

BAB II

LINGKUNGAN PERTANIAN

1. Ekosistem Agrikultura

Kebudayaan mengerjakan tanah dimulai sejak orang meninggalkan mata pencaharian sebaagi pengumpul bahan makanan dan berburu yang selalu berpindah-pindah, menjadi petani menetap. Karena penghidupan terutama tergantung dari hasil tanaman yang dibudayakan di atas tanah, maka tanah memerlukan penggarapan dan pengolahan agar tetap lestari memberi pelayanan baik bagi tanaman. Agrikultura berarti pengolahan tanah (ager, agri ialah tanah atau ladang) atau pertanian, tetapi dalam arti yang luas juga termasuk peternakan. Biasanya kedua kegiatan usaha tersebut saling kait-mengkait, saling melengkapi, sehingga lebih baik ditempatkan dalam satu sawah.

Bercocok tanam yang paling sederhana dilakukan dengan membuat lubang-lubang di tanah guna menanam biji atau tumbuhan, kemudian lubang ditutup kembali. Tanah tidak perlu digarap dan diolah lebih dahulu karena kesuburannya masih memenuhi. Ini biasanya dijalankan dalam pertanian berpindah-pindah atau pertanian sistem ladang. Dalam pertanian ini harus disiapkan tanahnya lebih dahulu dengan menebang dan membakar hutan. Tanah yang telah terbuka selanjutnya dikerjakan seperti tersebut di atas. Tanah sangat subur karena mengandung humus dibagian atas, sehingga hasil panen sangat memuaskan. Penanaman dapat diulangi sampai 4 atau 5 kali, dan sesudah itu harus dicari tempat baru karena yang lama sudah hampir habis kesuburannya, humus rusak atau lenyap oleh hujan dna panas matahari.

Bagi daerah yang penduduknya sangat sedikit sistem ini tepat, sebab ladang yang ditinggalkan lambat laun menjadi hutan kembali, dan kesuburan tanah pulih kembali oleh pembentukan humus baru, sehingga nantinya penduduk dapat kembali ke tempat itu untuk menebang hutan dan mengerjakan tanahnya lagi. Tetapi apabila penduduk mulai banyak, areal hutan tidak mencukupi untuk sistem pertanian tersebut, karena orang terpaksa harus kembali kepada hutan yang pernah dikerjakan sebelum waktunya. Hutan belum pulih kembali, dan tanah belum memperoleh kesuburan yang diinginkan. Karena itu tanah terpaksa di eksploitasi melampaui batas, dan akhirnya rusak untuk keperluan pertanian. Jadi bagi daerah yang penduduknya tidak terlalu sedikit bercocok tanam semacam ini merupakan pertanian yang mengusangkan, yang mendatangkan banyak kerugian dan tidak bertanggung jawab untuk kepentingan generasi-generasi yang akan mengganti.

Cara bertani tradisional dan primitif itu masih juga dilakukan di negara kita, antara lain di Kalimantan dan Sumatra, dan sukar dilarang karena merupakan

adat. Sebaiknya hal itu tidak lagi dilakukan, sebab sudah bukan zamannya mengingat jumlah populasi sudah besar. Ekosistem dapat rusak semua, berubah menjadi padang alang-alang yang kurang berguna bagi kebutuhan manusia.

Pada sistem pertanian yang tidak berpindah-pindah, haruslah dicari mekanisme yang dapat menggantikan sistem yang dilakukan alam, supaya tanah tidak kehilangan fungsinya, tidak kehabisan kesuburannya, hingga tetap melayani kebutuhan manusia akan bahan makanan sampai anak cucu. Jadi seperti diuraikan dalam bab 4 orang harus melaksanakan pengawetan tanah, dan juga memakai teknik-teknik pertanian lainnya yang membantu petani memperoleh hasil panen maksimal.

2. Teknik Pertanian (Agroteknologi).

Untuk menjamin hasil panen sebesar-besarnya, maka sejak dahulu kala dipraktekkan empat macam teknik penting, yaitu:

1. Pemakan yang bukan manusia harus dipisahkan dari hasil panen.
2. Hanya menanam tumbuhan yang dikehendaki oleh manusia.
3. Tanah harus disuburkan kembali.
4. Tanah harus diberi irigasi.

Manusia makhluk egois, ia tidak suka bahwa makhluk lain ikut makan panennya. Hewan yang ingin ikut makan terdiri dari mamalia seperti kambing, kerbau, ker, juga burung yang suka makan padi-padian. Hean-hewan tersebut harus dihalau dan dimusnahkan, sedangkan yang hidup mereka makin lama makin sempit karena sebagian besar sudah dijadikan haknya manusia. Oleh karena itu populasi mereka makin kecil, bahkan banyak yang hampir punah tidak mampu bersaing dengan manusia.

Tumbuhan yang hidup di dalam ekosistem alam biasanya kurang terpenuhi syarat seperti yang dibutuhkan oleh keinginan manusia, kurang baik mutunya atau kurang besar hasil panennya. Tetapi dari varietas yang kurang baik itu orang mampu memperkembangkan menjadi yang diharapkan, sehingga orang sekarang mempunyai bibit baik dan unggul untuk memberi hasil panen tinggi. Bibit yang baik ini kurang mampu seperti nenek moyangnya untuk berinteraksi atau berkompetisi di dalam ekosistem yang lama, oleh karena itu harus dibuatkan ekosistem baru, dimana setiap saat orang harus campur tangan, tiap kali harus diulangi, harus diberi pupuk ekstra yang cocok, harus dibebaskan dari hama.

Tanah yang digarap dan ditanami itu setiap kali kehilangan nutrien (*nutrinet*) karena diambil oleh tumbuhan untuk hidupnya dan untuk membuat berbagai bahan organik yang diperlukan oleh makhluk lain juga. Kecuali itu sebagian dari nutrien hilang tercuci oleh air hujan, sehingga tanah makin kehabisan kesuburannya. Karena tanah garapan tidak dapat melaksanakan daur ulang atau resikling (*recycling*) nutrien secara natural, haruslah diusahakan

resikling buatan yaitu dengan pemupukan. Dan ini juga sudah dilaksanakan orang sejak zaman purba ialah dengan pupuk kandang, kotoran manusia atau sampah; sekarang digunakan juga pupuk buatan yang dapat diproduksi secara besar-besaran.

Karena tumbuhan membutuhkan air cukup untuk menghasilkan panen yang baik, maka air harus dicukupi. Terutama di daerah kering atau di musim kering, irigasi harus diterapkan untuk menjamin keberhasilan usaha tani.

Semua teknik pertanian tersebut di atas harus diterapkan untuk memperkembangkan pertanian modern. Apabila salah satu diabaikan atau salah dalam penggunaannya, kekecewaan yang menjadi hasilnya, bahkan dapat juga bencana.

3. Menyuburkan tanah Kembali

Untuk menjaga agar produktivitas tanah dan produktivitas tanaman seimbang atau tanah mempunyai kemampuan untuk mengaktualkan produktivitas tanaman harus selalu diupayakan agar tanah yang berperan sebagai substrat pada budidaya Pertanian harus tetap subur atau C organik tetap berada pada posisi lebih dari 2 ($>2\%$), hanya persoalannya bagaimana teknik atau cara untuk tetap mempertahankan tanah pada kondisi C organik di atas 2 %, tentunya dengan kemajuan teknologi pertanian dewasa ini telah ditemukan banyak cara untuk mempertahankan kesuburan tanah pada budidaya Pertanian, sedang satu diantara banyak cara mempertahankan kesuburan tanah dalam budidaya Pertanian dengan mengembalikan bahan organik tanah yang terbuang akibat proses budidaya dengan melalui proses Komposting. Yaitu dalam bentuk pupuk Organik; dibandingkan dengan Pupuk anorganik pupuk organik mempunyai keunggulan keunggulan diantaranya :

Telah banyak diketahui oleh para ahli, sifat baik pupuk Organik terhadap kesuburan tanah diantaranya; Menurut Rusmarkam *et al* (2002), menyatakan bahwa sifat baik pupuk organik terhadap Kesuburan tanah antara lain sebagai berikut :

Bahan organik dalam proses mineralisasi akan melepas hara tanaman yang lengkap (N, P, K, Ca, Mg, S) serta hara mikro dalam jumlah relatif kecil; Bahan organik dapat memperbaiki struktur tanah, menyebabkan tanah menjadi ringan untuk diolah dan mudah ditembus akar;

Bahan organik dapat mempermudah pengolahan tanah-tanah berat ; bahan organik meningkatkan daya menahan air (*water holding capacity*) sehingga kemampuan tanah untuk menyediakan air menjadi lebih banyak dan kelengasan tanah lebih terjaga

;Bahan organik membuat permiabilitas tanah menjadi lebih baik, menurunkan permiabilitas pada tanah bertekstur kasar (pasiran) dan meningkatkan permiabilitas pada tanah bertekstur sangat lembut (lempungan);

Bahan organik meningkatkan kapasitas pertukaran kation (KPK) sehingga kemampuan mengikat kation menjadi lebih tinggi akibatnya jika tanah yang dipupuk dengan bahan organik dengan dosis tinggi hara tanaman tidak mudah tercuci;

Bahan organik memperbaiki kehidupan biologi tanah baik hewan tingkat tinggi maupun hewan tingkat rendah menjadi lebih baik karena ketersediaan makanan lebih terjamin;

Bahan organik dapat meningkatkan daya sangga (*buffering capacity*) terhadap goncangan perubahan sifat drastic pada tanah;

Bahan organik mengandung Mikroba dalam jumlah cukup yang berperan dalam proses Dekomposisi bahan Organik

Dan menurut Prihandarin (2006) : Mikro Organisme di dalam tanah berperan : penambat Nitrogen; menghasilkan Hormon; melindungi keracunan logam berat; menambah Energi; menambah phosphor dan menghasilkan anti biotika

