahan kering (BK) *Pearl millet* dievaluasi satu tahun berikutnya. Dilaporkan bahwa produksi BK dan serapan N *Pearl millet* yang ditanam setelah tanaman leguminosa lebih tinggi daripada yang ditanam setelah non-leguminosa. Tanaman kacang tanah (*A. hypogoea*) terbukti merupakan spesies yang paling efektif dalam meningkatkan produksi BK *Pearl millet*. Serapan N setelah tanaman leguminosa secara statistik berbeda terhadap serapan N setelah non-leguminosa. Hal ini terjadi dikarenakan pada lahan yang ditanami leguminosa mempunyai kandungan N tanah yang lebih baik dibanding lahan yang sebelumnya ditanami non-leguminosa. Pada lahan yang ditanami tanaman leguminosa status N tanah dapat terpelihara melalui suplai N yang diperoleh dari FNB, sedangkan pada tanah yang ditanami non-leguminosa suplai N yang diperoleh melalui FNK seperti urea. Disamping itu kemungkinan telah terjadi pengurasan N oleh tanaman

non-leguminosa mengingat kebutuhan N tanaman non-leguminosa sangat tinggi sehingga suplai N yang hanya melalui urea kemungkinan tidak mampu mencukupi kebutuhannya.

Di Thailand dilakukan evaluasi peranan kacang tanah (*A. hypogea*) dan *mungbean* atau kacang hijau (*Vigna radiata*) dalam kemampuannya melakukan fik- N_{atm} dan kontribusinya didalam mensuplai N pada tanaman berikutnya. Tanaman kacang hijau (*V. radiata*) mampu membentuk bintil akar pada 15 hari setelah tanam (HST) dengan rata-rata jumlah bintil akar tertinggi dicapai pada 45 HST. Sedangkan kacang tanah belum terdeteksi terbentuknya bintil akar pada 15 HST dan rerata jumlah bintil akar tertinggi dicapai pada 60 HST.

Prosentase fik- N_{atm} pada kacang hijau dan kacang tanah dihitung dengan menggunakan metoda pelarutan isotop ^{15}N . Hasilnya kacang tanah mampu melakukan fik- N_{atm} sebesar 64%, sementara itu kacang hijau melakukan fik- N_{atm} berkisar 54-62% (rerata 58%). Tanaman jagung yang ditanam setelah kacang tanah cv Tainan 9, mampu memproduksi BK dan N tertinggi dibanding dengan tanaman jagung yang ditanam setelah tanaman leguminosa lainnya. Penampilan tanaman jagung setara dengan penampilan tanaman jagung yang ditanam pada lahan kosong yang diperlakukan dengan penambahan pupuk kimia antara 60-90 kg N/ha. Hal ini mengindikasikan bahwa sumbangan N dari FNB pada tanaman jagung cukup besar mengingat kesetaraan produksi BK pada lahan kosong yang menerima penambahan pupuk kimia. Kondisi ini diduga karena

suplai N dari tanaman leguminosa baik melalui fik- N_{atm} atau mineralisasi bintil akar dan jaringan tanaman yang mengalami pelapukan di dalam tanah.

3.3. Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen dapat terjadi secara Fisik (FNF), kimia (FNK) dan biologis (FNB). Fiksasi nitrogen secara biologis terjadi pada tanaman leguminosa baik yang dibudidayakan secara monokultur maupun campuran dengan tanaman non-leguminosa. Jumlah fik- N_{atm} pada pertanaman campuran antara leguminosa dan rumput di seluruh dunia ditaksir mencapai 13-682 kgN/ha/th, sedangkan pada pertanaman monokultur tanaman clover putih (*Trifolium repens* L.) mencapai 55-296 kgN/ha/th. Penelitian sebelumnya mencatat bahwa jumlah fik- N_{atm} pada clover putih mencapai 545 kgN/ha/th, dimana nilai tersebut lebih tinggi dibanding dengan jumlah fik- N_{atm} pada tanaman alfalfa (*Medicago sativa* L.) dan clover merah (*T. pratense*) yang masing-masing mencapai 373 dan 350 kg N/ha/th.

Pemindahan N dari tanaman leguminosa ke tanaman non-leguminosa pada pertanaman campuran dapat terjadi didalam tanah melalui proses dekomposisi akar dan bintil akar tanaman leguminosa yang mati dengan besar mencapai 3-102 kgN/ha/th atau setara dengan 2-26% dari nilai Fiksasi Nitrogen secara Biologi (FNB). Menggunakan metoda tidak langsung dilaporkan bahwa sebanyak 60 kgN/ha/th (22% fik- N_{atm} dari FNB) telah dipindahkan melalui tanaman bagian atas pada pertanaman campuran clover putih (*T. repens* L.) dan rumput, sementara itu pemindahan N melalui

tanah tercatat 70 kgN/ha/th. Pada pertanaman pastura campuran leguminosa dan rumput di daerah sub tropika mampu menyumbang N melalui FNB berkisar antara 0-100%, sedang di daerah tropika hanya mampu mensuplai N melalui FNB sampai lebih dari 80%.

Pada pertanaman campuran nilai FNB sangat ditentukan oleh berbagai faktor seperti ketahanan dan produksi leguminosa, keberadaan N tanah, dan kompetisi antar tanaman leguminosa dan rumput. Sementara itu, efisiensi laju fik- N_{atm} oleh tanaman leguminosa pakan dipengaruhi oleh beberapa hal meliputi genotif tanaman inang, genotif *rhizobium*, kondisi lingkungan, dan lokasi penelitian.

Fiksasi nitrogen secara biologis merupakan sumber paling besar dalam menjamin ketersediaan N dibanding dengan sumber fiksasi nitrogen secara kimia (FNK) dan fiksasi nitrogen secara fisik (FNF). Fiksasi nitrogen secara biologis dicatat mampu menyumbang sebanyak 140 juta tonN/tahun, sedang FNK dan FNF masing-masing hanya mampu menyumbang sebesar 74 dan 8 juta tonN/tahun. Selain mampu menyumbang N cukup besar, FNB juga tidak begitu besar menimbulkan permasalahan terhadap lingkungan dibanding yang ditimbulkan oleh FNK dan FNF.

Penerapan N pada lahan pertanian melalui pupuk kimia seperti urea mempunyai nilai efisiensi rendah sampai sedang. Pada lahan padi efisiensi urea hanya mencapai sekitar 60%, sedangkan sisanya terbuang melalui proses pencucian (*leaching*), denitrifikasi dan volatilisasi. Perolehan N dari FNF melalui presipitasi biasanya juga hilang melalui *leaching*. Sebaliknya N

melalui FNB telah dikenal sejak lama mampu menjaga atau meningkatkan keberadaan dan ketersediaan N tanah melalui kemampuannya dalam melakukan fik- N_{atm} . Nitrogen yang diperoleh dari FNB terutama diperuntukkan dalam pemeliharaan kesuburan tanah, dan dipindahkan ke tanaman mitra atau tanaman berikutnya.

Tanaman leguminosa tropika mampu menfiksasi N sebanyak 100 kgN/ha/th, sedangkan tanaman leguminosa sub tropika mampu melakukan 2 kali lipat dari yang dilakukan oleh tanaman leguminosa tropika (Tabel 3.1.). Mengingat kemampuannya dalam fik- N_{atm} maka tanaman leguminosa mempunyai kandungan N relatif tinggi, sehingga residu tanaman leguminosa dapat dimanfaatkan sebagai sumber N dengan cara mengembalikan residu tanaman ke lahan kultivasi.

Keuntungan penggunaan residu tanaman khususnya leguminosa sudah banyak dipelajari dan diteliti serta dipraktekan dalam berbagai kegiatan pertanian di dunia. Residu tanaman siratro dan kedelai berpengaruh terhadap penampilan rumput Timothy. Disisi lain ditemukan bahwa sebanyak 33-49% N yang diaplikasikan dalam bentuk residu BO ditemukan kembali pada tanaman padi. Disamping keuntungan yang telah disebutkan di atas tanaman leguminosa juga dikenal mempunyai efek lebih kecil berhubungan dengan munculnya permasalahan lingkungan dibanding dengan penggunaan pupuk kimia buatan, baik melalui pencucian unsur hara maupun volatilisasi.

3.4. Pupuk Hijau

Pupuk hijau (*green manure*, GM) adalah pupuk organik yang semua bahannya berasal dari pelapukan bahan tanaman, dapat berupa sisa-sisa tanaman pertanian atau tanaman yang sengaja ditanam khusus untuk diambil hijauannya. Tanaman leguminosa dapat diaplikasikan pada sistem pertanian dalam bentuk GM. Metoda aplikasi GM telah dikenal sebagai salah satu strategi dalam memperbaiki kesuburan tanah dan kondisi fisik tanah. Beberapa tanaman leguminosa seperti turi (*Sesbania glandiflora*) dan klotalaria atau orok-orok (*Crotalaria juncea*) diaplikasikan pada sistem pertanaman padi-gandum dalam bentuk GM. Turi dan klotalaria masing-masing mampu memberikan kontribusi N sebesar 50 dan 75 kgN/ha kedalam sistem sehingga mampu meningkatkan produksi padi.

Dua tanaman gramineae yaitu jawawut (*barley*) dan gandum (*wheat*) ditanam secara bersama-sama dengan tanaman leguminosa. Semua tanaman leguminosa kecuali *Austrian winter pea* dan tanaman gramineae dipanen dan residu secara langsung dikembalikan ke tanah. Disisi lain, *Austrian winter pea* dikembalikan dalam bentuk pupuk hijau dan hay. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil tanaman jawawut yang ditanam setelah tanaman leguminosa lebih tinggi daripada yang ditanam setelah gramineae. Fenomena ini diduga karena tanaman leguminosa mampu memberikan kontribusi N ke tanah melalui fik-N_{atm}.

Di Jepang telah banyak dilakukan evaluasi peran tanaman leguminosa sebagai GM, diantaranya terhadap 2 spesies tananam leguminosa yaitu vetch berdaun kecil

(*Vicia angustifolia* L) dan *Chinese milk vetch* (*Astragalus sinicus* L) yang merupakan tanaman GM dalam kontribusinya meningkatkan kesuburan tanah melalui sumbangan fik- N_{atm} . *Chinese milk vetch* mampu menghasilkan N lebih tinggi dibanding tanaman vetch berdaun kecil. Sementara itu, pertanaman campuran antara vetch berdaun kecil dan *Chinese milk vetch* memberikan hasil lebih baik dibanding pertanaman tunggal vetch berdaun kecil dan *Chinese milk vetch*, sehingga pertanaman campuran antara vetch berdaun kecil dan *Chinese milk vetch* dapat dijadikan alternatif pemanfaatan kedua tanaman leguminosa sebagai GM. Kandungan N vetch berdaun kecil mencapai sekitar 14 g N/m^2 (140 kg N/ha) dan bila dikembalikan ke lahan pertanian sebagai GM masih mampu memenuhi kebutuhan N pada tanaman berikutnya (padi), mengingat kebutuhan N pada pertanaman padi di Jepang hanya sebesar 10 g N/m^2 (100 kg N/ha) .

Tanaman orok-orok (*C. juncea* L) adalah tanaman legum asli Indonesia yang dipopulerkan sebagai tanaman penghasil hijauan yang potensial disamping lebih populer sebagai GM. Tanaman orok-orok mempunyai adaptasi luas dengan karakteristik tanaman tajuk rapat dan perakaran dalam, sehingga mempunyai harapan untuk dikembangkan di pertanian lahan kering bersama tanaman gramineae. Apabila kedua tanaman ini dapat ditanam secara tumpangsari, maka diharapkan diperoleh sumber hijauan dari jerami gramineae dan hijauan orok-orok. Orok-orok dengan produksi BK 5-14 ton/ha atau menghasilkan 160-448 kgN/ha,

memproduksi 15-25 ton biomasa/ha dengan kandungan 113 kgN/ha sebagai hasil pengikatan N_{atm} . Estimasi maksimum akumulasi N adalah 366 kgN/ha pada 1 kali frekuensi pemanenan umur 10 minggu.

Peningkatan kepadatan populasi tanaman orok-orok meningkatkan produksi BK hijauan orok-orok, tetapi menekan hasil tanaman jagung. Pengaruh kompetisi tanaman orok-orok terhadap jagung pada pola tanam dua baris lebih besar dibanding pola tanam satu baris tanaman orok-orok. Produksi BK dan N hijauan orok-orok dan jagung tertinggi dicapai pada pola tanam 2 baris dengan kepadatan tanaman orok-orok 10 tanaman/m² sebesar 9,60 ton BK/ha dan 275,28 kgN/ha.

Selain berfungsi sebagai GM, orok-orok menjadi alternatif sumberdaya pakan untuk menurunkan lemak karena kandungan protein tinggi. Orak-orok potensial sebagai pakan ruminansia khususnya ternak potong, untuk menghasilkan pertambahan bobot badan yang cepat. Kandungan nutrisi hijauan orok-orok pada umur 60 hari adalah 29,20 % protein kasar dan 17,90 % serat kasar.

Terdapat beberapa kendala pada aplikasi tanaman leguminosa sebagai GM pada lahan padi sawah, antara lain : (i) tingginya biaya untuk persiapan pengolahan lahan dan pembibitan; (ii) kestabilan tanaman; dan (iii) permasalahan penyakit tanaman. Walaupun banyak hambatan dalam penerapan GM tetapi mengingat keunggulan tanaman leguminosa dibanding sumber-sumber nutrisi lain seperti penggunaan bahan-bahan kimia tambahan, maka penggunaan tanaman

leguminosa dalam praktek pertanian disarankan dalam rangka mencapai keseimbangan sistem pertanian-lingkungan dan mendukung pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*) secara optimal

3.5. Pupuk Organik dan Hayati

Pupuk organik adalah pupuk yang sebagian atau seluruhnya berasal dari tanaman dan atau binatang yang telah melalui proses rekayasa, dapat berbentuk padat atau cair yang digunakan untuk mensuplai BO untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah.

Teknologi berkaitan dengan pupuk organik telah mengalami perkembangan sangat pesat. Salah satu faktor pendorong adalah semakin banyak konsumen yang lebih menyukai produk organik alami dan bebas bahan kimia yang dapat mempengaruhi kesehatan. Faktor rusaknya tanah akibat penggunaan pupuk kimia juga menjadi faktor pendorong semakin diminatnya pupuk organik.

Pupuk organik dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan dari bahan penyusun, cara pembuatan dan bentuk fisiknya. Berdasarkan bahan penyusunnya pupuk organik dibagi menjadi pupuk organik berasal dari kotoran ternak, limbah hijauan, dan gabungan keduanya (kotoran ternak+hijauan). Sementara itu berdasarkan cara pembuatan terbagi menjadi metode aerob dan anaerob. Sedangkan dari bentuk fisiknya berbentuk serbuk, granuler, tablet dan cair.

Pupuk kandang adalah pupuk organik yang berasal dari ternak berupa kotoran (feses) baik dari ternak sapi, kerbau, kambing juga unggas. Pupuk

kandang digolongkan berdasarkan dari jenis ternak yang mengeluarkan urin seperti sapi, kerbau, dan kambing dan yang tidak mengeluarkan urin seperti itik, ayam dan entok. Pupuk kandang ternak mengeluarkan urin memiliki kandungan N relatif rendah tetapi P dan K tinggi, sehingga sangat cocok untuk diaplikasikan pada pertanaman buah dan biji seperti padi, pare, terong, dan lain sebagainya. Pupuk kandang sapi, kerbau, kambing memerlukan proses penguraian cukup lama, sebaliknya untuk pupuk kandang ternak unggas. Cepat terurai, tinggi kandungan N tetapi rendah P dan K merupakan ciri pupuk kandang ternak unggas sehingga cocok untuk diaplikasi pada budidaya tanaman sayuran daun, seperti bayam, kangkung, selada, daun bawang dan lain-lain.