Menurut Jumin(2002) : Limbah Pertanian digunakan sebagai pupuk organik mempunyai keuntungan sebagai berikut ; menambah daya retensi air pada tanah; menambah kapasitas tukar kation; mengurangi bahaya pencucian unsur-unsur hara; menambah kadar nitrogen phospat dan belerang; membentuk struktur terutama pada tanah pasir menjadi remah dan tindakan tidak mengembalikan limbah pertanian ke lahan pertanian akan mengurangi bahan organik baru karena selama pertumbuhan tanaman; humus yang berasal bahan organik lama telah habis teroksidasi akibatnya kesuburan tanah menurun dan peka terhadap erosi

Menurut Rismunandar (1984): Fungsi penting dari rabuk organis adalah untuk “gemburkan top-soil“, meningkatkan populasi jasad renik, mempertinggi daya serap dan daya simpan air, keseluruhan dapat meningkatkan kesuburan tanah, sedang kandungan mineral yang rendah itu tidak berarti tidak bermanfaat; bilamana kotoran ayam dimanfaatkan misalnya dalam satu hektar dirabuk dengan 1000 Kg saja, maka rabuk sebanyak itu mengandung 40 Kg N, 32 Kg P₂O₅ ,dan 19 Kg K₂O kadar Zat hara ; dalam bidang pengadaan zat hara rabuk kandang merupakan tambahan sehingga dapat mengurangi banyaknya rabuk anorganis yang diperlukan dan menyatakan bahwa sampah dari rumah-rumah kota merupakan bahan untuk membangun dan menyuburkan tanah; dengan kata lain sampah dari seluruh dunia ini dalam bentuk bahan organik dapat dijadikan bahan makanan manusia seluruh dunia. Diluar negeri sampah kota sudah dapat dijadikan rabuk dan bahan bangunan sebaliknya di Metropolitan Jakarta dan kota-kota besar

lainnya sampah merupakan bahan “sumpahan” karena menyusahkan dan merupakan sumber Penyakit.

Menurut Rasyidin(2004) : Kesuburan tanah Pertanian sangat ditentukan oleh jumlah bahan Organik sehingga dalam Pembangunan Pertanian Yang berkelanjutan fokus utamanya adalah menjaga kadar bahan Organik dalam tanah dan sedapat mungkin berusaha untuk meningkatkan jumlahnya, jumlah minimum bahan organik dalam klas penilaian kesesuaian lahan adalah 2 Prosen ,Penambahan bahan Organik ke dalam tanah Pertanian selai ditujukan untuk memperbaiki sifat fisika dan biologi tanah juga dimaksudkan untuk eberikan tambahan Unsur hara ke dalam tanah ,terutama unsure Nitrogen

Talkah (2002) dalam Pengantar Agronomi menyatakan bahwa : Bahan Organik merupakan bahan penting dalam membentuk kesuburan tanah baik secara fisika maupun kimia dan bahan organik merupakan bahan pemantap Agregat tanah ,sumber hara tanaman, sumber energi dari sebagian besar organisme tanah

Foth (1994) : menyatakan Bahwa bahan Organik memainkan peran penting dalam tanah ,karena bahan organik tanah berasal dari sisa sisa hasil tumbuhan ,bahan Organik tanah pada mulanya mengandung semua hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman dan bahan Organik itu sendiri mempengaruhi struktur tanah dan cenderung untuk menaikkan kondisi fisik yang dikehendaki ;Hewan tanah tergantung pada bahan Organik sebagai makanannya dan emnyumbang untuk keadaan fisik yang menguntungkan dengan mencampurkan tanah dan membuat saluran ;tentu saja banyak hal yang menarik dalam mengelola bahan organik untuk membuat tanah menjadi lebih Produktif

Sutanto (2002) dalam bukunya Penerapan Pertanian Organik Menyatakan : Secara garis besar keuntungan yang diperoleh dengan memanfaatkan Pupuk Organik adalah sebagai berikut :

- a) Mempengaruhi sifat fisik tanah . Warna tanah dari cerah akan berubah menjadi kelim ,hal ini berpengaruh baik pada sifat fisik tanah ,bahan Organik membuat tanah menjadi gembur dan lepas lepas sehingga aerasi menjadi lebih baik serta lebih mudah ditembus perakaran tanaman .Pada tanah yang bertekstur pasir ,bahan Organik akan meningkatkan pengikatan antar partikel dan peningkatan kapasitas mengikat air .Sifat fisik bahan Organik yang baik sangat Ideal apabila dicampur terlebih dahulu dengan Pupuk kimia sebelum dimanfaatkan sebagai pupuk.
- b) Mempengaruhi sifat kimia tanah.Kapasitas tukar kation (KTK) dan ketersediaan hara meningkat dengan penggunaan bahan Organik ,asam yang dikandung humus akan membantu meningkatkan proses pelapukan bahan mineral.

- c) Mempengaruhi sifat biologis tanah . Bahan Organik akan menambah egergi yang diperlukan kehidupan Micro Organisme tanah . Tanah yang kaya bahan Organik akan mempercepat perbanyakn fungi ,bakteri,mikro flora dan mikro fauna tanah lainnya.
- d) Mempengaruhi Kondisi Sosial . Daur Ulang Limbah Perkotaan maupun Pemukiman dan yang lain akan mengurangi dampak pencemaran dan meningkatkan penyediaan pupuk Organik. Meningkatkan lapangan kerja melalui daur ulang yang menghasilkan Pupuk Organik sehingga akan meningkatkan Pendapatan .

Hardjowigeno (1987) menyatakan Keuntungan Pupuk Organik selain menambah hara dapat pula memperbaiki struktur tanah ,meningkatkan kapasitas tukar kation, menambah kemampuan tanah menahan air, meningkatkan kegiatan biologi tanah, meningkatkan PH tanah ,menyediaan unsure hara makro dan mikro dan pupuk Organik Tidak menimbulkan Polusi Lingkungan

.*Menurut salundik et.al (2006)* keberadaan pupuk Organik melalui proses composting dari bahan organic dapat berperan :

- a) mengurangi pencemaran lingkungan ,peristiwa yang terjadi pada awal tahun 2005 tepatnya tanggal 21 pebruari 2005 yaitu terjadinya longsor tumpukan sampah di TPA Leuwigajah Bandung yang memakan korban jiwa ratusan orang dan kejadian serupa juga terulang di Zona 3 TPA Bantargebang pada tanggal 8 September 2006,sebenarnya peristiwa itu tidak harus terjadi jika diadakan daur ulang ;untuk bahan organiknya dibuat pupuk Organik melalui composting sedang anorganiknya yang sebagian besar sampah plastik didaur ulang menjadi biji plastik.
- b) memperbaiki produktivitas tanah ; dalam kenyataannya tanah yang sering diberi pupuk anorganik lama kelamaan akan menjadi keras ,keadaan ini menyebabkan beberapa kesulitan diantaranya tanah menjadi sukan diolah dan pertumbuhan tanaman terganggu ,permasalahan tersebut sebenarnya tidak akan terjadi apabila kita memperlakukan tanah dengan baik yaitu kesuburan dan kegemburan tanah akan tetap terjaga jika kita selalu menambahkan pupuk organik karena dpat memperbaiki produktivitas tanah ,baik secara fisik ,kimia ,maupun biologi tanah ;secara fisik pupuk organik bisa menggemburkan tanah ,memperbaiki aerasi, dan drainase ,men ingkatkan pengikatan antar partikel dan kapasitas mengikat air sehingga dapat mencegah erosi dan longsor ,mengurangi tercucinya nitrogen terlarut,serta memperbaiki daya olah tanah ,secara kimia pupuk Organik dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) ,ketrediaan unsure hara ,ketersediaan asam humat yang membantu meningkatkan proses pelapukan bahan mineral ;secara biologis pupuk Organik merupakan sumber makanan

bagi mikro organisme tanah dan banyaknya mikro Organisme tanah dapat menambah kesuburan tanah.

- c) dapat meningkatkan kesuburan tanah ; komponen pupuk Organik yang paling berpengaruh terhadap sifat kimia tanah adalah kandungan humusnya ,humus yang menjadi asam humat atau jenis asam lainnya dapat melarutkan zat besi (Fe) dan aluminium (Al), kedua unsure ini sering mengikat senyawa fosfat (PO_4) yang merupakan sumber forfor (P) bagi tanaman .Apabila fosfat ini diikat oleh besi atau aluminium akibatnya tidak dapat diserap tanaman ,namun adanya asam humat yang dapat melarutkan besi dan aluminium ,senyawa fosfat akan lepas dan menjadi senyawa fosfat tersedia yang dapat diserap tanaman ,dengan demikian pupuk Organik berperan untuk meningkatkan kesuburan tanah.
- d) mengatasi kelangkaan dan harga pupuk anorganik yang mahal : keberadaan pupuk anorganik dipasaran akhir akhir ini menjadi langka disebabkan pendistribusian yang tidak tepat waktu pada saat dibutuhkan para petani keadaan ini berakibat pada harga pupuk anorganik menjadi mahal ; kalau sistim pertanian kita beralih ke Pertanian Organik tentu permasalahan diatas tidak akan muncul karena pertanian Organik mensyaratkan pupuk dan obat obatan yang digunakan berasal dari bahan alami atau bahan Organik ,bahan baku pupuk organik mudah diperoleh karena dapat memanfaatkan sampah organik.
- e) Pupuk Organik lebih unggul :adanya mikro Organisme dan asam organik pada proses dekomposisi menyebabkan daya larut unsure N,P,K, dan Ca menjadi lebih tinggi sehingga berada dalam bentuk tersedia bagi pertumbuhan tanaman .Selain itu jika dibandingkan dengan pupuk anorganik ,kandungan unsure hara pupuk organik lebih lengkap karena mengandung unsure hara makro dan sekaligus unsur hara mikro yang diperlukan dalam pertumbuhan tanaman ,berbeda dengan pupuk anorganik yang hanya mengandung beberapa unsure hara.
- f) Dan keunggulan pupuk Organik dibanding pupuk anorganik ialah : 1) Pupuk Organik mengandung unsur hara makro dan mikro sedangkan anorganik hanya mengandung satu atau beberapa unsure hara . 2) Pupuk Organik dapat memperbaiki struktur tanah sehingga tanah menjadi gembur sedangkan anorganik tidak dapat memperbaiki struktur tanah justru penggunaan pupuk anorganik dalam jangka waktu yang panjang tanah menjadi keras. 3) pupuk organik memiliki daya simpan air (water holding capacity) yang tinggi sedangkan pupuk anorganik tidak memiliki daya simpan air. 4) dengan pupuk Organik tanaman lebih tahan terhadap serangan penyakit sedang dengan pupuk anorganik sering membuat tanaman menjadi rentan penyakit. 5) Pupuk Organik tidak mudah menguap sedang pupuk anorganik mudah

menguap dan tercuci .6) Pupuk Organik meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah yang menguntungkan sedangkan pupuk anorganik tidak. . 7)Pupuk Organik memiliki residual effect yang positif artinya pengaruh positif dari pupuk organik terhadap tanaman yang ditanam pada musim berikutnya masih ada sehingga pertumbuhan dan produktivitas tanaman masih bagus srdang pupu anorganik tidak memiliki residual effect yang positif.

3.1. Pengaruh Positif Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman

Pupuk organik fermentor MoMixA terjadi interaksi terhadap Pengaruh positif pupuk Organik terhadap tanaman budidaya pertanian ditunjukkan oleh hasil penelitian ;

- a) terhadap tanaman budidaya Tomat [*Lycopersicum esculentum Mill*] hasil penelitian menunjukkan : 1) ada pengaruh positif dosis pupuk organik terhadap produktivitas tanaman Tomat [*Lycopersicum esculentum Mill*]; 2) ada pengaruh positif pupuk organik cair urine sapi terhadap produktivitas tanaman Tomat [*Lycopersicum esculentum Mill*] , Pengaruh dosis pupuk organik padat dan dosis pupuk organik cair urine sapi terhadap produktivitas tanaman Tomat [*Lycopersicum esculentum Mill*]; (Talkah 2004)
- b) terhadap tanaman budidaya tanaman Kedele [*Glycyne max L merill*] Varitas Riyoko; hasil penelitian menunjukkan bahwa : 1) dosis pupuk organik bokashi dan dosis EM4 berpengaruh signifikan terhadap jumlah polong pertanaman; jumlah polong per petak dan produktivitas Kedele varitas Riyoko; 2) terdapat interaksi antara dosis pupuk organik bokashi dan dosis EM4 terhadap produktivitas Kedele (*Glycyne max L merill*) Varitas Riyoko; 3) Pengaruh dosis pupuk organik bokashi dan EM4 terhadap Produktivitas tanaman Kedele (*Glycyne max L merill*); (Talkah 2003)
- c) terhadap budidaya Mentimun (*Curcumis sativus L*) Varitas Harmoni hasilnya menunjukkan ;1) kombinasi perlakuan antara dosis pupuk NPK mutiara dan pupuk organik fermentor MoMixA terhadap : jumlah daun pada saat tanaman berumur 42 hari setelah tanam sedang interaksi nyata terjadi pada tanaman berumur 35 hari setelah tanam; berat buah per biji saat panen umur 35 sampai dengan 55 hari setelah tanam dan berat buah perpetak saat panen umur 37 sampai dengan 55 hari setelah tanam. 2) perlakuan dosis pupuk NPK mutiara memberikan pengaruh sangat nyata terhadap pengamatan berat buah pertanaman dan jumlah daun pertanaman saat umur 28 setelah tanam; sedangkan pengaruh nyata terjadi pada pengamatan tinggi tanaman saat

pengamatan umur 28, 35, 42 hari setelah tanam dan jumlah cabang pertanaman saat tanaman umur 42 hari setelah tanam; 3) perlakuan dosis pupuk organik dengan fermentor MoMixA berpengaruh sangat nyata pada pengamatan berat buah pertanaman saat panen umur 37 sampai dengan 42 hari setelah tanam; sedangkan pengaruh nyata terjadi pada pengamatan jumlah daun pertanaman saat umur 28 hari setelah tanam dan jumlah cabang pertanaman saat umur 42 hari setelah tanam; 4) perlakuan kombinasi dosis pupuk NPK mutiara dan dosis pupuk organik fermentor MoMixA memberikan hasil tertinggi yaitu 25,30 Kg/petak atau 126.500 Kg/Ha pada dosis pupuk NPK : 400 Kg /Ha dan dosis pupuk Organik dengan fermentor MoMixA 15 ton /Ha (Ansori, 2006)

- d) terhadap tanaman jagung: hasilnya menunjukkan : 1) terjadi interaksi yang sangat nyata antara dosis pupuk SP 36 dan pupuk organik fermentor MoMixA terhadap parameter tinggi tanaman pada umur 14, 26, dan 42 hari setelah tanam; jumlah daun pada umur 14, 28, 42 hari setelah tanam ; diameter batang pada umur 28 dan 42 hari setelah tanam; berat tongkol sebelum kupas pertanaman, berat tongkol kupas perplot, berat 1000 biji dan berat biji perplot.2) kombinasi perlakuan yang paling baik adalah kombinasi antara dosis pupuk SP 36 150 Kg/Ha dan pupuk Organik fermentor MoMixA 15 ton per hektar dengan produksi jagung pipilan kering kadar air 14 prosen sebesar 4,32 Kg/plot (21.600 Kg/ha) (Khamim, 2006);
- e) terhadap tanaman Kacang Panjang (*Vigna sinensis*LVaritasAura Brantas hasil penelitian menunjukkan bahwa : 1) kombinasi perlakuan dosis pupuk SP 36 dan dosis pupuk pertumbuhan dan produksi pada parameter : panjang tanaman pada umur 14, 21, 28, 35, 42 hari setelah tanam; jumlah daun pada umur 14, 21, 28, 35, 42 hari setelah tanam; jumlah polong pertanaman, panjang polong pertanaman, berat polong pertanaman, berat polong perplot. 2) kombinasi perlakuan dosis pupuk SP 36 200 kg/hektar dan dosis pupuk Organik Fermentor MoMixA 15 ton perhektar menghasilkan 437,04 gram pertanaman dan 8,30 Kg perplot (Priyo Hartono, 2006)

3.2. Dampak Positif terhadap Peningkatan Keuntungan dalam Budidaya Pertanian.

Dampak positif pupuk Organik terhadap peningkatan keuntungan dalam budidaya pertanian dapat dilihat dari hasil study lapang kaji dan uji terap pupuk Organik dan Anorganik pada tanaman padi kerjasama Dinas Pertanian Kota Dengan Fakultas Pertanian Universitas Islam Kadiri Desember 2006 sampai

dengan April 2007 yang menunjukkan bahwa Produksi dan keuntungan (profit) dari Budidaya yang menggunakan Pupuk Organik lebih tinggi dibanding dengan yang Non Organik; dengan data sebagai Tabel berikut :

Tabel 2.1. Hasil Uji terap Pupuk Organik dan Anorganik di Kota Kediri,kerjasama Dinas Pertanian Kota Kediri dan Fakultas Pertanian Uniska Kediri

Nama	Organik			Anorganik			Ratio
	Input	Output	Profit	Input	Output	Profit	
Sudarman	11.087	14.976	3.888	9.397	13.392	3.994	> Anorg
Syamsul	6.178	7.008	829	4.977	4.864	-113	>Org
Joko.w	9.518	12.085	3.367	8.080	9.996	1.915	>Org
Joko	1.495	3.164	1.669	1.353	2.664	1.310	>Org
Sidik	9.470	12.096	2.625	7.069	8.928	1.858	>Org
Mohtar	8.642	10.915	2.272	7.171	7.920	748	>Org

Keterangan angka dalam Ribuan (000)

Sumber data Dinas Pertanian Kota Kediri (2007)

3.3.Kualitas Pupuk Organik

Kualitas pupuk Organik diidentikkan dengan kandungan unsur hara yang ada di dalamnya ,kadarnya tergantung dari bahan baku atau proses dekomposisinya atau proses kompostingnya; Pupuk Organik yang matang bisa dikenali dengan memperhatikan keadaan bentuk fisiknya yaitu :

- a) jika diraba ,suhu tumpukan bahan yang dikomposisikan sudah dingin mendekati suhu ruang .
- b) tidak mengeluarkan bau busuk ;
- c) bentuk fisiknya sudah menyerupai tanah yang berwarna kehitaman
- d) strukturnya remah tidak menggumpal dan jika dianalisa di Laboratorium pupuk Organik yang matang memiliki ciri :
 - tingkat keasaman agak asam sampai netral.
 - memilki C/N sebesar 10-20.
 - kapasitas tukar kation (KTK) tinggi mencapai me/100 gram.
 - daya absorsi (penyerapan) air Tinggi.

(Salundik *et.al*, 2006)

Untuk menjamin kualitas pupuk organik diperlukan adanya ketentuan standart yang meliputi parameter-parameter : C-Organik ; C/N Ratio ; Bahan Ikutan ; Kadar Logam berat ; PH ; Kadar Total P2O5, K2O ; Mikroba Patogen ;Kadar Unsur Mikro,.