Pupuk organik mengandung unsur hara yang lengkap termasuk unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan oleh tanaman. Unsur makro mencakup antara lain N, P, K, Ca, Mg dan S. Sedangkan unsur mikro yang terkandung dalam pupuk organik seperti unsur Al, Cu, Fe, Zn, dan Bo. Oleh karena itu, pupuk organik memiliki fungsi yang sangat istimewa karena memiliki kemampuan dalam memperbaiki kesuburan tanah. Penggunaan pupuk organik pada tanah liat atau lempung dapat menjadikan gembur jika diterapkan secara terus menerus. Pada kondisi lain, penggunaan pupuk organik yang berkelanjutan mampu mengikat dan mengemburkan tanah pada tanah berpasir karena pupuk organik mampu menghasilkan rongga pori-pori pada tanah liat dan mengikat butiran pasir yang halus sehingga menjadi lebih solid dan gembur.

Pupuk organik juga memiliki kemampuan dalam meningkatkan Kapasitas tukar kation (KTK) yaitu kemampuan tanah untuk meningkatkan interaksi antar ion yang terdapat di dalam tanah. Tanah dengan tingkat KTK tinggi cenderung lebih mampu menyediakan unsur hara daripada lahan dengan KTK rendah. Kapasitas tukar kation tanah diperoleh dari koloid liat yang mempunyai permukaan bermuatan negatif yang mampu menjerap kation-kation. Sifat ini juga dimiliki BO, sehingga kandungan BO yang tinggi dalam tanah akan meningkatkan tingkat KTK yang tinggi.

Pupuk organik memiliki sifat higroskopis tinggi sehingga air akan diserap dan disimpan dalam pori-pori tanah kemudian dikeluarkan saat diperlukan akar tanaman. Sifat menyerap air tersebut mengakibatkan kelembaban tanah terjaga sehingga relatif aman terhadap kekeringan. Bahan organik mempunyai kemampuan memegang air 5 kali lipat dari bobotnya.

Pupuk organik memiliki dekomposer baik berupa bakteri maupun jamur. Penambahan BO ke tanah secara otomatis akan semakin menambah populasi mikroba dekomposer yang telah ada sebelumnya dan tentu pengaruhnya adalah proses penguraian BO menjadi hara yang dibutuhkan tanaman semakin cepat. Tanah lembab akibat penggunaan BO juga membuat kondisi ideal bagi perkembangan biota tanah.

Menurut Peraturan Menteri Pertanian RI pupuk hayati bukan tergolong sebagai pupuk organik, tetapi merupakan pembenah tanah, walaupun fakta di lapang pupuk hayati sering dimasukkan sebagai golongan pupuk organik. Pupuk hayati tidak termasuk pupuk

organik karena pupuk hayati merupakan pupuk yang terdiri dari organisme hidup dengan kemampuan untuk meningkatkan kesuburan dan juga meningkatkan nutrisi penting bagi tanaman.

Cara kerja pupuk hayati memperbaiki tanah berbeda dengan cara kerja pupuk organik. Pupuk hayati tidak menyediakan unsur-unsur hara secara langsung, tetapi dengan cara menangkap unsur N dari udara, membantu proses dekomposisi kompos, BO tanah dan unsur hara lain di tanah, dengan demikian pupuk hayati tidak langsung meningkatkan kesuburan tanah, akan tetapi secara bertahap dan berlangsung terus menerus, baik dalam mengikat N secara non simbiotik maupun dalam membantu dekomposisi BO tanah dan melarutkan unsur hara yang terjerap dalam tanah seperti fosfat.

Bakteri yang biasa terkandung di dalam pupuk hayati adalah seperti bakteri pengikat N bebas di udara yaitu *Azotobacter*, bakteri pelarut fosfor tanah (*Bacillus megaterium*), serta bakteri pelarut unsur K tanah (*Bacillus nucilaginous*).

BAB 4

DINAMIKA NITROGEN

Hasil fik- N_{atm} tanaman leguminosa dalam sistem pertanian tidak hanya dipergunakan untuk kehidupan tanaman leguminosa tetapi lebih jauh diekskresikan ke dalam tanah dan selanjutnya dipindahkan ke tanaman mitra dalam sistem pertanaman campuran. Pada pertanaman monokultur hasil fik- N_{atm} akan ditambahkan ke dalam tanah melewati bagian bawah tanaman (eksudat akar), mineralisasi dari rontoknya bintil akar dan jaringan perakaran tanaman. Disamping itu, N dapat dikembalikan ke tanah melalui bagian atas tanaman melalui mineralisasi daun-daun serta ranting-ranting tanaman yang gugur ke tanah. Mempelajari proses pemindahan N dari tanaman leguminosa baik langsung ke dalam tanah maupun tanaman non-leguminosa akan memberikan pemahaman tentang peran tanaman leguminosa dalam memperbaiki ketersediaan N tanah.

4.1. Pemindahan Nitrogen pada Sistem Pertanian

Secara umum telah diketahui bahwa tanaman leguminosa mampu memperbaiki ketersediaan unsur hara tanah karena kemampuannya didalam melakukan fik- N_{atm} . Namun demikian, penggunaan tanaman leguminosa pada pertanaman campuran ternyata tidak selalu mampu memperbaiki status N tanah, bahkan pada kondisi tertentu tanaman leguminosa kadang-

kadang menekan ketersediaan N tanah. Hal ini terjadi jika : (i) tanaman leguminosa berperan sebagai *kompetitor* kuat terhadap kebutuhan N tanah, atau (ii) penambahan BO berakibat meningkatkan laju imobilisasi.

Secara umum nitrogen dapat dipindahkan oleh tanaman leguminosa ke tanah melalui dua cara yaitu langsung atau tidak langsung. Pemindahan beberapa senyawa nitrogen yang diekskresikan oleh tanaman leguminosa sebagai eksudat akar ke dalam tanah yang kemudian diassimilasi oleh tanaman non-leguminosa merupakan pemindahan secara langsung. Sebaliknya pemindahan secara tidak langsung terjadi setelah BO (pelapukan akar atau bintil akar) dimineralisasi menjadi unsur hara tersedia bagi tanaman, misalnya berupa NH_4^+ dan NO_3^- .

Pada awalnya ekskresi larutan senyawa-senyawa N dari akar tanaman leguminosa dikenal sebagai jalur pemindahan N oleh tanaman ke sistem pertanian. Penelitian menggunakan pasir steril atau kultur larutan menunjukkan bahwa amoniak, asam amino, amida merupakan nutrisi yang diekskresikan oleh akar tanaman leguminosa. Penelitian lain dengan menggunakan teknik pelabelan ^{15}N mendemonstrasikan bahwa fik- N_{atm} merupakan sumber utama ekskresi senyawa-senyawa N oleh akar tanaman leguminosa ke dalam tanah. Komposisi relatif eksudat dan proporsi ekskresi fik- N_{atm} tergantung pada spesies leguminosa. Pada fase pemasakan fisiologis (173 hari masa pertumbuhan), kedelai mampu mengeluarkan sekitar 10% dari hasil fik- N_{atm} , sedangkan stress seperti

defoliiasi dan defisit air juga berpengaruh terhadap pelepasan N dari akar alfalfa.

Pemindahan N lewat jalur dalam tanah tidak hanya mencakup ekskresi senyawa-senyawa N, tetapi juga berasal dari pelapukan akar dan bintil akar yang secara umum disebut *rhizodeposition*. Penelitian jangka pendek (24-72jam) tentang estimasi *rhizodeposition* dari fik- N_{atm} secara biologis pada kacang-kacangan dan kedelai telah dilakukan dengan menggunakan pelabelan ^{15}N , dan pada kacang gude (*C. cajan*), dengan menggunakan teknik pelarutan ^{15}N . Sekitar 3-17% N hasil fik- N_{atm} pada kacang-kacangan dan 12-18% N hasil fik- N_{atm} pada kedelai telah ditemukan kembali dalam tanah setelah akar dipisahkan dari batangnya, tetapi dengan menyertakan akar prosentase N yang ditemukan kembali meningkat yaitu menjadi 26,5-33%. Disisi lain tanpa mengikutsertakan akar sebesar 52,5-70,5% atau setara 150-180 kgN/ha telah ditemukan kembali dari kacang gude yang ditumbuhkan selama 225-252 hari.

4.2. Faktor Penentu Pemindahan N

Pemindahan N pada sistem pertanian campuran sangat tergantung pada beberapa faktor seperti status N tanah, jarak tanam, spesies tanaman, dan defoliiasi tanaman leguminosa.

4.2.1. Status N Tanah

Ketersediaan N tanah secara langsung berpengaruh terhadap fik- N_{atm} dan pemindahan N. Pada sistem pertanian campuran penambahan pupuk N mengakibatkan penurunan terhadap nodulasi dan fik-

N_{atm} , kondisi ini berakibat terhadap penurunan jumlah pemindahan N, dan sebagai konsekuensinya berpengaruh terhadap kandungan N biji-bijian.

Jumlah pemindahan N menurun sampai 50% pada penambahan pupuk N (4x dosis standar), hal ini secara langsung berpengaruh terhadap kandungan N tanaman jagung. Kandungan N tanaman jagung pada pertanaman campuran jagung-kacang tunggak (*cowpea*) 90% lebih besar dibanding pada pertanaman tanaman jagung monokultur yang menerima dosis pemupukan 25 kgN/ha. Kandungan N tersebut menurun sampai 60% pada penambahan 100 kgN/ha. Pemindahan N oleh tanaman leguminosa menurun sampai kira-kira 60% pada penambahan pupuk N (10x dosis standar), tetapi produksi jagung pada perlakuan penambahan 10 dan 100 kgN/ha baik pada pertanaman campuran maupun monokultur hanya berbeda kurang dari 5%.

Hasil-hasil penelitian terdahulu membuktikan bahwa ketersediaan N tanah menentukan fik- N_{atm} dan pemindahan N. Pada tanah dengan ketersediaan N tinggi, penambahan N tidak terbukti meningkatkan produksi tanaman dan sebaliknya pada ketersediaan N tanah rendah penambahan N mampu meningkatkan produksi tanaman karena penambahan N mampu memperbaiki ketersediaan N tanah.

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara makro yang sangat menentukan pertumbuhan tanaman khususnya pada saat pertumbuhan vegetatif. Unsur hara N dapat diperoleh tanaman dari dalam tanah berupa NH_4^+ dan NO_3^- , sedangkan N udara dalam bentuk N_2 tidak dapat langsung digunakan oleh tanaman. Nitrogen

tanah dan udara atau atmosfer terus bergerak secara dinamik dan menimbulkan suatu siklus yang selanjutnya disebut sebagai siklus N. Siklus N dapat didefinisikan sebagai suatu proses aliran aktif N dari atmosfer ke tanah dan kembali ke atmosfer. Sementara itu, definisi lain menyatakan bahwa siklus N sebagai suatu perubahan N dari satu bentuk ke bentuk lainnya (organik ke anorganik dan sebaliknya) dalam suatu sistem tanah-atmosfer. Nitrogen yang masuk ke dalam sistem tanah-atmosfer akan mengalami transformasi bentuk melalui berbagai proses seperti mineralisasi, imobilisasi, nitrifikasi, denitrifikasi, volatilisasi dan penyerapan oleh tanaman. Denitrifikasi dan volatilisasi menghasilkan buangan N dari tanah ke lingkungan yang lebih luas. Disamping itu, N kemungkinan hilang dari sistem pertanian melalui pencucian unsur hara (*leaching*) dan aliran permukaan (*run off*).

Organisme hidup memegang peranan penting dalam proses siklus N dan sebaliknya. Proses siklus N sangat berpengaruh terhadap status N secara global, dimana secara umum keberadaan N tanah tergantung pada dua faktor yaitu masukan (*input*) atau luaran (*output*) N. Masukan N didapatkan dari beberapa sumber, antara lain (i) secara biologi (FNB) melalui fiksasi N baik secara simbiosis maupun non-simbiosis seperti residu tanaman, hewan dan hasil buangan industri pertanian; (ii) secara kimiawi (FNK) melalui pemupukan baik organik maupun anorganik; (iii) secara fisik (FNF) melalui hujan dan mineralisasi BO tanah; dan (iv) penambahan BO.

Pengetahuan tentang siklus N menjadi penting mengingat dengan menguasai siklus N, maka *input* dan *output* N didalam sistem pertanian dapat diketahui dengan baik sehingga pengelolaan sistem pertanian dapat dilaksanakan secara optimal. Meningkatnya kemampuan didalam mengelola sistem pertanian diharapkan mampu menghasilkan pertumbuhan dan produksi tanaman secara optimal sehingga kebutuhan pangan dapat terpenuhi dengan baik. Disamping itu, pengelolaan sistem pertanian yang efisien diharapkan dapat merealisasi pertanian berkelanjutan. Penurunan laju kerusakan lahan pertanian dapat dikendalikan dan sebaliknya kesuburan dan produktivitas lahan pertanian dapat diperbaiki.

Sistem pertanian yang terjaga dengan baik akan memberikan dukungan dalam mengurangi permasalahan polusi lingkungan. Hilangnya unsur N ke lingkungan yang lebih luas melalui proses pencucian unsur hara, denitrifikasi dan volatilisasi dapat dihambat sehingga tingkat efisiensi penggunaan N dapat diperbaiki. Pengertian berbagai istilah pada dinamika N pada sistem pertanian disajikan pada Tabel 4.1.

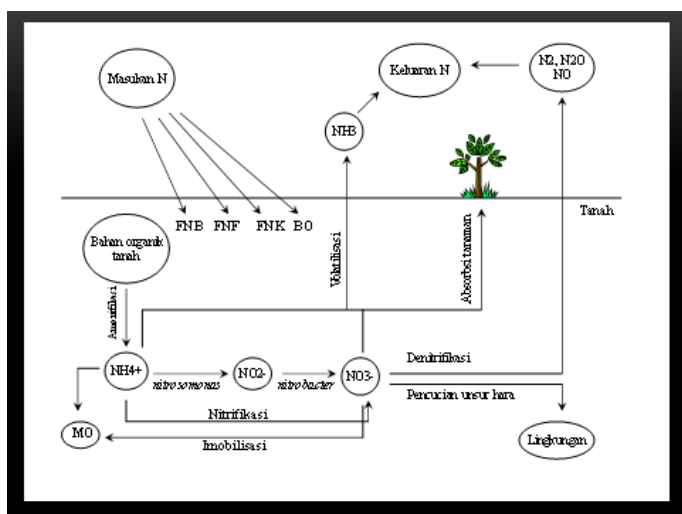
Berdasarkan pengertian tentang siklus N pada sistem pertanian maka terdapat *input* N dari atmosfer ke dalam tanah, terdiri atas FNB, FNF dan FNK serta penambahan BO. Bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah, dengan bantuan mikroorganisme (MO) akan didekomposisi dan dimineralisasi menghasilkan bahan anorganik yang selanjutnya (1) dimanfaatkan tanaman, (2) terbuang sebagai polutan pada lingkungan dan (3) sebagian kembali ke atmosfer sebagai *output*.

Polutan dapat terjadi melalui berbagai proses seperti pencucian unsur hara, volatilisasi dan denitrifikasi.

Tabel 4.1. Pengertian berbagai istilah pada siklus N

No.	Istilah	Pengertian
1.	Fiksasi	: Penambahan N_{atm} oleh tanaman dan mikroba dan mengubahnya menjadi bentuk N organik secara simbiosis.
2.	Mineralisasi	: Transformasi N organik menjadi N anorganik, terjadi pada saat proses dekomposisi BO oleh MO.
3.	Imobilisasi	: Transformasi N anorganik ke N organik kedalam struktur sel MO dan humus tanah selama proses dekomposisi.
4.	Nitrifikasi	: Transformasi ammonium (NH_4^+) menjadi nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) oleh MO.
5.	Volatilisasi	: Proses hilangnya ammonia (NH_3) dari tanah ke udara.
6.	<i>Leaching</i>	: Pergerakan NO_3^- dari air hujan atau irrigasi ke bawah melalui tanah atau secara melintang pada lapisan tanah.