Sedangkan Standart Minimal Pupuk Organik sesuai dengan ketentuan Pusat Perizinan dan Investasi Departemen Pertanian ialah Seperti Tabel berikut :

Tabel 2.2. Persyaratan minimal Pupuk Organik

No	Parameter	Satuan	Persyaratan	
			Padat	Cair
1	C- organic	%	>12	≥ 4,5
2	C/N rasio		10-25	
3	Bahan ikutan (kerikil, beling, plastik, dll)	%	maks 2	
4	Kadar air - Granul - Curah	%	4-12 13-20	
5	Kadar logam berat - As - Hg - Pb - Cd	Ppm	≤ 10 ≤ 1 ≤ 50 ≤ 10	≤ 10 ≤ 1 ≤ 50 ≤ 10
6	pH		4-8	4-8
7	Kadar total - P ₂ O ₅ - K ₂ O	%	< 5 < 5	< 5 < 5
8	Mikroba patogen (<i>E.coli</i> , <i>Salmonella sp</i>)	cell/g	Dicantumkan	Dicantumkan
9	Kadar unsur mikro - Zn - Cu - Mn - Co - B - Mo - Fe	%	Maks 0,500 Maks 0,500 Maks 0,500 Maks 0,002 Maks 0,250 Maks 0,001 Maks 0,400	Maks 0,250 Maks 0,250 Maks 0,250 Maks 0,005 Maks 0,125 Maks 0,001 Maks 0,040

Keterangan : Untuk C – Organik 7 - 12 % dimasukkan sebagai pembenah tanah.

Sumber : Deptan 2004.

Pengembalian bahan Organik tanah dengan Proses Komposting dimungkinkan tanah akan kembali subur atau kesuburan tanah dapat

dipertahankan hanya persoalannya apakah composting yang dihasilkan dari sisa-sisa bahan Organik yang diambil dari kegiatan Ekonomi Pasca Panen membuat tanah tetap menjadi sehat artinya bebas dari berbagai bahan-bahan yang berbahaya bagi manusia seperti Logam berat (Hg, Cd, Pb, As) yang dapat diambil oleh akar tanaman dan apabila hasil tanaman dikonsumsi oleh manusia akan menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia walaupun pengaruh tersebut dirasakan dalam waktu yang relatif lama, dengan persoalan yang telah disebutkan di atas perlu dicari jalan atau teknik untuk mengembalikan semua bahan Organik untuk tetap menjaga kesuburan dan kesehatan tanah sehingga dapat dihasilkan produksi Pangan yang aman untuk dikonsumsi para konsumen.

Dalam persoalan ini penulis sampaikan satu cara di antara banyak cara yaitu bahan Organik yang akan dikembalikan ke dalam tanah dalam bentuk pupuk Organik diproses dengan sistem Vermikomposting (vermicomposting) yang disebut Vermikompos.

4. Vermikompos.

Vermikompos adalah kompos yang diperoleh dari hasil perombakan bahan-bahan organik yang dilakukan oleh cacing tanah. Vermikompos merupakan campuran kotoran cacing tanah (casting) dengan sisa media atau pakan dalam budidaya cacing tanah. Oleh karena itu vermicompos merupakan pupuk organik yang ramah lingkungan dan memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan dengan kompos lain yang kita kenal selama ini. (Manshur 2001), Sedangkan Dickerson (2001) menyatakan bahwa : *Vermicompost contains not only worm castings, but also bedding materials and organic wastes at various stages of decomposition. It also contains worms at various stages of development and other microorganisms associated with the composting process.*, sedangkan vermicompos mempunyai keunggulan dibandingkan dengan pupuk Organik lain Vermikompos mengandung berbagai unsur hara yang dibutuhkan tanaman seperti N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Al, Na, Cu, Zn, B dan Mo tergantung pada bahan yang digunakan.

Vermikompos merupakan sumber nutrisi bagi mikroba tanah. Dengan adanya nutrisi tersebut mikroba pengurai bahan organik akan terus berkembang dan menguraikan bahan organik dengan lebih cepat. Oleh karena itu selain dapat meningkatkan kesuburan tanah, vermicompos juga dapat membantu proses penghancuran limbah organik

Vermikompos berperan memperbaiki kemampuan menahan air, membantu menyediakan nutrisi bagi tanaman, memperbaiki struktur tanah dan menetralkan pH tanah.

Vermikompos mempunyai kemampuan menahan air sebesar 40-60%. Hal ini karena struktur vermikompos yang memiliki ruang-ruang yang mampu menyerap dan menyimpan air, sehingga mampu mempertahankan kelembaban.

Tanaman hanya dapat mengkonsumsi nutrisi dalam bentuk terlarut. Cacing tanah berperan mengubah nutrisi yang tidak larut menjadi bentuk terlarut, yaitu dengan bantuan enzim-enzim yang terdapat dalam alat pencernaannya. Nutrisi tersebut terdapat di dalam vermikompos, sehingga dapat diserap oleh Vermikompos banyak mengandung humus yang berguna untuk meningkatkan kesuburan tanah.

Humus merupakan suatu campuran yang kompleks, terdiri atas bahan-bahan yang berwarna gelap yang tidak larut dengan air (asam humik, asam fulfik dan humin) dan zat organik yang larut (asam-asam dan gula). Kesuburan tanah ditentukan oleh kadar humus pada lapisan olah tanah. Makin tinggi kadar humus (humic acid) makin subur tanah tersebut. Kesuburan seperti ini dapat diwujudkan dengan menggunakan pupuk organik berupa vermikompos, karena vermikompos mengandung humus sebesar Vermikompos mengandung hormon tumbuh tanaman. Hormon tersebut tidak hanya memacu perakaran pada cangkakan, tetapi juga memacu pertumbuhan akar tanaman di dalam tanah, memacu pertunasan ranting-ranting baru pada batang dan cabang pohon, serta memacu pertumbuhan daun.

Vermikompos mengandung banyak mikroba tanah yang berguna, seperti aktinomisetes $2,8 \times 10^6$ sel/gr BK, bakteri $1,8 \times 10^8$ sel/gr BK dan fungi $2,6 \times 10^5$ sel/gr BK. Dengan adanya mikroorganisme tersebut berarti vermikompos mengandung senyawa yang sangat diperlukan untuk meningkatkan kesuburan tanah atau untuk pertumbuhan tanaman antara lain bakteri *Azotobacter sp* yang merupakan bakteri penambat N_2 non simbiotik yang akan membantu memperkaya N di dalam vermikompos. Di samping itu *Azotobacter sp* juga mengandung vitamin dan asam pantotenat. Kandungan N vermikompos berasal dari perombakan bahan organik yang kaya N dan ekskresi mikroba yang bercampur dengan tanah dalam sistem pencernaan cacing tanah.

Peningkatan kandungan N dalam bentuk vermikompos selain disebabkan adanya proses mineralisasi bahan organik dari cacing tanah yang telah mati, juga oleh urin yang dihasilkan dan ekskresi mukus dari tubuhnya yang kaya N.

Vermikompos mempunyai struktur remah, sehingga dapat mempertahankan kestabilan dan aerasi tanah. Vermikompos mengandung enzim protease, amilase, lipase dan selulase yang berfungsi dalam perombakan bahan organik.

Vermikompos juga dapat mencegah kehilangan tanah akibat aliran permukaan. Pada saat tanah masuk ke dalam saluran pencernaan cacing, maka cacing akan mensekresikan suatu senyawa yaitu Ca-humat. Dengan adanya

senyawa tersebut partikel-partikel tanah diikat menjadi suatu kesatuan (agregat) yang akan dieksresikan dalam bentuk casting. Agregat agregat itulah yang mempunyai kemampuan untuk mengikat air dan unsur hara tanah. (Manshur 2001),

Sedangkan Rukmana (1999) menjelaskan bahwa vermikompos kaya akan unsure hara N,P,K,serta mengandung hormone tumbuh (growth hormone) seperti auksin ,cytokinin dan giberelin

Dan (Mariam,et.al. 1999) menyampaikan perbandingan sifat kimia dan Kandungan hara dalam Vermikompos dan Kompos sebagai Tabel berikut :

Tabel 2.3. Perbandingan sifat Kimia dan Kandungan Hara dalam Kascing dengan Kompos

No	Parameter	Kascing*	Kompos**)
1	pH (H ₂ O)	6,8	6,0
2	C- organik	20,69%	25,04%
3	N total	1,90%	1,19%
4	P tersedia	33,54 ppm	-
5	P total	61,42 ppm	-
6	Ca	30,00 (me/100 g)	10,75(me/100 g)
7	Mg	15,23 (me/100 g)	3,13 (me/100 g)
8	K	10,31 (me/100 g)	7,26 (me/100 g)
9	Na	2,42 (me/100 g)	5,23 (me/100 g)
10	Kapasitas Tukar Kation (KTK)	68,95 (me/100 g)	35,50(me/100 g)

Sumber : Mariam ,*et.al.* 1999.

Dickerson (2001) seorang Penyuluh Specialist Hortikultura dari Mexico menyampaikan perbandingan sifat kimia dan Kandungan hara antara Kascing (Vermicompost) dan Kompos Kebun (Garden compost) sebagai tabel berikut :

Table 2.4. Chemical characteristics of garden compost and vermicompost

Parameter*	Garden compost 1	Vermicompost 2
pH	7.80	6.80
EC (mmhos/cm)**	3.60	11.70
Total Kjeldahl nitrogen(%)***	0.80	1.94
Nitrate nitrogen (ppm)****	156.50	902.20
Phosphorous (%)	0.35	0.47
Potassium (%)	0.48	0.70
Calcium (%)	2.27	4.40
Sodium (%)	< .01	0.02
Magnesium (%)	0.57	0.46
Iron (ppm)	11690.00	7563.00
Zinc (ppm)	128.00	278.00
Manganese (ppm)	414.00	475.00
Copper (ppm)	17.00	27.00
Boron (ppm)	25.00	34.00
Aluminum (ppm)	7380.00	7012.00

Sumber : Dickerson,2001

Sutanto (2002) menyatakan keunggulan vermikompos : menyediakan hara (N,P,K,Ca,Mg) dalam jumlah seimbang dan dalam bentuk yang tersedia untuk tanaman; meningkatkan kandungan bahan Organik sehingga struktur tanah dapat diperbaiki ; meningkatkan kemampuan tanah mengikat lengas; menyediakan hormon pertumbuhan tanaman; menekan risiko akibat infeksi patogen yang diakibatkan oleh penyakit atau hama yang ada di dalam tanah;sinergis dengan organisme lain yang menguntungkan pertumbuhan tanaman ,seperti bakteri pelarut fosfat ,bakteri penambat Nitrogen, organisme penghasil antibiotik; sebagai penyangga pengaruh negatif tanah ,tidak meracuni organisme jenis vertebrata, bahan remediasi untuk tanah tanah yang rusak akibat penggunaan pupuk kimia secara berlebihan; membantu proses pengomposan sampah kota dan permukiman baik yang berbentuk padat atau semi padat.

4.1. Cara Pembuatan Vermikompos

Bahan untuk pembuatan vermikompos berasal dari bahan organik seperti jerami padi kotoran ternak (sapi, kerbau, kambing, domba, ayam, kuda dan isi rumen), sampah pasar dan limbah rumah tangga

Sebelum digunakan sebagai media atau pakan cacing tanah bahan organik tersebut di fermentasi terlebih dahulu untuk menurunkan nisbah C/N bahan Organik ;Setelah bahan media di fermentasi dan kondisinya telah sesuai dengan persyaratan hidup bagi cacing tanah maka cacing tanah dapat mulai dibudidayakan. Jenis cacing tanah yang dapat digunakan adalah *Eisenia foetida* atau *Lumbricus rubellus*. Budidaya dilakukan selama 40 hari, setelah itu dapat dilakukan panen cacing tanah. vermikompos dan kokon (telur) (anonym, 2001)

4.2. Produksi dan kualitas Vermikompos

Vermikompos yang dihasilkan dan usaha budidaya cacing tanah mencapai sekitar 70% dari bahan media atau pakan yang diberikan. Misalnya jumlah media atau pakan yang diberikan selama 40 hari budidaya sebanyak 100 kg maka vermikompos yang dihasilkan sebanyak 70 kg.

Kualitas vermikompos tergantung pada jenis bahan media atau pakan yang digunakan, jenis cacing tanah dan umur vermikompos.

Vermikompos yang dihasilkan dengan menggunakan cacing tanah *Eisenia foetida* mengandung unsur-unsur hara seperti N total 1,4-2,2%, P 0,6-0,7%, K 1,6-2,1%, C/N rasio 12,5-19,2, Ca 1,3 -1,6%, Mg 0,4-0,95, pH 6,5-6,8 dengan kandungan bahan organik mencapai 40,1 –48,7%.

Vermikompos mengandung hormon tumbuh seperti Auksin 3,80 μ g/g BK. Sitokinin 1,05 μ g/g BK dan Giberelin 2,75 μ g/g BK. Sedangkan vermikompos dari cacing tanah *Lumbricus rubellus* mengandung C 20,20%. N 1,58%, C/N 13, P 70,30 mg/100g, K 21,80 mg/ 100g, Ca 34,99 mg/100g, Mg 21,43 mg/100g, S 153,70 mg/kg, Fe 13,50 mg/kg, Mn 661,50 mg/ kg, Al 5,00 mg/kg, Na 15,40 mg/kg, Cu 1,7 mg/ kg, Zn 33,55 mg/kg. Bo 34,37 mg/kg dan pH 6,6-7,5.

Vermikompos yang berkualitas baik ditandai dengan warna hitam kecoklatan hingga hitam, tidak berbau, bertekstur remah dan matang (C/N < 20).(anonym 2001)

4.3. Aplikasi Penggunaan Vermikompos

Vermikompos dapat digunakan sebagai pupuk organik tanaman sayur-sayuran, buah-buahan, bunga, padi dan palawija serta untuk pemupukan rumput pada lapangan golf.

Percobaan penggunaan vermikompos pada tomat, kentang, bawang putih, melon dan bunga-bunga menunjukkan hasil yang nyata, baik terhadap pertumbuhan maupun produksi tanaman. 1 kg vermikompos dicampur dengan 3 kg tanah dan. apabila digunakan untuk tanaman di dalam pot. 6-10 kg vermikompos watts setiap 10 m² Iuas lahan atau 6-10 ton/ha lahan sawah.)

Takaran penggunaan ini sangat bergantung pada jenis tanaman dan tingkat kesuburan tanah yang akan dipupuk.

Untuk membuat vermikompos tidak membutuhkan biaya yang mahal, peralatan dan bahan yang digunakan sederhana, tempat/lahan usaha relatif sempit, dapat dikerjakan oleh anak-anak hingga dewasa (lansia) pria atau wanita, dapat mencegah pencemaran lingkungan akibat limbah organik yang belum dimanfaatkan, teknologinya sederhana, bahan media atau pakan cacing tanah berupa limbah organik tidak dibeli. Dengan demikian dapat dijadikan sumber pendapatan baru bagi masyarakat.

Di Jakarta, Bogor, Tangerang, Bekasi dan Bandung vermikompos telah dijual dengan berbagai merek dagang terutama pada tempat-tempat penjualan bunga dengan harga bervariasi antara Rp.500 - Rp.1000/kg. Di Denpasar vermikompos telah dijual di supermarket (toko swalayan) dengan harga Rp.1000/kg (Manshur, 2001)

5 Cacing Tanah

Dalam proses vermikomposting menggunakan jasa bantuan cacing tanah, sedangkan cacing tanah pada ekosistem tanah merupakan makrofauna tanah yang berperan penting sebagai penyelarasan dan keberlangsungan ekosistem yang sehat baik bagi biota tanah maupun hewan dan manusia.

5.1. Peranan Cacing Tanah.

Peran penting cacing tanah pada ekosistem tanah diantaranya ;,Peran dalam siklus bahan organik.; Sebagai Penyubur Tanah. Biomonitor Pencemaran Logam berat.

5.1.1. Peranan Cacing tanah dalam Siklus bahan Organik

1). Fragmentator.

Sisa sisa tanaman dan bangkai binatang merupakan sumber bahan organik tanah yang menjadi sasaran makrobia tanah (cacing tanah) dan mikrobia tanah baik secara langsung oleh jasad heterotrofik maupun secara tidak langsung oleh jasad ototrofi

2). Pencerna dan Pencampur .

Ketika sedang makan atau menggali tanah ,cacing tanah mencerna lewat ususnya ,campuran bahan organik –anorganik ,jenis cacing tanah *Lubricus rubellus* dengan populasi 120.000/ha mampu mengkonsumsi kotoran sapi 17-20 ton /th.

3). Stimulator Humifikasi.

Proses akhir dekomposisi bahan organik disebut humifikasi, yang merupakan proses penghancuran dan pencampuran secara kimiawi terhadap partikel –partikel bahan organik menjadi senyawa kompleks koloid amorf yang bergugus fenolat (humus) hanya sekitar 25% bahan organik mentah yang diubah menjadi humus ,proses ini dipicu oleh makrofauna tanah berukuran kecil seperti kutu, dan anthropoda lain serta dipercepat oleh lamanya bahan organik yang bercampur tanah melintasi usus cacing tanah.tahap akhirnya melibatkan aktivitas mikroflora dalam usus cacing tanah karena merupakan proses kimiawi yang lebih diperani oleh mikroflora ini daripada fauna tanah . Pran cacing tanah dalam mempercepat proses humifikasi jerami mentah adalah sekitar 17-24 % pada percobaan pot dan 15-42 % pada percobaan Lapangan.

4). Mineralisasi N.

Dalam penyuburan tanah ,cacing tanah mampu meningkatkan jumlah N termineralisasi yang tersedia bagi tanaman ,terutama berasal dari hasil peruraian tubuh cacing yang mati yang mati,Cacing tanah mampu mengonsumsi sejumlah besar bahan Organik berkadar N tinggi yang sebagian besarnya dikembalikan ke dsalam tanah melalui ekskresinya yang 50% dalam bentuk mukoprotein melalui sel sel kelenjar pada epidermisnya dan 50% lagi dalam bentuk ammonia,urea, dan allantion dalam cairan urine yang diekskresikan dari Nephridiophora.

5). Nisbah C/N .

Nisbah C/N bahan organik merupakan indikator ketersediaan hara yang dikandungnya ,N –mineral hanya tersedia bagi tanaman apabila nisbah ini sekitar 20/1 atau lebih kecil lagi;Cacing tanah memakan bahan organik bernisbah C/N yang bervariasi tetapi lebih menyukai yang bernisbah C/N rendah

5.1.2. Sebagai Penyubur tanah

1). Pendalaman solum tanah subur.

Cacing tanah bersarang dan membawa makanannya ke dalam liang tanah ,kemudian memakannya bersama dengan tanah yang tercampur padanya, liang digali dengan melumat tanah kedalam mulutnya, dari aktivitas ini terjadi :

a. Perpindahan tanah lapisan bawah ke lapisan atas sehingga menyebabkan mineral lapisan bawah yang tadinya tidak terjangkau akar tanaman menjadi terjangkau.

b. Adanya liang liang ini menyebabkan sistem aerasi dan drainase tanah menjadi lebih baik sehingga ketersediaan oksigen baik untuk aktivitas mikrobia

aerobic maupun untuk reaksi oksidasi kimiawi tanah membaik yang pada akhirnya akan memperbaiki kesuburan biologis maupun kimiawi tanah.

c. Adanya aktivitas keluar masuk liang yang membawa serasah serta adanya sekresi lendir (mucus) yang menempel di dinding liangnya serta kotorannya (bunga tanah) dapat menjadi substrat bagi mikrobia sehingga memperbaiki kesuburan biologis tanah.

2). Agregasi dan struktur tanah.