Siklus N secara global dapat dilihat pada Ilustrasi 4.1.



Ilustrasi 4.1. Siklus nitrogen secara global

BAB 5

PERTANIAN TERINTEGRASI

5.1. Pengertian Pertanian Terintegrasi

Pertanian merupakan suatu “perusahaan” yang khusus mengkombinasikan sumber daya alam (SDA) dan sumber daya manusia (SDM) dalam menghasilkan hasil pertanian. Pemahaman sektor pertanian meliputi beberapa sub sektor antara lain : 1. tanaman pertanian (pangan, pakan, hortikultura, dan perkebunan), 2. peternakan (unggas, ternak potong, ternak perah dan aneka ternak), 3. perikanan (eksplorasi/perikanan tangkap, budidaya perikanan darat), dan 4. kehutanan (aktivitas eksplorasi flora, fauna dan budidaya hutan tanaman industri, HTI),

Pertanian dalam arti luas mengelompokkan pemahaman tentang tanaman/ternak, barang dan jasa. Tanaman/Ternak adalah tumbuhan/hewan peliharaan yang kehidupannya meliputi pertumbuhan dan reproduksi diatur oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan manusia baik barang dan jasa. Barang berupa bahan baku atau olahan untuk memenuhi kebutuhan pangan, sandang, papan, dan bahan baku industri. Sedangkan jasa dimanfaatkan sebagai sumber tenaga, rekreasi dan estetika.

Sistem pertanian terintegrasi (SPT) merupakan pertanian yang mengarahkan pemanfaatan terhadap sesuatu yang lebih besar, khususnya dalam hal efisiensi dalam penggunaan sumberdaya lahan, dan seimbang

dengan lingkungan, baik dengan manusia maupun dengan hewan.

Sistem pertanian terintegrasi biasanya diidentikan dengan pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*), yang memiliki karakteristik seperti 1. tidak tergantung pada bahan-bahan kimia sintetis, 2. menghasilkan keuntungan dalam jangka panjang dengan meminimalkan *input* dari luar, dan 3. memelihara kesehatan, kualitas lahan dan lingkungan.

Mengingat pentingnya pertanian berkelanjutan oleh karena itu diperlukan beberapa pilar atau penyangga utama teknologi guna mencapai pengelolaan yang optimal dan berkelanjutan. Beberapa pilar utama teknologi dalam pengelolaan pertanian berkelanjutan meliputi 1. melindungi lingkungan, 2. secara ekonomi sangat produktif dan layak. 3. secara sosial diterima, dan 4. mengurangi resiko kegagalan.

Meskipun SPT memiliki peran dan fungsi sangat penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan, tetapi banyak tantangan yang harus dihadapi dalam implementasinya, seperti 1. ketergantungan terhadap masukan bahan kimia sintetis, 2. kepentingan efisiensi pemupukan (untuk menurunkan biaya produksi), 3. upaya menurunkan resiko lingkungan terhadap pengaruh pupuk dan pestisida, dan 4. peranan penelitian dan penyuluh pertanian.

Mengalahkan ketergantungan terhadap penggunaan bahan-bahan kimia sintetis yang telah lama diaplikasikan dalam pengelolaan pertanian merupakan tantangan yang sangat sulit untuk dilewati. Sudah sejak empat dekade masyarakat petani Indonesia

menggunakan bahan-bahan kimia sintetis dalam kegiatan pertanian sehingga sangat sulit bagi para petani untuk sama sekali tidak menggunakan bahan-bahan kimia sintesis dalam bertani.

Berdasarkan berbagai penelitian bahwa para petani di Pulau Jawa menggunakan pupuk kimia dan pestisida kimia sintetis sudah mencapai sekitar 30%. Berdasar pada pemikiran kepentingan efisiensi pemupukan, sebagian besar petani berpikir bahwa menggunakan pupuk kimia sintesis akan lebih efisien mengingat produksi yang diperoleh secara kuantitatif lebih besar jika dibanding tanpa penggunaan pupuk kimia buatan. Pada kenyataannya, guna mencapai kondisi lahan dan lingkungan yang sehat diperlukan pemikiran dan aplikasi pupuk kimia buatan yang lebih rendah. Pemikiran ini masih kalah dengan bukti yang kelihatan di lapang bahwa penggunaan pupuk kimia buatan memberikan produksi lebih tinggi dibanding tanpa penggunaan pupuk kimia buatan. Sementara itu resiko kerusakan lahan dan lingkungan akibat praktek pertanian modern jarang dipikirkan atau jika dipikirkan resiko kerusakan lingkungan selalu kalah dengan pencapaian produksi secara kuantitas yang dicapai dengan menggunakan pupuk kimia buatan.

Desiminasi implementasi SPT dan PO gencar dilakukan tetapi penelitian dan penyuluhan tetap masih didominasi dengan bagaimana mencapai produksi pangan yang optimal secara kuantitas. Oleh karena itu, menjadi tantangan bagi para peneliti, penyuluh dan pembuat kebijakan untuk menempatkan kepentingan

yang bersifat keberlanjutan menjadi kepentingan prioritas diatas kepentingan pencapaian produksi sesaat.

5.2. Pendekatan Agroekosistem

Sistem merupakan suatu kesatuan komponen yang berkaitan dan saling berpengaruh satu terhadap yang lain dalam satu kesatuan proses. Ekologi adalah ilmu tentang hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungan. Ekosistem merupakan sistem yang terdiri dari komponen biotik dan abiotik yang terlibat secara bersama-sama dalam suatu proses aliran energi dan siklus nutrisi.

Agro atau pertanian merupakan aktivitas produksi atau industri biologi yang dilakukan manusia dalam mengelola tanaman dan ternak. Kegiatan pertanian mencakup pengelolaan lingkungan buatan yang diciptakan oleh manusia untuk aktivitas budidaya tanaman dan ternak. Secara alami pemanenan radiasi matahari langsung atau tidak langsung dilakukan melalui pertumbuhan tanaman dan ternak.

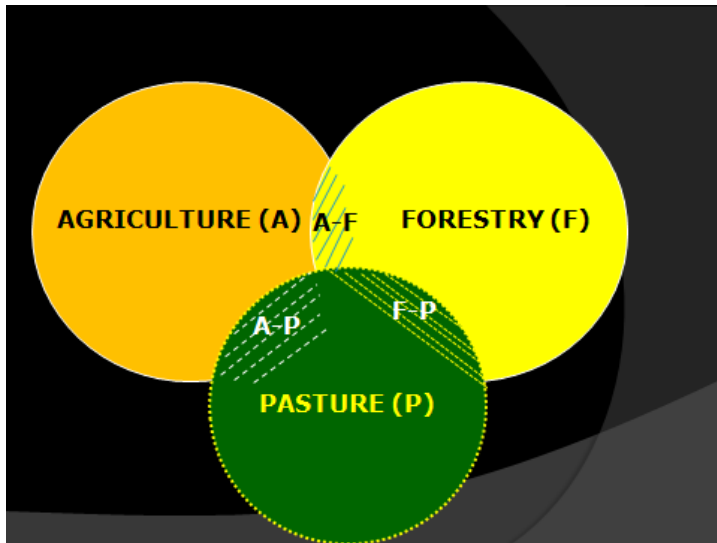
Berdasarkan pada pemahaman di atas maka agroekosistem (AES) memiliki beberapa karakteristik antara lain 1. komponen dasar terdiri dari tanah-tanaman-ternak (3T), 2. luaran adalah produksi tanaman dan ternak, dan 3. campur tangan manusia terhadap sifat dan ciri tanah meliputi kultivasi, fertilisasi, irigasi, dan konservasi tanah; populasi tanaman dan ternak meliputi pengaturan pertumbuhan, reproduksi, tingkat survival, populasi, efisiensi; dan faktor-faktor pembatas meliputi manipulasi genetik, penyesuaian iklim, defisiensi dan kelebihan nutrisi,

serangan HPT, kompetisi, defoliiasi dan lain-lain berhubungan dengan pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan pada karakteristik tersebut maka AES dapat dipahami sebagai suatu sistem ekologi pada lingkungan pertanian. Komponen-komponen dalam AES meliputi petani-manusia, tanah-tanaman, ternak/hewan, dan manajemen/teknologi. Pendekatan AES dapat dilakukan melalui pengembangan tanaman dan ternak dalam integrasi wilayah pertanian spesifik, juga dalam menangani sumberdaya pertanian sebagai sumber pangan, pakan, pupuk organik dan energi. Pendekatan AES memiliki beberapa kepentingan diantaranya integrasi komponen AES untuk kepentingan ekonomi, integrasi komoditas untuk proses produksi hulu ke hilir, dan integrasi wilayah untuk lingkungan dan sumberdaya alam yang berkelanjutan.

5.3. Sistem Pertanian Terintegrasi

Dalam penerapan di lapang SPT memiliki beberapa bentuk atau model antara lain : agroforestri, agropastura, silvopastura, agrosilvopastura, dan *extended* agrosilvopastura yaitu sistem tiga strata (STS). Model-model SPT secara ringkas disajikan pada Ilustrasi 5.1. Model SPT pada saat ini banyak dikembangkan oleh masyarakat Indonesia, salah satunya yang berkembang cukup baik adalah di NTT.



Ilustrasi 5.1. Berbagai model SPT, *Agroforestry* (*Agriculture-Forestry*, AF), *Agropastura* (*Agriculture-Pasture*, AP), *Silvopastura* (*Forestry-Pasture*, FP), *Agrisilvopastura* (*Agriculture-Forestry-Pasture*, AFP).

5.3.1. Agroforestry

Pada awalnya konsep *agroforestry* dirintis dan di desain oleh suatu tim dari Pusat Pengembangan Internasional Kanada (*Canadian International Development Centre, CIDC*), yang bertugas untuk mengidentifikasi prioritas pembangunan di bidang kehutanan di negara-negara berkembang sekitar tahun 1970an. Pada saat itu hutan di Indonesia termasuk salah satu yang diidentifikasi. Hasil identifikasi tim CIDC adalah bahwa pada saat itu hutan-hutan di negara-negara berkembang termasuk hutan di Indonesia belum

cukup dikelola dan dimanfaatkan dengan baik. Berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian yang dilakukan di bidang kehutanan sebagian besar hutan dikelola hanya ditujukan pada dua aspek produksi kayu, yaitu eksploitasi secara selektif di hutan alam dan tanaman hutan secara terbatas.

Berdasarkan hasil temuan CIDC maka diperkenalkan suatu sistem yang selanjutnya disebut sebagai *Agroforestry*. Penerapan *agroforestry* diharapkan bermanfaat untuk beberapa hal seperti mencegah perluasan tanah terdegradasi, melestarikan sumberdaya hutan, meningkatkan mutu pertanian, dan menyempurnakan intensifikasi dan diversifikasi silvikultur.

Pada saat ini *agroforestry* banyak dipraktekan di beberapa tempat di Indonesia, dan dikenal sebagai wanatani atau agroforestri yang secara sederhana diartikan sebagai : “menanam pepohonan di lahan pertanian”. Sementara itu, *agroforestry* dikenal sebagai “bentuk menumbuhkan dengan sengaja dan mengelola pohon secara bersama-sama dengan tanaman pertanian dan atau makanan”. *Agroforestry* adalah suatu sistem pengelolaan lahan yang lestari untuk meningkatkan hasil, dengan cara memadukan produksi hasil tanaman pangan dengan tanaman kehutanan dan atau kegiatan peternakan baik secara bersama-sama maupun berurutan pada sebidang lahan yang sama, dan menggunakan cara-cara pengelolaan yang sesuai dengan pola kebudayaan penduduk setempat.

Agroforestry sebagai pemanfaatan tanaman kayu tahunan (pepohonan, belukar, palem, bambu) pada

suatu unit pengelolaan lahan yang sama sebagai tanaman yang layak tanam, padang rumput dan atau hewan, baik dengan pengaturan ruang secara campuran atau ditempat dan saat yang sama maupun secara berurutan dari waktu ke waktu. Agroforestri merupakan suatu sistem penggunaan lahan yang tepat untuk mendukung pertanian berkelanjutan, karena disamping memiliki kontribusi produksi yang nyata dan beragam, juga fungsi konservatif terhadap lingkungan dan keadaan sosial sehingga menjamin ekonomi yang lebih luas dan keamanan pangan lebih tinggi.

Tujuan diterapkannya agroforestri meliputi (1) meningkatkan dan memperbaiki produksi pangan, (2) memperbaiki pasokan energi yang berasal dari sumber daya setempat, terutama kayu bakar, (3) menghasilkan cukup banyak bahan dasar yang dapat dikonsumsi oleh petani atau dijual, termasuk bahan-bahan tersebut adalah komponen “hasil hutan” seperti kayu, getah, serat, dan bahan obat tradisional, (4) melindungi dan memperbaiki kondisi lingkungan alami, terutama tanah, air, vegetasi dan fauna, dan (5) mempromosikan pengembangan kondisi sosial ekonomi penduduk sesuai dengan nilai-nilai budaya setempat.

Agroforestri dapat dikelompokkan menjadi dua sistem, yaitu sistem agroforestri sederhana (SAS), dan sistem agroforestri kompleks (SAK).

Sistem agroforestri sederhana adalah suatu sistem pertanian dimana pepohonan ditanam secara tumpang-sari dengan satu atau lebih jenis tanaman semusim. Dalam SAS, pepohonan bisa ditanam sebagai pagar mengelilingi petak lahan tanaman pangan, secara

acak dalam petak lahan, atau dengan pola lain misalnya berbaris dalam larikan sehingga membentuk lorong/pagar. Jenis-jenis pohon yang ditanam juga sangat beragam, bisa yang bernilai ekonomi tinggi misalnya kelapa, karet, cengkeh, kopi, kakao (coklat), nangka, melinjo, petai, jati dan mahoni atau yang bernilai ekonomi rendah seperti dadap, lamtoro dan kaliandra.

Sistem agroforestri kompleks adalah suatu sistem pertanian menetap yang melibatkan banyak jenis tanaman pohon (*berbasis pohon*) baik sengaja ditanam maupun yang tumbuh secara alami pada sebidang lahan dan dikelola petani mengikuti pola tanam dan ekosistem menyerupai hutan. Di dalam sistem SAK, selain terdapat beraneka jenis pohon, juga tanaman perdu, tanaman pemanjat, tanaman musiman dan rerumputan dalam jumlah besar. Ciri utama SAK adalah terletak pada kenampakan fisik dan dinamika didalamnya yang mirip dengan ekosistem hutan alam baik hutan primer maupun hutan sekunder.

5.3.2. Agropastura

Agropastura merupakan kegiatan kombinasi antara komponen atau kegiatan pertanian dengan peternakan/hewan. Pemanfaatan lahan dengan pertanaman campuran antara tanaman pangan dan tanaman pakan. Pemanfaatan lahan secara efisien untuk mendapatkan produksi yang optimal dengan menanam tanaman pangan sebagai tanaman utama dan merotasi dengan tanaman pakan.

Implementasi agropastura memiliki beberapa manfaat antara lain : 1. berperan dalam konservasi air dan tanah dengan memproteksi dari erosi dan aliran permukaan, 2. menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah, 3. meningkatkan produktivitas lahan, 4. menyediakan hijauan pakan, 5. memanfaatkan residu tanaman pangan sebagai pakan, dan 6. meningkatkan pendapatan petani.