Aktivitas cacing tanah yang mempengaruhi struktur tanah meliputi :

a.pencernaan tanah ,perombakan bahan organik tanah ,pangadukannya dengan tanah dan produksi kotorannya yang diletakkan di permukaan tanah.

b.penggalian tanah dan transportasi tanah bawah ke atas atau sebaliknya.

c.selama proses a dan b juga terjadi pembentukan agregat tanah tahan air ,perbaikan status tanah status aerasi tanah dan daya tahan memegang air.

3). Bunga tanah dan ketersediaan hara

Cacing tanah merupakan pemakan tanah dan bahan organik dipermukaan tanah masuk ke liang kemudian mengeluarkan kotorannya (bunga tanah) di permukaan tanah,pada kondisi Normal bunga tanah hasil pencernaan cacing ini adalah sekitar 15 ton /tahun/hektar ,satu kelebihan bunga tanah dari pada bahan organik lain adalah nisbah C/N -nya yang rendah sehingga lebih menjamin ketersediaan hara yang dikandungnya bagi tanaman dibanding dengan pengguna pupuk organik lainnya.

4). Perbaikan Produktivitas tanah

Pengaruh cacing tanah yang memperbaiki sifat fisik tanah dan kemampuan memproduksi zat pemacu tumbuh serta terkait dengan kemampuannya dalam memicu perkembangan mikrobia tanah berakibat meningkatkan produktivitas tanah.

5.1.3 Biomonitor Pencemaran Logam berat.

Beberapa spesies cacing tanah telah ditemukan mengakumulasi Logam berat baik yang berkadar logam berat rendah maupun tinggi ,contohnya Cd oleh cacing kompos *E. foetida*, Ni, Cu, dan Zn oleh berbagai spesies apabila diberikan Lumpur Organik (sewage sludge) bercampur garam logam tersebut; Carter dalam Hanafiah (2001) cacing tanah diketahui berperan penting dalam mendistribusikan Cd, Co dan mengakumulasi logam berat Cd,Cu, Zn dan Pb di dalam tubuhnya dan mengekresikan sebagiannya lewat kotoran ,hasil penelitiannya ditunjukkan seperti Tabel berikut :

Tabel 2.5. Kadar Logam berat dan jaringan Tubuh dan kotoran cacing tanah dari Pulau West-Ham, Kanada (ppm)

Spesies	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)
1. <i>L. rubellus</i> .				
- Cacing Dewasa				
Tubuh	10	10	10	0,3
Kotoran	0,3	3	50	-
- Cacing Muda				
Tubuh	4	13	270	-
Kotoran	0,2	2,4	35	-
2. <i>A. chlorotica</i> .				
Tubuh	8	8	210	0,60
kotoran	0,3	2,3	-	-

Sumber :Carter et.al 1980 dalam hanafiah(2001)

Cacing tanah memiliki badan panjang dan bulan dengan kepala mengarah kedepan dan bagian posterior sedikit pipih. Lingkaran yang mengelilingi tubuh basah dan lunak memungkinkan cacing tanah memutar dan berbalik, khususnya karena tidak memiliki tulang belakang. Tanpa memiliki kaki sesungguhnya, rambut-rambut halus (setae) pada tubuh bergerak ke belakang dan maju, memungkinkan cacing tanah merangkak.

Cacing tanah bernapas melalui kulitnya. Makanan ditelan melalui mulut menuju perut (dikumpulkan). Kemudian makanan lewat melalui empedal, dimana ini digiling oleh mineral. Setelah melalui usus untuk digesti, apa yang tersisa dibuang.

Cacing tanah adalah hewan hermaprodit, artinya mereka memiliki organ seks jantan dan betina, namun mereka memerlukan cacing tanah lain untuk kawin. Lingkaran luas (clitellum) yang melingkupi pembenihan cacing tanah mensekresi mucus (albumin) setelah perkawinan. Sperma dari cacing lain disimpan dalam kantung. Ketika mucus menggelinding pada cacing, ini menutupi sperma dan telur di dalam. Setelah menggelinding bebas dari cacing, kedua ujung menutup, membentuk kepompong bentuk jeruk dengan panjang sekitar 1/8 inci. Dua bayi

cacing atau lebih keluar dari salah satu sisi kepompong sekitar 3 minggu. Bayi cacing berwarna keputihan hingga hampir transparan dan memiliki panjang $\frac{1}{2}$ hingga 1 inci. Cacing merah memerlukan waktu 4 hingga 6 minggu untuk matang secara seksual.

6. Rebutan Pangan antara Manusia dan Serangga

Bumi bukan seperti kebun binatang dimana makhluk-makhluk yang dipelihara mendapat jatah makan cukup dan sesuai dengan yang diinginkan. Mereka harus mencari kebutuhan hidupnya sendiri di atas permukaan bumi tempat mereka dilahirkan dan diperkembangkan. Itulah hak mereka untuk melangsungkan hidup.

Dalam kegiatan memenuhi kebutuhan hidup, kadang-kadang mereka harus bekerja sama, tetapi seringkali harus berjuang dan bersaing, harus membunuh kalau perlu atau makan pihak lainnya. Manusia termasuk makhluk yang suka berkooperasi dengan makhluk lain apabila mendatangkan keuntungan, tetapi tidak segan-segan memusuhi pihak lain yang dianggap menyaingi, dan kalau dianggap lebih menguntungkan, juga membunuhnya supaya lenyap dari permukaan bumi.

Serangga atau insekta biasa dianggap musuh, karena ikut makan atau merusak tanaman yang dipelihara manusia. Tetapi serangga juga berhak untuk ikut makan, karena tempat mereka hidup dan mencari kebutuhan hidup sudah terdesak dan diambil oleh manusia untuk kepentingan sendiri; maka terjadilah perjuangan dan persaingan memperebutkan bahan makana demi kelestarian hidup masing-masing.

Biasanya yang dianggap bahwa yang menimbulkan banyak kerusakan tanaman ialah binatang-binatang besar seperti kerbau, kera, babi hutan dan lain-lainnya, tetapi kenyataannya tidak demikian, binatang-binatang kecil, seperti tikus, serangga, burung dan mikroorganisma itulah yang sering mengganggu manusia. Mereka kecil dan kadang-kadang tidak kelihatan mata, sehingga tidak menimbulkan kesan dan kecurigaan akan berbuat kerusakan banyak. Tetapi karena jumlahnya yang demikian besar, dan berkembang-biaknya cepat, maka yang dimakan atau dirusak akan banyak. Oleh karena itu hewan-hewan kecil tersebut sudah dianggap musuh manusia yang harus dibasmi, sejak ribuan tahun yang lalu. Jutaan belalang sering menyerbu dari antariksa ke ladang-ladang gandum di Mesir misalnya, sehingga semua tanaman habis termakan. Juga di Indonesia orang sering diserbu sawahnya oleh ribuan tikus, atau walang sangit, dan akhir-akhir ini oleh hama wereng.

Karena banyak kerusakan disebabkan oleh serangga atau insekta, maka serangga dianggap musuh yang harus dimusnahkan; dan diciptakanlah alat atau obat pembasmi serangga yang disebut insektisida. Sesungguhnya tidak semua

serangga atau makhluk-makhluk mikro lainnya merupakan hama. Banyak yang netral terhadap manusia, bahkan ada yang menguntungkan manusia, karena membantu usaha manusia misalnya menyuburkan tanah, atau merupakan parasit bagi makhluk hama tertentu, atau menjadi predator suatu organisme hama. Apabila kita membasmi hama dengan obat-obatan pembasmi hama (pestisida), biasanya ikut terbasmi pula makhluk-makhluk lain, insekta atau mikro organisme, yang sesungguhnya berguna bagi manusia.

Di dalam segumpal tanah pertanian subur yang beratnya $\frac{1}{2}$ kg. terdapat kira-kira 1 triliun bakteri, 200 juta fungi, 25 juta algae, 15 juta protozoa, dan juga cacing, insekta, dan makhluk kecil lainnya. Organisma-organisma tersebut vital untuk kesuburan tanah selanjutnya. Apabila tanah terkena polusi atau pencemaran pestisida, maka mereka banyak yang ikut terbasmi, sehingga kesuburan tanah menjadi rusak karenanya.

Kecuali itu dalam pembasmian haam ada kemungkinan besar bahwa parasit dan predator hama ikut terbasmi, dan mungkin sekali justru yang lebih banyak dimusnahkan; akibatnya hama yang masih tertinggal hampir tidak ada yang memusuhi secara alam dan berkembang cepat, meledak. Inilah yang sering kita alami. Oleh karena itu kita harus berhati-hati menggunakan insektisida atau pestisida, sebab mudah menghancurkan ekosistem karena merusak lingkungan atau mengundang meledaknya organisma-organisma yang tidak kita inginkan.

7. Obat-obatan Pembasmi Hama (Pestisida)

Untuk menjaga supaya tanaman tidak rusak dimakan hama, kadang-kadang harus disemprot dengan obat-obatan anti serangga. Obat-obatan semacam itu pada umumnya tidak selektif, artinya tidak pilih-pilih, semua serangga terkena oleh racun tersebut, bahkan hewan-hewan lainnya dan manusia tidak luput dari ancamannya. Yang lebih menyulitkan lagi adalah bahwa banyak serangga atau ahama menjadi kebal, dan sebaliknya predator dan parasit serangga menjadi sangat kurang jumlahnya, karena banyak yang terbunuh.

Ada dua macam insektisida, yang berumur pendek dan yang berumur panjang. Golongan yang pertama, fosfat organik misalnya, akan terurai dalam waktu beberapa hari atau minggu saja setelah digunakan di lapangan, sehingga setelah itu sifat racunnya sudah hilang. Tetapi golongan yang lain dapat "hidup" bertahun-tahun di dalam alam, sehingga menyebar di samping daya pembasmiannya yang langsung, juga dapat menyebar ke dalam rantai-rantai makanan di dalam ekosistem dan mempengaruhi juga makhluk-makhluk yang membentuk mata rantai.