Sistem agropastura dilakukan dengan mengelilingi tanaman pangan dan dirotasi dengan tanaman pakan. Integrasi tanaman pakan yang dirotasi dalam sistem tanaman pangan mendukung pertanian berkelanjutan, khususnya rumput dengan tanaman leguminosa tahunan termasuk semak dan pepohonan.

Tanaman-tanaman tersebut memungkinkan untuk memanfaatkan unsur hara dan air dari zona tanah yang lebih dalam. Tanaman pakan memegang peranan penting dalam pertukaran unsur hara dalam sistem pertanian dan berpengaruh terhadap penampilan tanaman pangan lebih baik. Desain lahan pertanian adalah salah satu alternatif yang mungkin digunakan dalam mengatur dan reklamasi lahan dengan mempertimbangkan bahwa lahan pertanian sesuai untuk kontrol erosi, *recovery* dan meningkatkan kesuburan tanah dan pendapatan petani.

Manfaat lain agropastura meliputi 1. menghindarkan serangan HPT, 2. meningkatkan kandungan BO tanah, 3. mengurangi waktu petani terbuang, 4. meningkatkan pendapatan petani, 5. meningkatkan total produksi tanaman yang dihasilkan sekiranya tanah dikelola dengan baik, dan 6. kombinasi

pada model agropastura merupakan salah satu contoh dari keseimbangan pengambilan unsur hara pada setiap lapisan tanah yang berbeda. Selain memiliki keuntungan praktek agropastura juga memiliki kerugian seperti munculnya kompetisi antar tanaman dan pemilihan tanaman yang tidak sesuai berpengaruh terhadap penurunan hasil.

Pemanfaatan model agropastura pada lahan kritis sangat efektif, lahan kritis yang miskin hara akan ditingkatkan kesuburannya. Resiko erosi dan aliran permukaan dapat diproteksi sehingga ketersediaan unsur hara tanah terjaga. Ketersediaan unsur hara tanah akan memelihara kesuburan tanah dan oleh karena itu produksi tanaman dapat dijaga pada level tinggi. Implementasi agropastura mampu menyediakan hijauan pakan secara cukup. Penyediaan pakan dapat melalui rumput dan atau tanaman leguminosa yang ditanam dalam sistem agropastura. Ketersediaan pakan juga dimungkinkan dari residu tanaman pangan yang mungkin dapat digunakan sebagai pakan. Ketersediaan hijauan pakan yang cukup akan mampu mendukung produktivitas ternak khususnya ruminansia.

5.3.3. Silvopastura

Silvopastura merupakan kegiatan kombinasi antara komponen atau kegiatan kehutanan dengan peternakan. Di lingkungan hutan biasanya petani memelihara ternak dan memanfaatkan hutan dan petani biasanya melepaskan ternak ke dalam hutan.

Lahan kosong pada hutan atau hutan tanaman industri biasanya ditanami dengan tanaman pakan dan

atau tanaman penutup tanah sehingga tanaman pakan tersebut dapat dimanfaatkan oleh ternak. Disatu sisi tanaman tersebut bermanfaat bagi ternak dan disisi lain hadirnya tanaman penutup tanah dapat berfungsi sebagai tanaman konservasi tanah maupun air.

5.3.4. Agrosilvopastura

Merupakan kombinasi kegiatan antara komponen atau kegiatan pertanian dengan kehutanan dan peternakan. Pada kegiatan agrosilvopastura ditujukan untuk menghasilkan tanaman pangan dan hutan serta digunakan untuk memelihara ternak.

Pertimbangan untuk menerapkan sistem *agrosilvopastora* meliputi (1) menggantikan sistem tebang bakar yang dibuktikan telah merusak tanah, (2) mencegah terjadinya desertifikasi atau usaha menanam kembali lahan yang terdegradasi, (3) memperbaiki padang rumput penggembalaan dengan menanam jenis semak dan pohon pakan di daerah savanna yang jarang ditumbuhi jenis tanaman pohon, (4) melindungi, regenerasi dan memanfaatkan secara berkesinambungan wilayah berbukit sampai bergunung.

5.3.5. Sistem tiga strata

Sistem tiga strata (STS) diperkenalkan sebagai suatu cara penyediaan hijauan pakan dengan menerapkan penanaman berbagai jenis tanaman dan pakan seperti rumput, legum, semak dan pohon secara sistemik. Sistem tiga strata di desain guna memenuhi kebutuhan pakan sepanjang tahun, dimana residu tanaman pangan disediakan untuk ternak sebagai

standing green. Sistem tiga strata diterapkan pada pertanian lahan kering dengan curah hujan kurang dari 1.500 mm/tahun dengan distribusi 8 bulan kering dan 4 bulan basah. Sistem tiga strata juga dapat diterapkan pada lahan kering dengan topografi datar sampai miring yang tidak produktif untuk tanaman pangan. Sistem tiga strata merupakan sistem pertanian terintegrasi antara tanaman pangan-perkebunan-ternak. Sistem tiga strata telah banyak dipraktekan di Bali dengan produktivitas yang belum optimal mengingat keterbatasan lahan pakan.

Satu unit STS meliputi lahan seluas 2.500m² (0,25 ha) terdiri dari lahan inti 1.600m² dan selimut 900m² dengan bagian pinggir keliling 200m. Bagian inti merupakan lahan di tengah-tengah unit, dan ditanami tanaman pangan seperti jagung, kacang, kedelai dengan penanaman tanpa perlakuan khusus. Bagian selimut berupa lahan yang berada diantara bagian inti dan pinggir, ditanami rumput seperti panikum (*Panicum maximum*), setaria (*Setaria sphacelata*) dan legum seperti stylo (*Stylosanthes guyanensis*) dan centrosema (*Centrosema pubescens*). Bagian pinggir adalah bagian paling luar dan sebagai batas keliling dari 1 unit STS. Jenis pohon yang biasa ditanam adalah waru (*Hibiscus tiliaceus*), randu (*Ceiba pentandra*) dengan jarak 5 x 5 m dan diantaranya ditanami gamal (*Gliricidia sepium*), lamtoro (*Leucaena leucocephala*) atau akasia (*Acacia mangium*).

Stratum 1 sebagai bagian lahan penyedia tanaman pakan dan berfungsi sebagai filter terakhir setelah strata 2 dan 3 bagi hewan/ternak sehingga tidak mengancam

kerusakan tanaman pangan. Pada lahan miring strata 1 diduga memiliki kemampuan dalam menahan laju aliran air hujan sehingga kesuburan tanah dapat dipertahankan termasuk didalam melindungi bintil akar pada tanaman legum.

Stratum 2 dan 3 sebagai pagar hidup sehingga hewan liar seperti babi hutan dan hewan ternak tidak masuk dan mengganggu tanaman pangan di bagian inti. Berfungsi juga sebagai penahan angin kencang guna menghindari kerusakan tanaman pangan.

Berdasarkan berbagai hasil penelitian dilaporkan bahwa produksi hijauan pakan secara kuantitas dan kualitas pada STS lebih tinggi dibanding pada non-STs, dengan kandungan protein kasar tanaman pakan pada STS lebih tinggi daripada non-STs yaitu lebih dari 13%, mutu hijauan meningkat 10-15%, daya tampung dan penambahan bobot badan ternak meningkat, reproduksi, bobot lahir, bobot sapih lebih baik. Oleh karena itu penerapan STS dapat diimplementasikan dalam mendukung keberhasilan pertanian berkelanjutan mengingat STS terbukti mampu memberikan berbagai keuntungan seperti 1. mensuplai kebutuhan hijauan pakan terutama pada saat musim kemarau sehingga STS cocok untuk diterapkan di sebagian wilayah kering Indonesia, 2. memperbaiki produktivitas lahan, dan 3. meningkatkan kualitas tanah dan ternak serta mendukung produksi tanaman pangan.

Setelah mempelajari kompleksitas pertanian berkelanjutan dapat disimpulkan bahwa beberapa hal dimungkinkan untuk dijadikan indikator dalam penyelenggaraannya seperti : 1. dapat dipertahankannya

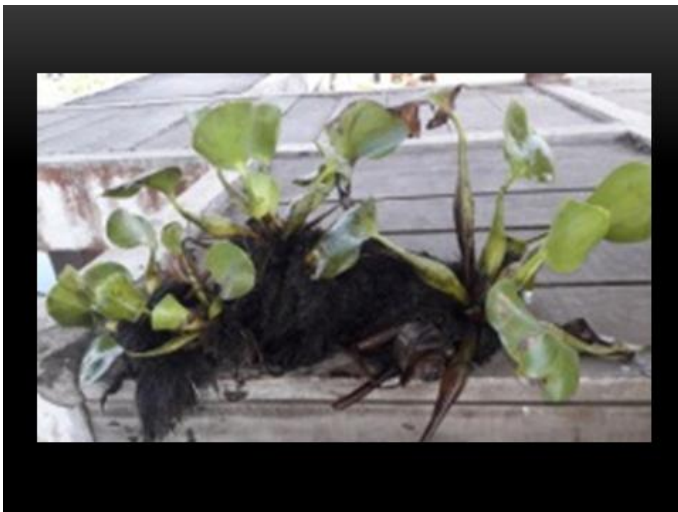
SDA sebagai penunjang produksi tanaman dalam jangka panjang, 2. penggunaan tenaga kerja cukup rendah, 3. tingkat degradasi kesuburan tanah dapat ditekan seminimal mungkin, 4. tetap terjaganya kondisi lingkungan tanah dan air, 5. rendahnya emisi gas rumah kaca, dan 6. terjaganya keanekaragaman hayati.

BAB 6

ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes* SOLMS)

6.1. Karakteristik Eceng Gondok

Secara morfologi atau ilmu tentang bentuk atau struktur tanaman, Eceng Gondok (EG) terdiri dari daun, tangkai daun, akar dan bunga. Bunga berwarna ungu dan pada saat berkembang sangat indah (Ilustrasi 6.1.). Tanaman EG memiliki batang dengan buku pendek, diameter antara 1-2,5cm, panjang 3cm, stolon sebagai bahan pertumbuhan dan perkembangan memiliki garis tengah 2-2,5cm dengan panjang dapat mencapai kurang lebih 40cm.



Ilustrasi 6.1. Karakteristik tanaman EG

Tanaman EG memiliki sistematika sebagai berikut Divisi, Embryophytasi phonogama; subdivisi, Angiospermae; Kelas, Monocotyledoneae; Ordo, Farinozae; Famili, Pontederiaceae; Sub-famili, Panicoideae; Genus, Eichhornia; Spesies, *Eichhornia crassipes* (Mart) Solm.

6.2. Habitat Eceng Gondok

Pertama kali tanaman EG masuk ke Indonesia pada zaman pemerintahan Gubernur Jendral Inggris Stamford Raffles. Diduga tertarik pada penampilan EG yang sangat cantik dan mempesona (*awesome*), maka pada saat itu tanaman EG dibawa ke Indonesia untuk menjadi salah satu koleksi kebun raya Bogor. Sejak saat itu, tanaman EG tersebar ke berbagai perairan di tanah air dan menimbulkan persoalan yang sangat besar terutama pada lingkungan perairan. Tanaman EG tumbuh mengapung pada perairan tenang sehingga dapat bergerak atau berpindah tempat dalam habitatnya dikarenakan oleh hembusan angin.

Tanaman EG dikenal sebagai tanaman air, habitat di danau, sungai, kanal dan perairan tenang lainnya, berkembang biak sangat cepat dengan hanya membutuhkan waktu ± 8 hari atau satu minggu untuk berduplikasi dari 1 menjadi 2 tunas. Biasanya tumbuh pada lingkungan perairan dengan tingkat polusi tinggi, dan oleh karena itu tanaman EG diduga mengandung komponen kimia tinggi termasuk logam berat yang mencemari lingkungan perairan, dikenal sering mengakibatkan problem di lingkungan perairan,

pertanian, lingkungan dan akhirnya berdampak pada sosial ekonomi.

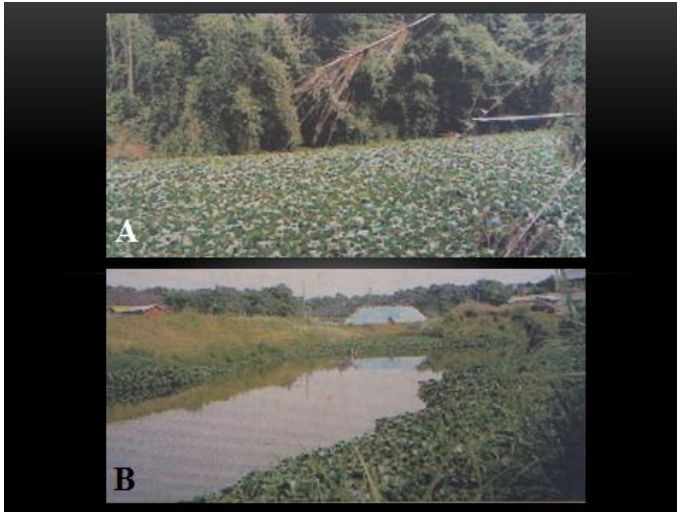
Di wilayah tropis seperti Indonesia tanaman EG banyak tumbuh di berbagai perairan danau dan sungai, sehingga banyak danau dan sungai di Indonesia telah mengalami gangguan tanaman EG seperti danau Rawa Pening dan Sungai Tuntang di Provinsi Jawa Tengah, danau Limboto di Sulawesi, Danau Toba di Sumatera dan danau Sentani di Papua (Ilustrasi 6.2.).



Ilustrasi 6.2. Habitat tanaman EG (A) di danau Rawa, (B) di Sungai Tuntang, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah

Di Jepang, tanaman EG merupakan salah satu dari lebih 50 tanaman gulma air yang tumbuh dan berkembang di berbagai perairan. Tanaman EG dimasukan ke Jepang sebagai tanaman hias pada tahun

1890an, dan pada saat ini telah menyebar luas di berbagai perairan di Jepang dan menjadi masalah besar terutama di wilayah bagian Selatan negara Jepang. Sebagai contoh beberapa habitat tanaman EG dapat ditemukan di dua sungai Kimotsuki dan Matsuda (Gambar 6.3.), di Provinsi Kagoshima, Jepang (subtropika). Tanaman EG di kawasan Kagoshima tidak hanya menimbulkan persoalan di sungai tetapi juga merambah pada saluran irigasi pertanian, saluran transportasi dan danau.



Ilustrasi 6.3. Habitat tanaman EG (A) di Sungai Kimotsuki, (B) di di Sungai Matsuda, Provinsi Kagoshima, Jepang

6.3. Problem lingkungan - eceng gondok

Karakter pertumbuhan yang sangat cepat dari tanaman EG mengakibatkan persoalan lingkungan

terganggu. Tanaman EG memiliki kemampuan menggandakan diri sangat cepat dimana rerata pertumbuhan tanaman EG mencapai dobel yaitu dari 1 menjadi 2 tunas hanya membutuhkan waktu sekitar 1 minggu, dengan berat basah rata-rata tanaman pada hari kedupuluh delapan dapat mencapai $\pm 180g$. Akibat pertumbuhan yang sangat cepat tersebut mengakibatkan perairan dimana tanaman EG eksis cepat tercover atau tertutup oleh tanaman EG. Pada saat massa tanaman EG menutup perairan maka proses evapotranspirasi bergerak dengan cepat sehingga air terbangun melalui proses evapotranspirasi tersebut dan akhirnya mengakibatkan pengeringan atau pendangkalan habitat tanaman EG. Pendangkalan permukaan perairan tentu menghambat transportasi air di beberapa aliran sungai mengalami penyumbatan tanaman EG. Salah satu sudut danau Rawa Penng di Kabupaten Semarang Jawa Tengah yang mengalami pendangkalan dikarenakan keberasaan tanaman EG (Ilustrasi 6.4.).



Ilustrasi 6.4. Perairan danau Rawa Pening yang mengalami pendangkalan karena keberadaan tanaman EG

Pertumbuhan tanaman EG yang sangat cepat tersebut dikarenakan dipacu oleh peningkatan kualitas habitat tanaman EG. Banyaknya nutrisi baik yang berasal dari buangan industri dan efek samping kegiatan pertanian juga diduga sebagai penyebab pertumbuhan tanaman EG menjadi sangat cepat. Kondisi demikian disebut sebagai sebagai Eutropifikasi yaitu pertumbuhan tanaman EG meningkat dengan sangat cepat dikarenakan terjadinya pengkayaan unsur hara yang merupakan dampak kegiatan pertanian dan atau industri di sekitar habitat tanaman EG. Sebagai akibatnya banyak habitat EG atau perairan dimana EG berada mengalami “penciutan” luasan dikarenakan sebagian permukaan diselimuti oleh tanaman EG.

Sebagai contoh luas danau Rawa Pening pada tahun 2002 mencapai 2.670 ha, tetapi pada tahun 2015 tercatat 850 ha tertutup tanaman EG ha (30%) dari seluruh luasannya, atau bertambah 2,3%/tahun luasan tertutup oleh tanaman EG. Sementara itu, kasus lain yang terjadi di danau Limboto di Provinsi Gorontalo penutupan tanaman EG meningkat sebesar 1,75%/tahun (1970-2005).

6.4. Manfaat Eceng gondok

Biomasa tanaman EG merupakan BO yang memiliki potensi dapat dimanfaatkan sebagai bahan pupuk organik, bahan dasar industri atau indikator pencemaran lingkungan khususnya lingkungan perairan. Namun demikian disamping keberadaan tanaman EG sering menimbulkan persoalan bagi lingkungan perairan, jika dikelola dengan baik dan bijak tanaman EG memiliki potensi sangat baik untuk dimanfaatkan dalam mendukung aktivitas manusia.

Berdasarkan potensinya, tanaman EG dapat dimanfaatkan dalam kegiatan pertanian seperti sebagai sumber BO untuk diaplikasikan dalam kegiatan pertanian terutama PO, mengingat dalam aktivitas PO tanaman EG memiliki potensi sebagai sumber utama pemasok BO. Tanaman EG yang belum diberikan perlakuan kecuali pelayuan mengandung beberapa komponen kimia terutama unsur hara makro seperti N, P dan K yang dapat dipergunakan untuk pengkayaan nutrisi tanah. Tanaman EG yang dilayukan memiliki kandungan N, P, K, Ca, dan Mg berturut-turut 0,84%; 1,32%; 2,14%; 2,14% dan 0,12%, sementara itu

tanaman EG yang dikomposkan masing-masing mengandung 1,35%N, 1,27%P, 2,42%K; 2,26%Ca dan 0,17%Mg.

Berbagai jenis pupuk organik yang dapat dipergunakan untuk memperbaiki kualitas tanah antara lain kompos, pupuk kandang, humus dan pupuk hijau. Salah satu bahan dasar yang dapat digunakan sebagai kompos adalah tanaman EG. Disamping itu, tanaman EG memiliki potensi menyerap logam berat dan residu pestisida sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif indikator terhadap polusi lingkungan. Tanaman EG juga memiliki potensi besar untuk diutilisasi dalam kegiatan pertanian, peternakan dan industri. Dalam pertanian tanaman EG dapat dimanfaatkan sebagai bahan kompos, mulsa, biogas, dan pakan. Tanaman EG juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber BO bagi perbaikan ketersediaan unsur hara bagi tanaman.

Pada budidaya tanaman padi dengan menggunakan pelabelan ^{15}N , tanaman EG terbukti melepaskan nitrogen kedalam tanah dan diserap oleh tanaman padi. Sementara itu, aplikasi tanaman EG pada pertanaman sayuran terbukti meningkatkan produksi BK dan kandungan N beberapa tanaman seperti bayam, okra dan kedelai hijau/edamame.

Sebelum diaplikasikan dalam kegiatan pertanian khususnya kegiatan PO, tanaman EG dapat ditingkatkan kualitasnya melalui proses pengomposan, dan selanjutnya jika kompos berbahan dasar tanaman EG diinkorporasikan kedalam tanah mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara tanah. Walaupun pada kenyataannya tanaman EG memiliki kelemahan

dalam proses dekomposisi mengingat tanaman EG memiliki kandungan komponen bersifat lambat untuk didekomposisi seperti selulosa, hemi-selulosa dan lignin. Tanaman EG memiliki kandungan lignin berkisar antara 6,0-8,7% dan total selulosa antara 49,9-57,7%, hasil penelitian lain mencatat bahwa tanaman EG mengandung 4,8%-29,3% lignin, 33,2% hemiselulosa dan dalam 100%BK tanaman EG mengandung 1,1% Lemak, 11,95% PK, 37,10% SK, 25,98% BETN dan 23,8% abu.

Produktivitas tahunan tanaman EG pada perairan alam selama musim pertumbuhan (Mei-Oktober) sekitar 20 ton BK/ha/tahun. Hasil penelitian lain dicatat bahwa tanaman EG mampu meningkatkan produksi biomasanya sekitar 12%/hari, dengan menghasilkan anakan dalam jumlah banyak dengan biomasa bervariasi antara 20-30,5 kg BS/m². Total biomasa sebagai *standing crop* dapat berkisar 42 kg/m² atau 420 ton BS/ha dengan kandungan BK normal berkisar 5-7% dari BS. Nilai tersebut setara dengan sekitar 2,5 kg BK/m² atau 25 ton BK/ha. Namun demikian, potensi besar yang dimiliki oleh tanaman EG belum diutilisasi secara optimal.

Pemanfaatan tanaman EG sebaiknya dipertimbangkan sebagai salah satu pengontrol polusi baik pada lahan pertanian maupun lingkungan. Pemanfaatan tanaman EG pada praktek pertanian dapat dilakukan dengan cara mengimkorporasikan tanaman EG pada lahan pertanian, sehingga diharapkan dapat mendorong laju mineralisasi dan memperkaya kandungan hara tanah. Inkorporasi tanaman EG

kedalam tanah pertanian dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung tanaman EG tanpa diberikan perlakuan dimasukan kedalam tanah, sementara itu secara tidak langsung tanaman EG diberikan perlakuan sebelum inkorporasi.

Kualitas tanaman EG dapat ditingkatkan dengan pengomposan sebelum diaplikasi kedalam tanah pertanian mengingat memanfaatkan tanaman EG tanpa memberikan perlakuan tidak memberikan efek yang signifikan terhadap tanaman utama. Substitusi EG yang dilayukan terhadap pupuk anorganik tidak menunjukkan perbedaan nyata pada paramater pertumbuhan tanaman rumput gajah seperti luas daun, kadar khlorofil dan laju fotosintesis. Pada penelitian terkini bahwa penampilan tanaman EG sebagai mulsa memberikan efek signifikan terhadap produksi edamame dibanding budidaya edamame dengan mulsa jerami padi dan ampas tebu. Paramater jumlah daun, jumlah polong dan berat biji tanaman edamame dengan mulsa tanaman EG nyata lebih tinggi dibanding budidaya dengan memanfaatkan jerami padi dan ampas tebu sebagai mulsa.

Langkah dalam aplikasi tanaman EG sebagai sumber BO pada lahan pertanian dapat dilakukan mengikuti prosedur pada Ilustrasi 6.5. Proses pengeringan di bawah sinar matahari biasanya mencapai 5-7 hari tergantung pada cuaca.



Ilustrasi 6.5. Prosedur aplikasi tanaman EG sebagai sumber BO pada lahan pertanian

Tanaman EG dapat dipanen dari habitatnya baik menggunakan peralatan modern atau secara manual. Setelah dipanen tanaman EG sebaiknya dipotong kecil-kecil berukuran panjang sekitar 5cm. Selanjutnya potongan tanaman EG dikeringanginkan di bawah sinar matahari. Tanaman EG yang telah layu dapat langsung diaplikasikan kedalam tanah atau dapat diberikan perlakuan sebelum dicampur ke tanah. Baik pada penerapan langsung maupun tidak langsung, segera setelah aplikasi tanaman EG kedalam tanah dilakukan pengadukan sehingga tercampur secara merata. Tindakan selanjutnya adalah membiarkan tanaman EG yang telah diinkorporasikan kedalam tanah beberapa

waktu sebelum dilakukan penanaman tanaman pertanian.

Khusus pada penerapan tidak langsung dapat dilakukan peningkatan kualitas tanaman EG. Beberapa cara dapat ditempuh antara lain dengan menambahkan sumber energi bagi mikroorganisme yang akan dimanfaatkan selama proses fermentasi dengan cara menambahkan tetes (hasil sisa pengolahan tanaman tebu menjadi gula) sebagai sumber energi, menambahkan larutan yang diperoleh dari abu sekam padi dikarenakan dalam abu sekam padi masih terkandung beberapa unsur basa seperti KOH yang secara langsung berfungsi untuk melepaskan unsur lignin dari senyawa lignoselulosa dan ligno-hemiselulosa sehingga selulosa dan hemiselulosa dapat dimanfaatkan secara optimal.

Dalam proses pengomposan dapat ditambahkan unsur nitrogen untuk meningkatkan kualitas produk kompos EG misal dengan menambahkan urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$). Selanjutnya campuran tanaman EG dengan berbagai tambahan komponen tetes, larutan abu sekam padi, dan urea diperam untuk beberapa waktu (1-3 minggu) dan dibiarkan secara anaerobik. Diharapkan proses pemeraman akan menghasilkan pupuk organik berbasis tanaman EG dengan kualitas baik. Setelah menjadi pupuk organik EG dapat diaplikasi pada tanah pertanian sehingga penggunaannya menjadi salah satu alternatif pemecahan permasalahan yang ditimbulkan karena keberadaan tanaman EG.

Tanaman EG juga dikenal sebagai tanaman air yang berfungsi membersihkan air dari limbah atau

racun akibat kegiatan pertanian dan manufaktur karena bisa menyerap polutan logam berat dan residu pestisida. Berdasarkan fakta tersebut maka tanaman EG dapat dipertimbangkan untuk dimanfaatkan sebagai tanaman indikator dalam kontrol lingkungan perairan. Pada habitat tanaman EG dengan biomasa berlimpah maka patut diduga bahwa kemungkinan telah terjadi pencemaran pada lingkungan perairan tersebut dengan substansi baik logam berat maupun nutrisi yang terdistribusi baik dari kegiatan pertanian maupun industri. Jika hal ini dapat dideteksi dengan baik maka tanaman EG dapat dimanfaatkan sebagai salah satu indikator pencemaran lingkungan sehingga tanaman EG juga dapat memperbaiki lingkungan yang tercemar dengan lebih tepat, akurat dan efisien. Disisi lain jika tanaman EG tumbuh dan berkembang pada lingkungan perairan yang telah tercemar, maka penggunaan tanaman EG sebagai sumber BO untuk pertanian dan pakan perlu dipertimbangkan. Tanaman EG dengan kandungan bahan kontaminan akan sangat tidak mendukung bagi kedua fungsi dimaksud.

Pencemaran logam berat beracun pada air dan tanah merupakan masalah lingkungan utama dan banyak pendekatan yang dilakukan dengan remediasi konvensional tidak memberikan solusi yang dapat diterima. Potensi tanaman EG sebagai fitoremediasi untuk menghilangkan kandungan logam berat seperti kadmium (Cd) dan seng (Zn) telah dilakukan baik pada skala percobaan laboratorium maupun lapang. Pada percobaan laboratorium logam berat seperti Cd dan Zn sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan relatif

tanaman EG. Kandungan Cd dan Zn pada media cepat hilang terutama dalam empat hari pertama. Akumulasi Cd dan Zn pada pucuk dan akar tanaman EG meningkat dengan konsentrasi awal dan juga dengan berlalunya waktu. Tanaman EG yang diperlakukan dengan penambahan 4 mg Cd/liter ditemukan konsentrasi logam tertinggi dicapai pada akar dan pucuk setelah 8 hari masa perlakuan, masing mencapai 2.044 dan 113,2 mg/kg. Sementara itu tanaman EG yang diperlakukan dengan 40 mg Zn/liter menunjukkan konsentrasi logam tertinggi di akar dan di tunas, berturut-turut mencapai 9652,1 dan 1926,7 mg/kg setelah mendapatkan perlakuan selama 4 hari. Berdasarkan hasil penelitian tersebut maka dapat disimpulkan bahwa tanaman EG bermanfaat sebagai akumulator Cd dan Zn dan oleh karena itu dapat digunakan untuk mengolah air yang terkontaminasi dengan Cd dan Zn konsentrasi rendah.

6.5. Pengendalian Penyakit Tanaman

Pengendalian hama dan penyakit tanaman (HPT) merupakan usaha yang harus dilakukan mengingat aspek HPT sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Terdapat empat metoda dalam pengendalian HPT meliputi (1) eksklusi yaitu menjaga atau mencegah jangan sampai suatu penyakit masuk ke suatu wilayah tertentu, (2) proteksi adalah melindungi tanaman dari serangan penyakit, (3) eradikasi ialah mengendalikan penyakit di daerah pertanaman, dan (4) imunisasi yaitu memberikan kekebalan tanaman terhadap serangan penyebab penyakit.

Pengendalian HPT dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya (1) menggunakan perlakuan panas, (2) penggunaan air sabun, dan (3) penggunaan penghalang. Sementara itu, imunisasi dapat dilakukan dengan cara meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan HPT. Langkah-langkah program pengendalian terpadu dapat dilakukan dengan (1) pencegahan, (2) monitoring (pemantauan), (3) penentuan ambang (ekonomi/tindakan), (4) pengendalian, dan (5) evaluasi.

Strategi pengendalian penyakit dapat dilakukan melalui (1) antibiosis dan *cell-wall degrading enzymes* merupakan strategi biokontrol yang cukup berhasil, disamping *parasitisme*, (2) *rizosfir* adalah target yang lebih baik daripada *phylloplane* untuk pengendalian penyakit tanaman. Beberapa contoh bakteri sebagai antagonis ditunjukkan pada (1) keberhasilan pengendalian penyakit *crown gall* oleh bakteri tanah *A. radiobacter* var. *tumefaciens*, (2) biokontrol penyakit *take-all* (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) oleh *Trichoderma* spp. dan *Pseudomonas fluorescens*, dan (3) *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) merupakan kelompok *rizhobakteri* yg mampu meningkatkan pertumb tanaman melalui mekanisme produksi antibiotik, siderofor, maupun *plant growth hormones*.

Beberapa jamur sebagai antagonis juga dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan penyakit tanaman diantaranya (1) komersialisasi agensia biokontrol penyakit tanaman pertama (1963) adalah penggunaan *Peniophora gigantea* untuk mengendalikan penyakit busuk akar pinus *Heterobasidion* (*Fomes*) *annosum* (2)

Trichoderma (*T. viride*, *T. harzianum*, *T. hamatum*, *T. koningii*) merupakan fungi antagonis untuk mengendalikan berbagai patogen tanaman. Mekanisme pengendalian umumnya melalui parasitisme dan antibiosis.