Obat yang tahan lama tersebut dibuat sinetik, dan merupakan persenyawaan karbon, hidrogen, dan chlor, sehingga disebut "hidrokarbon

berchlor”, yang lebih dikenal dengan nama dagangnya seperti DDT, aldrin, chlordane, dieldrin, endrin, dan heptachlor. Yang perlu diperhatikan ialah bahwa mereka mempunyai tiga sifat utama, merupakan racun universal, lenyapnya lambat, dan larut dalam lemak.

Tentang yang pertama dan kedua jelas bagi kita pengaruh buruknya kepada organisma-organisma lain yang tidak ingin diberantas. Yang ketiga mempunyai akibat sebagai berikut:

Pestisida larut dalam minyak, tetapi tidak larut dalam air. Apabila ada sedikit sekali yang ikut termakan suatu organisma, maka ia akan masuk ke dalam tubuh dan larut ke dalam lemak tubuh. Karena cairan atau darah yang lewat bagian tubuh tu tidak dapat melarutkannya, racun tadi tidak dapat dibuang dari tubuh dan tetap tersimpan dalam jaringan. Karena tiap kali ada sedikit racun yang termakan, konsentrasi racun dalam jaringan makin tinggi, yang akhirnya mendatangkan akibat fatal. Ini berbahaya, karena penggunaan pestisida secara besar-besaran dan meluas, dan umur racun itu dapat bertahun-tahun, sehingga secara beranting dari makhluk satu ke makhluk lain yang mengonsumsinya, racun dapat mencemari seluruh ekosistem, termasuk manusia. Masa kini pestisida merupakan penyebab umum yang paling hebat untuk terjadinya ketidak seimbangan fauna.

Obat-obatan tadi semula memang mendatangkan berkat besar bagi manusia, karena dapat mengakibatkan hasil panen besar, dan membantu juga usaha manusia mencukupi pangan yang selalu ketinggalan dari pertumbuhan penduduk. Tetapi mengingat akan akibatnya yang lebih lanjut, yaitu pencemaran kepada lingkungan dan ke dalam kehidupan, maka penggunaan obat-obatan tersebut dibatasi sekali, bahkan dilarang di beberapa negara.

8. Penanggulangan Hama dengan Cara Lain

Sesungguhnya ada, banyak cara memberantas hama, tapi kebanyakan terdesak penggunaannya oleh pestisida hidrokarbon berchlor, karena yang terakhir ini mempunyai efek yang cepat dan memuaskan dalam pembasmian serangga hama. Kemudian ternyata bahwa akibat sampingnya terlalu berat, bahkan menyebabkan rusaknya lingkungan dan merosotnya hasil panen, sehingga orang sekarang cenderung untuk menggunakan cara-cara lain yang risikonya tidak terlalu besar, meskipun daya pemusnahnya tidak sedahsyat pestisida tersebut di atas.

8.1. Penanggulangan hama dan penyakit tanaman dengan system Organik

Pertanian organik dapat didefinisikan sebagai suatu sistem produksi pertanian yang menghindarkan atau mengesampingkan penggunaan senyawa sintetik baik untuk pupuk, zat tumbuh, maupun pestisida. Dilarangnya

penggunaan bahan kimia sintetik dalam pertanian organik merupakan salah satu penyebab rendahnya produksi.

Di sisi lain, petani telah terbiasa mengandalkan pestisida sintetik sebagai satu-satunya cara pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) khususnya hama dan penyakit tumbuhan. Seperti diketahui, terdapat sekitar 10.000 spesies serangga yang berpotensi sebagai hama tanaman dan sekitar 14.000 spesies jamur yang berpotensi sebagai penyebab penyakit dari berbagai tanaman budidaya. Alasan petani memilih pestisida sintetik untuk mengendalikan OPT di lahannya a.l. karena aplikasinya mudah, efektif dalam mengendalikan OPT, dan banyak tersedia di pasar.

Cara-cara lain dalam pengendalian OPT selain pestisida sintetik, pestisida biologi dan pestisida botani antara lain yaitu cara pengendalian menggunakan musuh alami, penggunaan varietas resisten, cara fisik dan mekanis, dan cara kultur teknis.

Pestisida dapat berasal dari bahan alami dan dapat dari bahan buatan. Dii samping itu, pestisida dapat merupakan bahan organik maupun anorganik.

Secara umum disebutkan bahwa pertanian organik adalah suatu sistem produksi pertanian yang menghindari atau menolak penggunaan pupuk sintetis pestisida sintetis, dan senyawa tumbuh sintetis. (Prihandini ,2007)

8.2. OPM dan IPM

Ada istilah yang juga penting untuk diketahui yaitu Organik Pest Management (OPM), yaitu pengelolaan hama dan penyakit menggunakan cara-cara organik. Selama ini telah lama dikenal istilah Pengendalian Hama Terpadu atau Integrated Pest Management (IPM). Persamaan diantara keduanya adalah bagaimana menurunkan populasi hama dan patogen pada tingkat yang tidak merugikan dengan memperhatikan masalah lingkungan dan keuntungan ekonomi bagi petani. Walaupun demikian, ada perbedaannya yaitu bahwa pestisida sintetik masih dimungkinkan untuk digunakan dalam PHT, walaupun penggunaannya menjadi 'bila perlu'.

Penggunaan mulsa plastik dan penjemuran tanah setelah diolah dapat menurunkan serangan penyakit melalui tanah. Aplikasi pestisida boleh dilakukan bila cara-cara pengendalian lainnya sudah tidak dapat mengatasi OPT padahal OPT tersebut diputuskan harus dikendalikan karena telah sampai pada ambang merugikan.

Bila dalam PHT masih digunakan pestisida sintetik, maka PHT tidak dapat dimasukkan sebagai bagian dalam pertanian organik. Akan tetapi, bila pestisida sintetik dapat diganti dengan pestisida alami, yang kemudian disebut sebagai pestisida organik, atau cara pengendalian lain non-pestisida maka PHT dapat diterapkan dalam pertanian organik.

Banyak cara pengendalian OPT selain penggunaan pestisida yang dapat digunakan dalam pertanian organik. Salah satunya yaitu dengan menghindari adanya OPT saat tanaman sedang dalam masa rentan. Cara menghindari OPT dapat dilakukan dengan mengatur waktu tanam, pergiliran tanaman, mengatur jarak tanam ataupun dengan cara menanam tanaman secara intercropping.

Selain itu, penggunaan varietas tahan merupakan suatu pilihan yang sangat praktis dan ekonomis dalam mengendalikan OPT. Walaupun demikian, penggunaan varietas yang sama dalam waktu yang berulang-ulang dengan cara penanaman yang monokultur dalam areal yang relatif luas akan mendorong terjadinya ras atau biotipe baru dari OPT tersebut. Cara fisik dan mekanis dalam pengendalian OPT dapat dilakukan dengan berbagai upaya, antara lain dengan sanitasi atau membersihkan lahan dari sisa-sisa tanaman sakit atau hama. Selain itu, hama dapat diambil atau dikumpulkan dengan tangan. Hama juga dapat diperangkap dengan senyawa kimia yang disebut sebagai feromon, atau menggunakan lampu pada malam hari. Hama juga dapat, diusir atau diperangkap dengan bau-bauan lain seperti bau bangkai, bila dikendalikan dengan cara hanya menyemprotkan air dengan tekanan tertentu atau dikumpulkan dengan menggunakan penyedot mekanis.

Pengendalian dengan cara biologi merupakan harapan besar untuk pengendalian OPT dalam pertanian organik. Cara ini antara lain menyangkut penggunaan tanaman perangkap, penggunaan tanaman penolak (tanaman yang tidak disukai), penggunaan mulsa alami, penggunaan kompos yang memungkinkan berkembangnya musuh alami dalam tanah, dan penggunaan mikroba sebagai agen pengendali (Prihandini, 2007)

8.3. Pestisida Organik

Pestisida dapat dibuat dari bahan anorganik maupun bahan Organik, pada proses pengendalian Organisme baik mikro maupun makro yang mengganggu tanaman (OPT) dan berlangsung dengan aman tanpa menimbulkan pencemaran lingkungan perlu dikembangkan, diteliti dan, dibudayakan pengendalian OPT dengan menggunakan Pestisida yang dibuat dari bahan Organik sebagai contoh pengendalian penyakit tanaman yang disebabkan oleh Jamur (fungi) dikendalikan dengan fungisida dari bahan Organik sebagai berikut :

1) Pestisida alami dari daun Nimba

Petani dapat menggunakan bahan ini sebagai fungisida alami. buatlah racikan dari biji nimba sama seperti untuk pestisida alami, dan semprotkan pada jamur dan karat jamur. Ini juga bisa berhasil pada jamur lain, tapi penelitian untuk itu sedang dilakukan. Lakukan uji coba sendiri..

2) Pestisida dari rumput Laut

Kumpulkan sedikit rumput laut segar, bilas dengan air untuk menghilangkan garamnya, kemudian masukkan ke dalam seember air. biarkan selama 2 minggu, kemudian semprotkan pada tanaman yang terserang jamur.

3) Pestisida alami dari Urine

Campurkan 1 bagian urin manusia pada 4 bagian air. Semprotkan ke tanaman atau pohon yang terserang jamur, seperti jamur tepung, jamur merambat dan jamur-jamur lainnya.

4)Pestisida alami dari bawang putih

Keringkan bawang putih dan tumbuk menjadi tepung. Campurkan satu sendok besar tepung bawang putih dengan 1 liter air dan gunakan sebagai semprotan pada jamur-jamur di tanaman tomat dan buncis.