Sementara itu, pengelolaan secara kimia dilakukan dengan menggunakan bahan kimia antara lain herbisida, tetapi pengendalian secara kimia sangat tidak dianjurkan dikarenakan memiliki sifat yang kurang baik terhadap kualitas dan keseimbangan lingkungan. Sementara itu pengendalian secara biologis dengan menggunakan individu hidup seperti ikan lohan. Ketiga cara fisik, kimia dan biologi dapat diintegrasikan sehingga dilakukan pengelolaan secara terpadu dan diharapkan akan diperoleh *output* yang lebih optimal

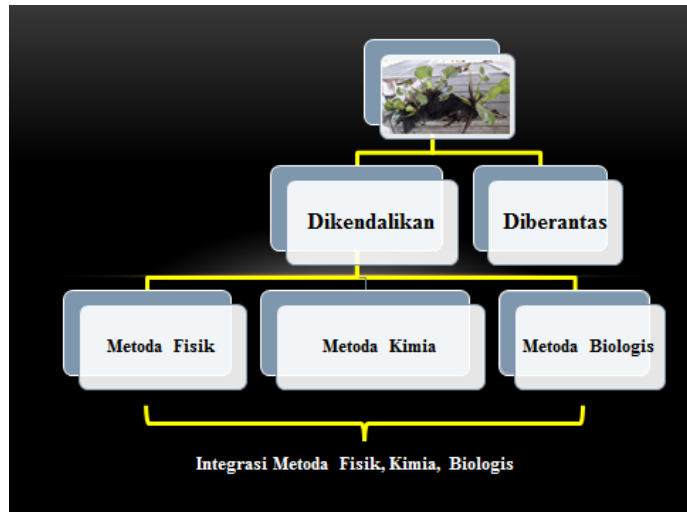
6.5. Pengendalian Tanaman Eceng Gondok

Seperti telah banyak dilaporkan oleh para pakar tanaman EG bahwa sejatinya tanaman EG memiliki potensi yang sangat besar dalam “menghancurkan” lingkungan dan sebaliknya, tanaman EG selain dikenal sebagai gulma perairan tetapi tanaman EG memiliki potensi untuk diutilisasi. Oleh karena itu, terjadi pro kontra terhadap keberadaan tanaman EG. Beberapa ahli lingkungan menyatakan bahwa keberadaan tanaman EG harus dimusnahkan, sementara itu, para ahli pertanian, peternakan dan industri *tidak rela* jika tanaman EG dimusnahkan mengingat tanaman EG dapat dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan yang bermanfaat. Di lapang tanaman EG dimanfaatkan oleh

petani untuk meningkatkan kesuburan tanah dan digunakan sebagai pengganti penggunaan pupuk kimia yang secara ekonomis penggunaan pupuk kimia mahal dan berdampak negatif pada lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan yang efektif, efisiensi dan berdaya guna sehingga keberadaan tanaman EG tetap eksis tetapi harus dikelola dengan baik dan bijak sehingga persoalan yang ditimbulkan dapat diredam dan potensinya dapat dikelola dengan baik sehingga nilai positif atas keberadaan tanaman EG benar-benar dapat diambil bagi kemanfaatan kehidupan manusia (Ilustrasi 6.6.).

Berdasarkan ulasan di atas bahwa tanaman EG memiliki dua hal yang bertentangan, di satu pihak tanaman EG menimbulkan berbagai masalah lingkungan khususnya lingkungan perairan tetapi di lain pihak tanaman EG dapat dimanfaatkan secara optimal dalam mendukung pembangunan ekonomi.

Sebenarnya ada dua pilihan terhadap keberadaan tanaman EG, dikendalikan atau dikontrol atau dimusnahkan. Memusnahkan tanaman EG berarti merusak sistem dalam lingkungan perairan dimana terdapat habitat tanaman EG. Oleh karena itu, perlu dicari jalan keluar terbaik dimana dapat dicoba dikendalikan keberadaan sehingga potensi tanaman EG pada sektor pertanian, lingkungan, ekonomi bahwa pariwisata dapat dioptimalkan.



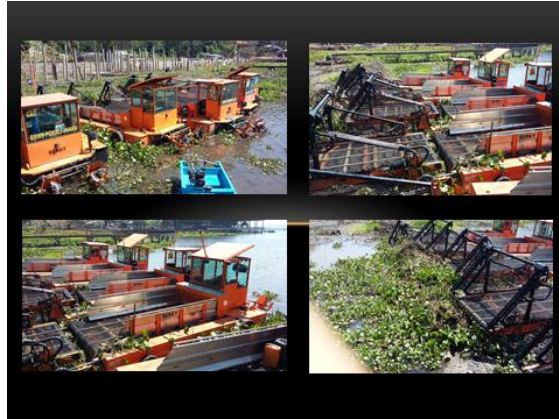
Ilustrasi 6.6. Strategi pengelolaan tanaman EG

Dikenal berbagai macam cara yang dapat digunakan untuk mengendalikan keberadaan tanaman EG dapat antara lain menggunakan metoda fisik, kimia, biologi dan integrasi dari ketiga cara tersebut.

6.5.1. Pengendalian Eceng Gondok secara Fisik

Di tanah air pada saat ini yang dilakukan untuk pengendalian tanaman EG adalah pengelolaan secara fisik, dimana dapat dilakukan secara manual atau menggunakan peralatan mesin ringan maupun modern. Sebagai contoh pengelolaan secara fisik terhadap tanaman EG telah dilakukan oleh pemerintah di danau Rawa Pening, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah dengan menggunakan peralatan modern (Ilustrasi 6.7.), dan juga dilakukan oleh masyarakat setempat secara manual (Ilustrasi 6.8.). Namun demikian,

perkembangan tanaman EG yang sangat cepat kurang dapat diimbangi dengan pengelolaan fisik.



Ilustrasi 6.7. Pengelolaan tanaman EG dengan metoda fisik menggunakan peralatan modern di Rawa Pening



Ilustrasi 6.8. Pengelolaan tanaman EG dengan metoda fisik secara manual di Rawa Pening

Pengelolaan secara fisik memerlukan waktu yang panjang dan biaya tinggi, tetapi jika diintegrasikan dengan pemanfaatannya tentu diharapkan akan diperoleh hasil yang optimal. Kecepatan pengelolaan atau pengambilan tanaman EG baik secara manual maupun dengan memberdayakan mesin berat berpacu dengan kecepatan pertumbuhan tanaman EG. Jika diharapkan pemberantasan berhasil maka kecepatan pengambilan tanaman EG dari habitatnya harus mampu melebihi kecepatan pertumbuhan tanaman EG. Oleh karena itu diperlukan kajian yang sistematis terhadap keberadaan dan potensi pertumbuhan dan perkembangan tanaman EG, sehingga dapat diperoleh hasil yang tepat sampai seberapa jauh tanaman EG berkembang. Disamping itu, kajian pemanfaatan juga harus dilakukan dengan masif sehingga diperoleh seberapa cepat potensi tanaman EG dapat direlisasikan. Memperbandingkan kecepatan laju pertumbuhan dan perkembangan tanaman EG dan laju pemanfaatannya akan diperoleh formula yang tepat dalam pengelolaan tanaman EG.

6.5.2. Pengendalian tanaman EG secara Biologi

Salah satu cara pengendalian hayati tanaman EG secara biologi adalah dengan menggunakan patogen. Patogen mampu mengendalikan tanaman EG dengan menyebabkan tanaman menjadi sakit hingga pada akhirnya mati. Beberapa patogen yang mampu mengendalikan tanaman EG antara lain, *Uredo eichhorniae*, *Acremonium zonatum*, *Alternaria eichhorniae*, *Cercospora piaropi*, *Myrothecium*

roridum, dan *Rhizoctonia solani*. *Uredo eichorniae*, penggunaan patogen dari kelompok jamur ini dikenal sebagai *mycoherbicide*. Jamur yang banyak dikaji dalam pengendalian eceng gondok adalah *Alternaria eichhorniae*. Jamur *A. eichhorniae* merupakan jamur patogen dengan inang spesifik tanaman EG, yang memiliki kemampuan untuk menyebabkan kerusakan dan mengendalikan tanaman EG. Namun, pengendalian tanaman EG dengan menggunakan *mycoherbicide* ini memiliki hambatan yaitu dibutuhkan waktu yang relatif lama bagi patogen untuk menginfeksi inangnya (Ilustrasi 6.9.). Diperlukan waktu hingga 10 jam semenjak inokulasi patogen hingga kolonisasi patogen di dalam tubuh inang.



Ilustrasi 6.9. A. Tanaman EG kontrol sehat, B. Tanaman EG sakit setelah inokulasi patogen *Phaeoacremonium* sp. dengan kerapatan spora 1×10^6 spora/mL

Gejala umum yang muncul pada tanaman EG yang terinfeksi patogen dari jenis jamur adalah adanya bercak coklat dan hitam karena nekrosis jaringan tanaman. Jamur dari genus *Phaeoacremonium* mampu mengendalikan tanaman EG. Secara *bioassay*, gejala pada tanaman EG mulai muncul pada 48 jam setelah inokulasi, 50% tanaman bergejala pada 84 jam setelah inokulasi, dan setelah 144 jam inokulasi 90% tanaman menunjukkan gejala penyakit. Percobaan secara *invitro* menunjukkan bahwa dengan inokulasi *Phaeoacremonium* sp. mampu mematikan tanaman EG 144 jam setelah inokulasi dengan gejala klorosis pada daun dan nekrosis (kematian jaringan tanaman).

Jamur *Uredo eichorniae* merupakan jamur karat yang sebarannya luas dan dikenal mampu mengendalikan tanaman EG. Jamur *U. eichorniae* banyak ditemukan di Argentina dan Brazil dan sudah banyak dikaji oleh para ahli. Namun, kajian dari jamur *U. eichorniae* kurang berkembang karena siklus hidupnya sulit untuk digambarkan secara tepat.

Selain patogen dari jenis jamur, virus juga merupakan patogen yang diharapkan mampu untuk mengendalikan gulma. Spesies baru dari *Potyvirus* yakni *Araujia Mosaic Virus* (ArjMV). Virus ArjMV banyak ditemukan di Argentina dan Uruguay dan mampu menginfeksi beberapa jenis gulma lokal. Namun demikian, masih diperlukan banyak kajian mengenai patogen ini karena dikhawatirkan akan menginfeksi tanaman lainnya karena belum adanya kajian mengenai inang spesifik.

Meskipun belum sebanyak jamur, kajian bakteri dan virus untuk mengendalikan gulma juga masih perlu dilakukan. Aplikasi menggunakan gen patogen, produk gen, dan mekanisme secara genetik untuk mengendalikan gulma harus lebih ditekankan. Pemahaman mengenai interaksi inang dengan patogen diharapkan mampu digunakan sebagai dasar metode terbaru mengenai cara aksi herbisida yang mampu mengendalikan pertumbuhan gulma sehingga tidak muncul spesies-spesies yang invasif.

Selain dengan menggunakan patogen, pengendalian hayati gulma dapat dilakukan dengan memanfaatkan musuh alami. Musuh alami merupakan serangga herbivora yang mempunyai inang spesifik tanaman EG. Sejak tahun 1970-an serangga seperti *Neochetina eichhorniae* Warner (Coleoptera: Curculionidae), *Neochetina bruchi* Hustache (Coleoptera: Curculionidae), *Niphograptus albiguttalis* (Lepidoptera: Crambidae). Musuh alami yakni tungau *Orthogalumna terebrantis* Wallwork (Akarina: Galumnidae) merupakan salah satu musuh alami yang secara tidak langsung diintroduksi dan persebarannya luas. *Samea multiplicalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) dan *Synclita oblitteratis* (Walker) (Lepidoptera: Crambidae) merupakan dua spesies herbivora yang keberadaannya melimpah dengan tanaman EG sebagai inang.

Introduksi kumbang sebagai musuh alami tanaman EG sudah banyak dilakukan di Amerika, Australia, Thailand, Afrika Selatan, Ghana, Malawi, Benin, Sudan, Papua New Guinea, Panama, Zambia,

dan Zimbabwe. Genus *Neochetina* sp. merupakan salah satu genus kumbang yang paling banyak dikembangkan untuk pengendalian tanaman EG. Dua spesies dari genus tersebut antara lain *Neochetina bruchi* dan *Neochetina eichhorniae*. Siklus hidup *Neochetina* sp. secara umum adalah telur (7-14 hari), larva (3 instar: 32-90 hari), pra pupa (7-10 hari), pupa (23 hari), dan dewasa (72-120 hari). Seekor kumbang betina dewasa mampu menghasilkan lebih dari 200 telur (Ilustrasi 6.10. dan 6.11.).

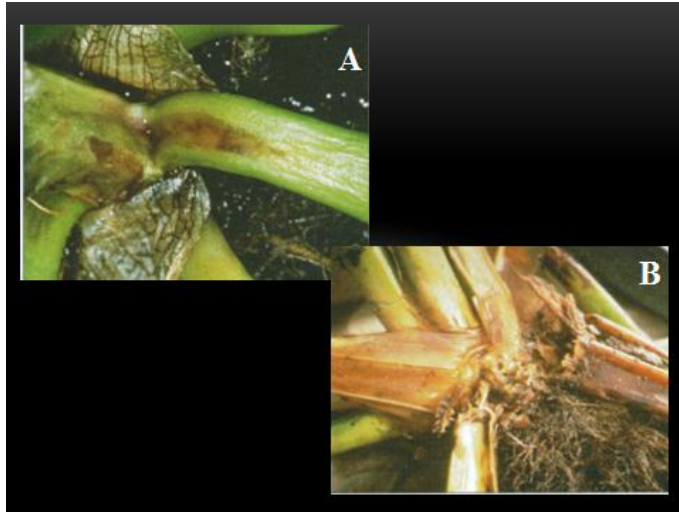


Ilustrasi 6.10. Siklus hidup kumbang *Neochetina* sp.



Ilustrasi 6.11. Kumbang *Neochetina eichhorniae* (kiri) dan *Neochetina bruchi* (kanan)

Fase larva ditemukan pada bagian perakaran tanaman EG. Larva bisa dipastikan keberadannya apabila pada bagian perakaran dan batang tanaman EG terdapat gejala nekrotik. Larva memakan bagian perakaran dan menyebabkan transportasi air ke tanaman terganggu, sehingga tanaman mudah tenggelam. Kumbang biasanya berada pada bagian daun, selain menyebabkan luka pada daun, kumbang menghisap *sap* tanaman, menyebabkan tanaman menjadi kerdil dan keriting karena terganggunya proses transportasi nutrisi (Ilustrasi 6.12.).

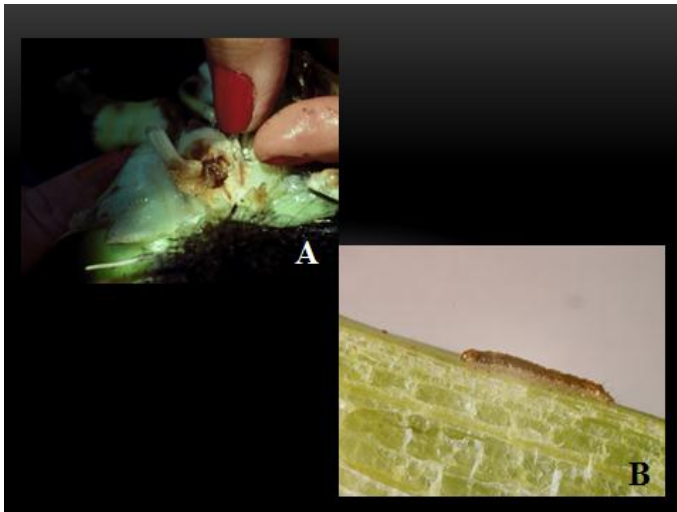


Gambar 6.12. A. Gejala awal (nekrotik) pada tanaman EG akibat larva *Neochetina* sp. B. Gejala lanjut (kerusakan akar) pada tanaman EG akibat larva *Neochetina* sp.

Selain kumbang dari genus *Neochetina* sp., *Eccritotarsus catarinensis* juga merupakan salah satu kumbang yang berpotensi mengendalikan tanaman EG. Contoh tanaman EG yang rusak akibat *Neochetina* sp (Gambar 6.12.). Kumbang ini berhasil mengendalikan tanaman EG di Brazil. Tipe mulut dari kumbang ini adalah pencucuk penghisap, yang menghisap *sap* tanaman sehingga menyebabkan klorosis (Ilustrasi 6.13.).



Ilustrasi 6.13. Tanaman EG rusak akibat *Neochetina* sp.



Ilustrasi 6.14. A. Larva *Niphograpta albiguttalis*, B. Larva *Xubida infusellus*

Serangga lain yang mampu mengendalikan tanaman EG antara lain *Niphograpta albiguttalis* dan *Xubida infusellus*. Fase larva dari kedua spesies ini merupakan fase yang menyebabkan kerusakan pada tanaman EG. Larva masuk ke batang tanaman, jaringan meristem apikal, dan menyebabkan kerusakan akar tanaman. Ngengat berperan dalam proses peletakan telur di daun.

Pengendalian tanaman EG secara biologi juga dapat dilakukan dengan memberdayakan ikan koan (*Ctenopharyngodon idella*) merupakan spesies ikan yang banyak eksis di beberapa negara, baik negara beriklim dingin maupun tropis (Ilustrasi 6.15.). Ikan koan merupakan ikan herbivora, yang mulai diintroduksi di Sumatra sejak tahun 1915 dan dibawa ke Jawa pada tahun 1949.



Ilustrasi 6.15. Ikan Koan (*Ctenopharyngodon idella*)

Ikan koan tumbuh lebih cepat di daerah tropis karena sistem metabolismenya yang tinggi. Ikan koan terbukti efektif mengendalikan tanaman EG (mengurangi tutupan luasan). Ikan koan tumbuh lebih baik pada kondisi oksigen terlarut tinggi, lebih besar dari 5 ppm pada kondisi air mengalir. Semakin banyak ikan yang ditebar/diintroduksi di perairan, maka tutupan luasan tanaman EG berkurang. Penelitian dilaksanakan pada tahun 2010 di perairan Danau Limboto, Provinsi Gorontalo menunjukkan bahwa penebaran ikan koan sebanyak 200 ekor pada waring berukuran 32 m^3 ($6,25 \text{ ekor/m}^3$) berpengaruh signifikan terhadap luas tutupan tanaman EG dibanding tebar ikan sebanyak 0, 100 dan 400 ekor. Padat tebar ikan koan sebesar $6,25 \text{ ekor/m}^3$ dengan berat ikan 10 g/ekor efektif untuk mengendalikan populasi tanaman EG di Danau Limboto.

6.5.3. Pengendalian Hayati

Pengendalian hayati gulma merupakan suatu pilihan untuk tidak memberantas gulma secara cepat, demi menjaga keseimbangan ekosistem. Secara keseluruhan, penggunaan musuh alami akan lebih murah apabila dibandingkan dengan penggunaan herbisida. Program pengendalian hayati dengan introduksi musuh alami yang sukses, akan lebih efisien dari segi biaya, pengelolaan gulma yang berkelanjutan, serta minim pengaruhnya terhadap organisme non-target dan lingkungan.

Pengendalian hayati gulma, dapat dilakukan dengan melepaskan agensia hayati ke lokasi atau

tempat tertentu, dan diharapkan akan menyebar dengan sendirinya. Pengendalian gulma dengan cara ini merupakan pengendalian dengan pendekatan ekologis dan biasanya bekerja dengan baik pada sistem yang relatif stabil. Secara umum, organisme pengganggu tumbuhan target tidak akan berkembang menjadi resiten terhadap suatu agensia hayati. Introduksi atau pengenalan agensia hayati secara masal dapat dilakukan apabila teknologi perbanyakan agensia hayati tersebut telah mapan dan aplikasi diulang secara berkala pada rentang waktu tertentu.

Beberapa langkah yang harus diperhatikan dalam pengendalian gulma meliputi : 1. *Identifikasi gulma target* meliputi morfologi, habitat, cara berkembang biak dan siklus hidup dari gulma penting untuk dilakukan sehingga dapat diperoleh pengendalian yang paling tepat dan efisien; 2. *Identifikasi agensia hayati dan spesifikasi inang*, Agensia hayati yang dilepaskan di lingkungan hendaknya memiliki inang yang sangat spesifik (khusus) dalam menginfeksi atau memangsa inang sehingga tidak mengganggu keseimbangan ekosistem; 3. *Pelepasan terkendali*, Pada saat introduksi agensia hayati di lapangan hendaknya dilakukan pengamatan secara berkala dan menyeluruh sehingga perbandingan populasi agensia hayati dengan gulma target dapat terkontrol; 4. *Pelepasan penuh dan identifikasi tempat pelepasan yang optimal*, Penentuan lokasi pelepasan agensia hayati harus dilakukan secara tepat agar agensia hayati tersebut dapat berkembang secara optimal dan bertahan pada kondisi lingkungan yang baik sehingga populasi agensia hayati akan terus

stabil; 5. *Pemantauan* (Monitoring), pemantauan sangat penting dilakukan untuk mengetahui efektivitas suatu agensia hayati dan kemampuannya bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Keseimbangan ekosistem juga perlu diperhatikan terkait ketersediaan inang dan makanan bagi agensia hayati. Efektivitas suatu agensia hayati tergantung pada tingkat permanensi, stabilitas, dan kenyamanan umum pada kondisi lingkungan; 6. *Konservasi*, Pemeliharaan agensia hayati perlu dilakukan agar keseimbangan ekosistem tetap stabil dan terjaga. Konservasi agensia hayati paling baik dilakukan di habitatnya yang kekurangan kebutuhan pokok tertentu, sehingga habitat dapat dimanipulasi sesuai dengan kebutuhan agensia hayati tersebut.

Pengendalian hayati memiliki beberapa kelemahan yakni penelitian mencari pemecahan masalah gulma dengan pengendalian hayati memerlukan staf teknis dan pakar yang banyak, biaya yang tinggi, dan waktu yang lama. Hasil dari pengendalian hayati terhadap gulma sasaran tidak langsung terlihat segera. Keberhasilan aplikasi agensia hayati di satu negara belum tentu selalu berhasil di negara yang lain. Oleh karena itu, perlu adanya kajian yang mendalam terkait inang, agensia hayati, lingkungan, dan interaksi dari faktor-faktor tersebut.

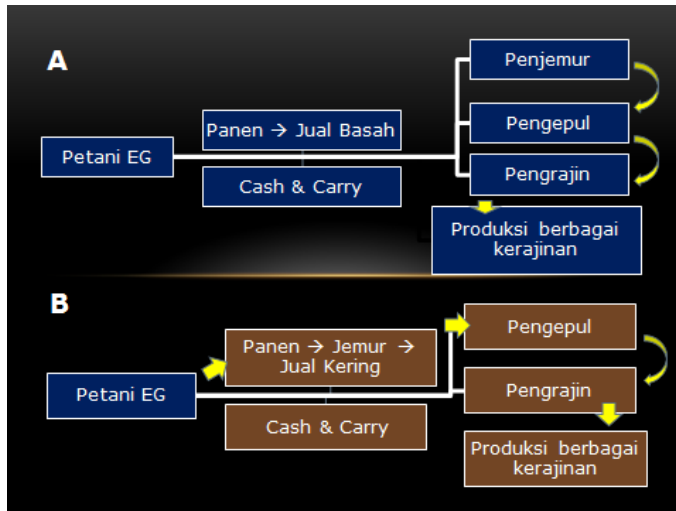
Sementara itu, tanaman EG tidak dapat dimanfaatkan dalam kegiatan pertanian atau peternakan saja, disamping itu tanaman EG banyak dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan kertas dan kerajinan atau souvenir. Setelah diketahui bahwa eceng gondok punya

kadar selulosa yang tinggi, kemudian banyak orang mulai melirik gulma ini sebagai bahan baku kerajinan yang cukup menarik. Eceng gondok ini sekarang banyak diburu untuk dijadikan bahan baku anyaman, perabot rumah tangga seperti kursi dan macam-macam lagi bisa dibuat dari eceng gondok tergantung kreativitas manusia.

Pengelolaan tanaman EG secara fisik dilakukan secara manual terjadi di sebagian habitat tanaman EG di danau Rawa Pening, tepatnya di “bukit cinta”, Kec. Banyubiru, Kab. Semarang, pada ordinat $7^{\circ}04'00''$ - $7^{\circ}30'00''$ LS dan $110^{\circ}24'46''$ - $110^{\circ}49'06''$ BT, masuk dalam pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Jragung - Tuntang - Serang - Lusi - Juwana (JraTunSeLuNa), Provinsi Jawa Tengah. Hasil pengelolaan secara fisik-manual tersebut kemudian dikumpulkan dan dijual guna berbagai kebutuhan baik sebagai bahan pupuk organik, pakan dan juga industri. Beberapa model penjualan dikenal sebagai model jual basah, MJB dan jual kering, MJK (Ilustrasi 6.16A., 6.16B.), Jual setengah jadi, MJSJ dan jual jadi, MJJ (Ilustrasi 6.17A., 6.17B).

Bisnis penjualan tanaman EG dikelola oleh para “pengepul”. Kegiatan dimulai dengan pengumpulan tanaman EG oleh “petani” tanaman EG, hasil “panen” kemudian ditali dan ditimbang dengan berat basah sekitar 50 kg, dan dapat dijual baik langsung kepada pengepul (6.15A) atau melalui penjemur (6.15B.). Jika dijual ke penjemur, pengeringan dilakukan oleh penjemur dan biasanya dikeringanginkan di bawah sinar matahari, sehingga lama pengeringan tergantung

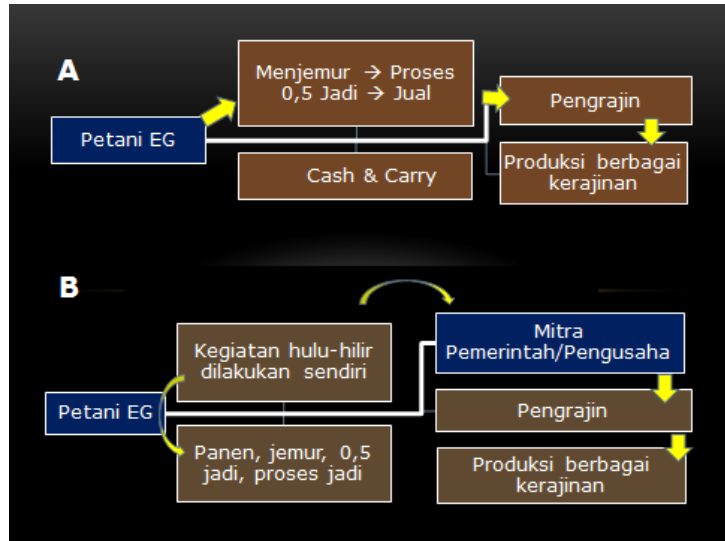
dari cuaca setempat. Setelah kering, tanaman EG dijual oleh penjemur ke pengepul. Pengepul selanjutnya menjual tanaman EG ke pengrajin. Teknik penjualan dilakukan dengan cara pengrajin dari berbagai kota datang ke pengrajin.



6.16. Pengendalian tanaman EG secara manual dengan A. Model Jual Basah B. Model Jual Kering

Model ketiga dan keempat adalah penjualan setengah jadi dan jadi, dimana pada model ini “petani” berperan sampai proses pengeringan. Disamping itu, pada MJJ biasanya sudah dilakukan kerjasama antara “pengepul” dengan pemerintah atau pengusaha bermodal besar. Tentu MJJ lebih efektif dan efisien dengan resiko kegagalan lebih rendah dibanding ketiga model lainnya yaitu MJB, MJK dan MJSJ. Desain

model MJSJ dan MJJ disajikan pada Ilustrasi 6.17A dan 6.17B.



6.17. Pengendalian tanaman EG secara manual dengan
A. Model Jual Setengah Jadi B. Model Jual Jadi

DAFTAR PUSTAKA

- Addiscott, T.M., Whitemore, A.P., and D.S. Powelson
1991. Farming, fertilisers and nitrate problem.
CAB Int. Wallingford, the UK
- Amarger, 2001. Rhizobia in the field. Adv. In Agron.,
73 : 109-168
- Balkcom, K. S. and D. W. Reeves. 2005. Sunn
hemp utilized as a legume cover crop for corn
production. Agronomy J. 97 : 26-31.
- BPS 2000. Produksi tanaman pangan (padi).
Departemen Pertanian, Jakarta.
- Brophy, L.S. and G.H. Heichel 1989. Nitrogen release
from roots of alfalfa and soybean grown in sand
culture. Plant and Soil 116 : 77-84
- Carlsson, G., and K. Huss–Danell 2003. Nitrogen
fixation in perennial forage legumes in the field.
Plant and Soil 253: 353-372
- Center, T.D., M.P. Hill, H. Cordo, M.H. Julien. 2018.
Biological Control of Waterhyacinth.
<https://www.invasive.org/biocontrol/4WaterHyacinth.cfm>. Diakses pada Oktober 2019.
- Charudattan, R. 1975. Weed control with plant
pathogens. Agrichem. Age (Jan-Feb): 9-12.
- Charudattan, R. 2010. A reflection on my research in
weed biological control: using what we have
learned for future applications. Weed Technology
24 (2): 208-217.
- Charudattan, R. and K.E. Conway. 1975. Comparison
of *Uredo eichorniae*, the waterhyacinth rust with
Uromyces pontederiae. Mycologia 67: 653-657.

- Charudattan, R., D.E. McKinney, and K.T. Hepting. 1981. Production, stage, germination, and infectivity of uredospores of *Uredo eichhorniae* and *Uromyces pontederiae*. *Phytopathology* 71: 1203-1207.
- Charudattan, R., D.E. McKinney, H.A. Cordo, and A. Silveira-Guido. 1976. *Uredo eichhorniae*, a potential biocontrol for waterhyacinth. Proceedings of the IV International Symposium on Biological Control of Weeds. University of Florida, Florida.
- Charudattan, R., F.W. Zetler, H.A. Cordo, and R.G. Christie. 1980. Partial characterization of a potyvirus infecting the milkweed vine, *Morrenia odorata*. *Phytopathology* 70: 909-913.
- Charudattan, R., T.E. Freeman, R. Cullen., and F.M. Hofmeister. 1980. Evaluation of *Fusarium roseum* 'Culmorum' as a biological control of *Hydrilla verticillata*: safety. Proceedings of the V International Symposium on Biological Control of Weeds. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Canberra.
- Chen, N., Widjajanto, D.W., Yiji, Z., Inanaga, S., Tasaki, A. 2016. Evaluation of nitrogen loss from leaves of different varieties of rice using ¹⁵N-labelling technique. *J. Applied Chem. Sci.*, 3: 300-305
- Cho, Y.S., Mineta, K., and K. Hidaka 2003. Nitrogen fixation and utilization for green manure of common wild legume narrowleaf Vetch (*Vicia angustifolia* L). *JARQ* 37 (1): 45-51

- Cook, C. G and G. A. White. 1996. *Crotalaria juncea*: A potential multi-purpose fiber crop. In. J. Janick (Ed). Progress in New Crop. ASHS Press. Arlington.
- De Foresta, H. and G. Michon. 1997. *The agroforest alternative to Imperata grasslands: when smallholder agriculture and forestry reach sustainability*. Agroforest. Systems 36:105-120.
- Dobermann, A. dan C. Witt 2000. The potential impact of crop intensification on carbon and nitrogen cycling in intensive rice systems. In : Carbon and Nitrogen Dynamics in Flooded Soils edited by G.J.D. Kirk dan D.C. Olk. IRRI Los Banos, The Philippines
- Eaglesham, A.R.J., Ayanaba, A., Ranga Rao, V., and D.L. Eskew 1981. Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping with cowpea. Soil Biol. Biochem. 13: 169-171
- Earthetics, <http://www.earthetics.com>
- Effendi, H., Bagus, A.U., Giri, M.D. 2017. Utilization of Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) for inhibition of hyacinth (*Eichhornia crassipes*) population blooming. World Applied Sci. J., 35 (2): 270-274.
- FAO 1999. Organic farming. FAO-Committee on agriculture. Rome-Italy.
- FAO, IIRR. 1995. *Resource management for upland areas in SE-Asia. An Information Kit. Farm field document 2*. FAO the UN, Bangkok, Thailand and International Institute of Rural

Reconstruction, Silang, Cavite, Philippines. ISBN 0-942717-65-1:p 207

- Garrity, D.P. and M. Becker 1994. Where do green manures fit in Asian rice farming systems ? In: Ladha, J.K., Garrity D.P. (Ed.), Green Manure Production Systems for Asian Ricelands. IRRI. Los Bangos, the Philippines, pp 1-10
- Gendall, P., K. Betteridge, B. Bailey, 1999. The Japanese market for organic fruit and vegetables. Mark. Bull., 10 : 24-37
- Giri, G., and R. De 1980. Effect of preceding grain legumes on growth and nitrogen uptake of dry land *pearl millet*. Plant and Soil 56: 459-464
- Gopal, B., 1987. Aquatic plant studies 1 Water hyacinth. ELSEVIER, Amsterdam, The Netherland. Pp. 259-315
- Hairiah, K., Widiyanto, S.R. Utami, D. Suprayogo, Sunaryo, S.M. Sitompul, B. Lusiana, R. Mulia, M. van Noordwijk dan G. Cardisch. 2000. Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara. ICRAF SE Asia, Bogor, 182 p.
- Henry, C., Sullivan, D., Rynk, R., Dorsey, K., and C. Cogger 1999. Managing nitrogen from biosolids. Northwest biosolids management association. Washington, The USA. pp.: 1-60
- Hill, M.P. and Coetzee, J.A., 2008. Integrated control of Water Haycinth in Afrika. Bulletin OEPP/EPPO, 38 : 452-457
- Homura, T. and Miyauchi, N. 1998. A survey of the growth of water hyacinth in Kagoshima

- prefecture. Bull. Fac. Agric. Kagoshima Univ., 48 : 7-14
- Hood, R.C., K. N`Goran, M. Aigner, and G. Hardarson 1999. A comparison of direct and indirect ^{15}N isotope techniques for estimating crop N uptake from organic residues. *Plant and Soil* 208: 259-270
- IFOAM 2000. Organic agriculture statistics worldwide (Asia). IFOAM Head office. Okozentrum Imsbach. D-66636 Tholey-Theley, Germany.
- Joedodibroto, T., Widyanto, L.S., dan Soerjani, M. 1983. Potensial use of aquatic weeds as paper pulp. *J. Aquat. Plant Management* 21 : 29-32
- Julien, M.H., M.W. Griffiths, and A.D. Wright. 1999. *Biological Control of Water Hyacinth*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- King, K.F.S. and M.T. Chandler, 1978. *The wasted land*. ICRAF. Nairobi. Kenya.
- Krismono, Sentosa, A.A. 2010. Pengaruh penyebaran ikan koan (*Ctenopharyngodon idella*) terhadap pertumbuhan ikan koan dan luas tutupan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) di Danau Limboto, Gorontalo. Seminar Nasional Biologi, Fakultas Biologi UGM, Yogyakarta 24-25 September 2010
- Lampkin 1997. Organic farming in Europe. Organic center Wales. Wales Univ., Aberstwyth. The UK
- Ledgard, S.F., 1991. Transfer of fixed nitrogen from white clover to associated grasses estimated using

- ¹⁵N methods in swards grazed by dairy cows. *Plant and Soil* 131: 215-223
- Ledgard, S.F., Freney, J.R., and J.R. Simpson 1985. Assessing nitrogen transfer from legumes to associated grasses. *Soil Biol. Biochem.*, 17: 575-577
- Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Homyok, K. 2004. Removal of Cadmium and Zinc by Water Hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *ScienceAsia* 30 : 93-103
- Mann, R.A. and D.P. Garrity 1994. Green manures in rice-wheat cropping systems in Asia. In: Ladha, J.K., Garrity D.P. (Ed.), *Green Manure Production Systems for Asian Ricelands*. IRRI. Los Bangos, the Philippines, pp. 28-42
- Mannetje, L. 2012. *Crotalaria juncea*. www.fao.com. [Retrieved] 27 April 2012, [from] URL of Website
- Michon, G. and H. de Foresta. 1995. *The Indonesian agro-forest model: forest resource management and biodiversity conservation*. in Halladay P. and D.A. Gilmour eds.: *Conserving Biodiversity outside protected areas*. The role of traditional agro-ecosystems. IUCN: 90-106.
- Moenandir, J. 1988. *Pengantar Ilmu dan Pengendalian Gulma*. Rajawali Press, Jakarta.
- Morris, R.A., R.E. Furoc, and M.A. Dizon 1986. Rice responses to a short-duration green manure. II. Recovery Utilization. *Agron. J.*, 78: 413 – 416

- Nair, P.K.R. 1993. *An introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands. 499.
- Nguyen, V.T, and Preston, T.R. 1999. Rumen environment and feed degradability in swamp buffaloes fed different supplements. *Livestock research for rural development* (11) 3. <http://www.cipav.org.co/Irrd11/3/thu.htm>
- Niggli, U. And W. Lockeretz 1996. Development of research in organic agriculture. In : *Fundamentals of organic agriculture*. Proc. 11th IFOAM Int. Sci. Conf. Copenhagen, Denmark. Pp : 9-23
- Nitis, I.M., K. Lana, M. Suarna, A.W. Puger, and T.G.O. Pemayun. 2001. *Peningkatan produktivitas peternakan dan kelestarian lingkungan pertanian lahan kering dengan Sistem Tiga Strata*. Buku Ajar. Edisi kedua (Revisi). Percetakan dan Penerbit. UNUD, Denpasar.
- Norman, R.J., J.T. Gilmour, and R.B. Wells 1990. Mineralization from nitrogen-15 labeled crop residues and utilization by rice. *Soil Sci. Soc. Ame. J.*, 54: 1351-1356
- Oki, Y. 1994. Integrated management aquatic weeds in Japan. Food and fertilizer technology center. An international information center for farmers in the Asia Pasific Region. Pp. 96-100. <http://www.agnet.org/library/abstract/bc45008.html>
- Oki, Y., Ito, M. dan Ueki, K. 1978. Studeis on the growth and reproduction of water hyacinth. 1. Effect on nutrients on the growth and

- reproduction. The weed Sci. Soc. Japan J., 23 : 120-124
- Olesen, R.K. 2000. Export opportunities of organic food from developing countries. Seminar on world organics. London, The UK May 9-10, 2000.
- Patra, D.D., Sachadevand, M.S., and B.V. Subbiah 1986. ¹⁵N studies on the transfer of legume-fixed nitrogen to associated cereals in intercropping systems. Biol. Fert. Soils 2: 165-171
- Pezo, D., Kass, M., Benavides, J., Romero, F., and Chaves 1989. Potential of legume tree fodders as animal feed in Central America. In Shrubs and Tree Fodders for Farm Animals. Int. Dev. Res. Cen. Ottawa, Ontario, Canada.
- Phoomthaisong, J., Toomsan, B., Limpinuntama, V., Cadish, G., and A. Patanothai 2003. Attributes affecting residual benefits of N₂ fixing mungbean and groundnut cultivars. Biol. Fert. Soils 39: 16-24
- Poth, M., La Favre, J.S., and D.D. Focht 1986. Quantification by direct ¹⁵N dilution of fixed N₂ incorporation into soil by *Cajanus cajan* (Pigeon pea). Soil Biol. Biochem. 18: 125-127
- Reijntjes, C., B. Haverkot dan A. W. Bayer, 1999. Pertanian Masa Depan, Pengantar untuk Pertanian Berkelanjutan dengan Input Luar Rendah (*Edisi Indonesia*). Yogyakarta: Kanisius. Yogyakarta.
- Ruschel, A.P., Salati, E., and P.B. Vose 1979. Nitrogen enrichment of soil and plant by rhizobium

phaseoli – phaseolus vulgaris symbiosis. Plant and Soil 51: 425-429

- Sanford, P, Pate, J.S., and M.J. Unkovich 1993. A survey of proportional dependence of subterranean clover and other pasture legumes on N₂ fixation in south-west Australia utilizing ¹⁵N natural abundance. Australian J. Agric. Res., 45: 165-181
- Siahaan, N., 2016. Strategi Pengelolaan Eceng Gondok di Danau Toba Wilayah Kabupaten Samosir. Tesis Master Lingkungan, Sekolah Pascasarjana UNDIP.
- Simpson, J.R. 1965. The transference of nitrogen from pasture legumes to an associated grass under several systems of management in pot culture. Australian J. Agric. Res., 16: 915-926
- Singh, B., Sanjai, S., Meshram, V., and Kumar, M. 2016. Mycoherbicidal potential of *Phaeoacremonium italicum*, a new pathogen of *Eichhornia crassipes* infesting Harike wetland, India. Mycobiology 44 (2): 85-92.
- Sumarsono, 2008. Tanaman Pakan pada Intervensi Sistem Pertanian Berwawasan Lingkungan. Badan Penerbit Undip Press, Semarang.
- Sumarsono, S. Anwar dan R.S. Prayitno. 2013. Akumulasi nitrogen orok-orok (*Crotalaria juncea* L) dengan kepadatan populasi dan frekuensi pemanenan. Prosiding Seminar Nasional. UNS, Surakarta.
- Sumarsono. 1989. Hasil Hijauan Lamtoro (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit) Cuningham pada Pola Tanam Tumpangsari dengan Jagung (*Zea*

- mays L) . Majalah Media Peternakan, 15 (1) : 6-10.
- Ta, T.C., Macdowall, F.D.H., and M.A. Faris 1986. Excretion of nitrogen assimilated from N₂ fixed by nodulated roots of alfalfa (*Medicago sativa*). Canadian J. Botany 64: 2063-2067
- Tan, H.K. 1994. Environmental soil science. Marcel Dekker, Inc., New York
- The British Soil Assoc., 2001. The organic food and farming report 2000. The UK.
- Utomo, A.W., 2014. Pola-pola Pemanfaatan Bengkok (Eceng Gondok) di Sekitar Danau Rawa Pening dalam Perspektif Pembangunan Berkelanjutan. J. Cakrawala. Pp. 191-216
- Van Kessel, C. and J.P. Roskoski 1988. Row spacing effects on N₂ fixation, N yield and N uptake of intercropped Cowpea and Maize. Plant and Soil 111: 17-23
- Van Veen, J.A., Ladd, J.N., M. Amato 1985. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with [¹⁴C(U)] glucose and [¹⁵N (NH₄)₂SO₄] under different moisture regimes. Soil Biol. Biochem., 17: 736-756
- Vasilas, B.L. and G.E. Ham 1985. Intercropping nodulating and non-nodulating soybeans: Effects on Seed Characteristics and Dinitrogen Fixation Fixation Estimates. Soil Biol. Biochem., 17: 581-582

- Virtanen. A.J., and J.K. Miettinen 1963. Biological nitrogen fixation. In inorganic nutrition in plant. Edited by F.C. Steward. Plant Psy., 8:539-645
- Vogl, C.R. and J. Hess 1999. Organic farming in Austria. Ame. J. Alternative Agric., 14 (3) : 137-143.
- White, R.E. 1987. Introduction to the principles and practice soil science. 2nd Edition. Blackwell Sci. Publi. Oxford. pp : 153-171
- Widhiastuti, T., Sumarsono, Honmura, T., dan D.W. Widjajanto 2007. Karakteristik fotosynthesis rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dengan tingkat substitusi pupuk organik eceng gondok terhadap urea. Prosiding seminar nasional AINI VI. Fapet UGM. Yogyakarta. 26-27 Juli 2007. Halaman : 77-82
- Widjajanto, D.W. 2007. The dynamics of nitrogen released from leguminous crops residue incorporated in the soil-crop systems. Legume Research-An International Journal 30 (2): 98-102
- Widjajanto, D. W. dan Sumarsono. 2005. Pertanian Organik. Badan Penerbit UNDIP, Semarang.
- Widjajanto, D.W., Honmura, T., and N. Miyauchi. 2002. Nitrogen release from green manure of water hyacinth in rice cropping systems. Pak. J. Biol. Sci., 5 (7) : 740-743
- Widjajanto, D.W., Honmura, T., Matsushita, K., and N. Miyauchi. 2001. Studies on the release of N from water hyacinth incorporated into soil-crop systems using ¹⁵N-labelling technique. Pak. J. Biol. Sci., 4 (9) : 1075-1078

- Widjajanto, D.W., Honmura, T., Miyauchi, N. 2003. Nitrogen Dynamics in Komatsuna (*Brassica rapa*) Cultivation due to Incorporation of Water Hyacinth Residues Into the System. Pak. J. Biol. Sci., 6 (1): 10-15
- Widjajanto, D.W., Honmura, T., Miyauchi, N. 2003. Possible Utilization of Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms), an Aquatic Weed, as Green Manure in Vegetables Cropping System. Jpn. J. Trop. Agric., 47 (1): 27-33
- Widjajanto, D.W. 2020. Antagonistic relationship of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* SOLMS) as aquatic weeds and its role in organic agricultural systems dalam *book chapter* “Pembangunan bidang pertanian dalam rangka meningkatkan ketahanan pangan nasional, Editor : Baarri dkk. Penerbit : *Indonesian Food Technologists*. Hal. 143.
- Widyanto, I.S. dan M. Soerjadi 1975. Pertumbuhan masal tumbuhan air dan pengaruhnya terhadap kuantitas dan kualitas air. Seminar pengelolaan sumber daya air. Lembaga ekologi UNPAD, Bandung.
- World Commision on Environment and Development 1987. Our common future. Oxford Univ. Press. New York. 400pp
- Wrin, Migiyati, Daniar dan Kasmin. 2012. Orok-orok Pupuk Hijau. Balai Perlingdungan Tanaman Pangan dan Hortikultura Jawa Tengah, Ungaran.

- Yaacob, O. and G.J. Blair 1980. Mineralisation of ^{15}N -labelled legume residues in soils with different nitrogen
- Zanoli, R. 2000. The organic boom in Italy. *Eco. Farm.*, 22 : 22-24

PENULIS

Didik Wisnu Widjajanto, Pendidikan S1 dari Universitas Diponegoro (UNDIP) (1987). Bekerja sebagai Dosen pada, Jurusan Peternakan, Fakultas Peternakan dan Perikanan UNDIP (1988). Pendidikan S2 *IERM, FSE, Edinburgh University, Edinburgh, Scotland, The UK* (1996), S3 *The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Kagoshima, Jepang* (2003). Program *Academic Recharging* di GIEESS, *Guangzhou, Guangdong, RRT* (06 November 2009-25 Februari 2010). Program *Post Doctoral* di *GAUG, Göttingen, Germany* (16 Oktober-16 Desember 2010). Ketua Departemen Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian UNDIP (2016-2021).

Sumarsono Sarjana Peternakan dari Fakultas Peternakan dan Perikanan Universitas Diponegoro (1977). Pada tahun 1978 diterima bekerja sebagai Dosen pada Jurusan Peternakan, Fakultas Peternakan dan Perikanan UNDIP. Lulus pendidikan S2 dan S3 dari IPB Bogor. Mengikuti berbagai kegiatan di Luar Negeri seperti di Filipina dan China. Ketua Jurusan Peternakan pada Fakultas Peternakan dan Perikanan, Ketua Program Studi S2 Ilmu Ternak. Guru Besar Universitas Diponegoro bidang Agronomi.

A'isyah Surya Bintang Pendidikan S1 dan S2 Pertanian bidang Ilmu Penyakit Tanaman dari Fakultas Pertanian UGM. Pada Tahun 2019 diterima sebagai Dosen pada Departemen Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro. Bergabung dengan Program Studi Agroekoteknologi