5) Semprotan Pepaya

Semprotan pepaya yang digunakan pada serangga dapat juga digunakan sebagai fungisida ringan untuk jamur karat pada kopi, jamur tepung dan noda coklat pada daun padi.[

BAB III

KOMPETISI INTRA DAN ANTAR SPESIES

1. Pengertian Kompetisi

Tanaman di lapangan tidak tumbuh terpisah antar individu melainkan dalam populasi dengan jarak yang rapat. Pada awal pertumbuhan kompetisi belum terjadi karena masih cukup ruang untuk pertumbuhan tanaman, akan tetapi begitu tajuk tanaman dan atau perakaran tanaman saling bersentuhan dan “*overlapping*” pada saat itulah terjadi kompetisi. Kompetisi dapat didefinisikan sebagai perebutan antara individu tanaman dalam populasi terhadap sumberdaya yang dibutuhkan tanaman (terutama cahaya, air dan unsur hara), dimana tingkat ketersediaan sumberdaya tersebut berada di bawah tingkat kebutuhan total dan individu-individu dalam populasi.

Kompetisi dapat terjadi antara individu tanaman dalam spesies yang sama dan atau antar spesies. Kompetisi antar jenis tanaman dalam pola tanam campuran atau tumpang dan kompetisi antara tanaman dengan gulma termasuk kompetisi antar spesies. Sedangkan kompetisi antar individu pada jenis atau spesies yang sama disebut dalam spesies atau kompetisi intra spesies.

2. Kompetisi Intra Spesies

Kompetisi antar individu tanaman pada spesies yang sama dalam populasi biasanya terjadi di lapang karena adanya pengaturan jarak tanaman dan jumlah tanaman per lubang tanam untuk mendapatkan populasi optimum agar diperoleh hasil panen maksimum. Pada populasi optimum kompetisi bisa terjadi dan pertumbuhan serta hasil per individu tanaman berkurang karenanya, namun karena jumlah tanaman per hektar bertambah dengan meningkatnya populasi, maka hasil panen per hektar masih dapat meningkat. Namun bila jarak tanaman terlalu rapat atau populasi terlalu tinggi, kompetisi antar individu tanaman akan berlangsung begitu kuat sehingga pertumbuhan dan hasil per tanaman akan sangat berkurang dan akibatnya hasil per hektar menurun. Sebaliknya bila jarak tanam terlalu renggang atau populasi terlalu rendah hasil per hektar akan rendah karena penggunaan lahan tidak efisien, banyak ruang kosong diantara tajuk tanam.

Pada populasi yang sama, tingkat kompetisi dapat pula dikurangi dengan mengatur model jarak tanam (*crop arrangement/crop rectangularity*). Ada beberapa model jarak tanam yang kita kenal, antara lain : bujur sangkar, baris tunggal, baris rangkap dan model jarak tanam sama segala arah.

Tanaman bersaing terhadap sumberdaya yang berada pada lingkungan diatas dan didalam tanah. Sebagai akibat dari proses pertumbuhan dari proses pertumbuhan tanaman, tajuk tanaman akan semakin berkembang sehingga terjadi pengaruh saling menaungi diantara daun-daun yang ada. Kompetisi terhadap cahaya matahari akan terjadi dan pada keadaan ekstrim (indeks luas daun yang terlalu tinggi) penerimaan cahaya matahari oleh daun-daun bagian bawah begitu rendah sehingga hasil fotosintesis tidak mencukupi untuk kebutuhan proses respirasi. Daun-daun tersebut bersifat negatif, karena untuk kebutuhan hidupnya terpaksa harus mengambil karbohidrat dari daun bagian atas.

Pada kenyataannya dilapang, kompetisi terhadap cahaya matahari ini merupakan faktor yang paling penting dalam kaitannya dengan pengaturan populasi dan model jarak tanam, karena intensitas cahaya matahari yang jatuh pada dasarnya sudah pasti adanya. Kompetisi terhadap air dan unsur hara dapat dengan mudah diatasi, betapapun rapatnya jarak tanam, melalui irigasi dan pemupukan. Akan tetapi hal ini tidak bisa untuk cahaya matahari.

Kompetisi terhadap CO₂ sering pula terjadi di lapang, meskipun bukan merupakan faktor kritis. Kompetisi terhadap CO₂ biasanya terjadi bila tajuk tanaman sangat rapat, sehingga sirkulasi udara kurang lancar dan hal ini terjadi pada keadaan tidak ada angin pada siang hari dimana intensitas cahaya matahari tinggi. Dengan intensitas cahaya yang tinggi laju fotosintesis akan meningkat sehingga dibutuhkan CO₂ yang banyak.

Kompetisi terhadap faktor dalam tanah sering menjadi masalah yang penting meskipun penanganannya tidak sesulit faktor cahaya dan CO₂ yang sudah pasti adanya dan tidak bisa ditambah jumlahnya dalam kondisi di lapang. Akar-akar tanaman dalam tanah yang berdekatan akan mengadakan kompetisi terhadap air dan unsur hara, bila faktor-faktor tersebut terbatas jumlahnya. Namun bila irigasi berjalan lancar dan pupuk tersedia dalam jumlah banyak, tentunya kompetisi terhadap air dan unsur hara tersebut dapat diatasi betapapun rapatnya jarak tanam. Dalam keadaan demikian terhadap cahaya CO₂ sulit diatasi.

Masih sering terjadi perbedaan pendapat terhadap hubungan antara populasi tanaman dengan faktor tumbuh yang tersedia, terutama untuk faktor dalam tanah. Sebagai contoh, hubungan antara populasi tanaman dengan ketersediaan unsur hara dalam tanah (kesuburan tanah atau dosis pupuk). Telah disepakati bahwa populasi tanaman atau jarak tanam optimum pada dasarnya terjadi bila tajuk dan atau akar tanaman saling bersinggungan. Jarak tanam yang terlalu rapat akan menyebabkan pengaruh saling menaungi diantara tajuk tanaman

sehingga terjadi kompetisi terhadap cahaya matahari. Hasil panen rendah karena banyak daun-daun negatif. Sebaliknya bila jarak tanam terlalu lebar, tajuk tanaman tidak pernah dapat menutup secara sempurna sehingga terdapat banyak ruang-ruang kosong dan penggunaan lahan tidak efisien.

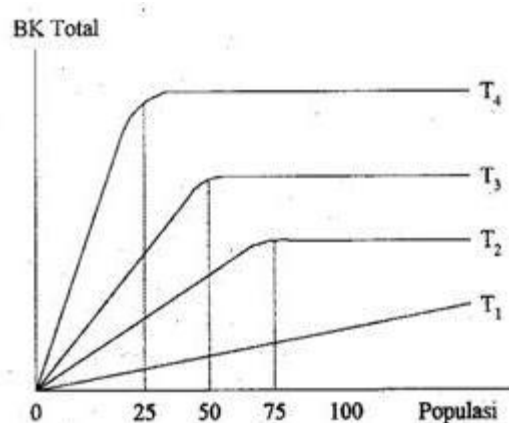
Dengan demikian untuk mendapatkan keadaan dimana tajuk tanaman saling bersinggungan harus diketahui atau setidaknya diprediksi seberapa besar ukuran tajuk suatu tanaman atau avrietas dalam kaitannya dengan faktor lingkungan tumbuh dan pengelolaan yang ada. Jarak tanam jagung hibrida tentu lebih lebar daripada varietas lokal, karena ukuran tajuknya lebih besar. Demikian halnya pada jenis tanaman dan varietas yang sama, misalnya sama-sama varietas hibrida, jarak tanam pada tanah yang subur akan lebih lebar daripada tanah miskin karena pada tanah subur pertumbuhan tanaman lebih baik sehingga ukuran tajuknya lebih besar. Pada tanah subur memang tersedia unsur hara lebih banyak daripada tanah miskin sehingga mestinya akan dapat mensuplai unsur hara kepada tanaman yang jumlahnya banyak (populasi tinggi/jarak tanam rapat), akan tetapi permasalahan yang kemudian muncul dan sulit diatasi adalah adanya persaingan berat diantara daun-daun tanaman terhadap cahaya matahari karena pada ukuran tajuk yang lebih besar (tanah subur) justru ditanam lebih rapat.

Pengertian tentang populasi tanaman sering berbeda-beda pada tanaman seperti : jagung, kedelai, bit gula dan beberapa tanaman lain yang tidak membentuk anakan, populasi tanaman dinyatakan sebagai banyaknya per hektar yang dengan mudah dapat dihitung berdasarkan jarak tanam dan banyaknya tanaman per lubang tanam. Akan tetapi untuk tanaman rerumputan, seperti padi dan tebu yang membentuk anakan, perhitungan populasi tanaman yang sebenarnya tidak semudah seperti pada tanaman yang tidak membentuk anakan. Disini jumlah anakan yang terbentuk semestinya dihitung karena terkait erat dengan hasil panen. Demikian pula yang terjadi pada tanaman kentang, dimana penghitungan populasi berdasarkan banyaknya umbi bibit yang digunakan sangat berbeda bila dibandingkan dengan banyaknya batang yang terbentuk dan hasil panen ditentukan oleh banyaknya batang.

3. Pengaruh Populasi Tanaman

Dalam kaitannya dengan populasi, ada dua aspek kompetisi yang penting dalam menentukan besarnya hasil panen yaitu : jumlah atau intensitas kompetisi dan saat terjadinya kompetisi.

Pada Gambar 2, menunjukkan bahwa pada tahap awal pertumbuhan (T_1) hasil panen yang berupa berat kering (BK) total tanaman berbanding lurus dengan meningkatnya populasi. Hubungan antara populasi dan BK total masih linier. Pada tahap pertumbuhan selanjutnya (T_2) hasil panen berbanding lurus dengan meningkatnya populasi sampai pada populasi 75, untuk kemudian peningkatan populasi dari 75 ke 100 tidak lagi diikuti oleh meningkatnya hasil. Demikian seterusnya untuk tahap pertumbuhan selanjutnya (T_3 dan T_4) masing-masing terdapat hubungan linier antara populasi dan hasil sampai pada populasi 50 dan 25. Peningkatan populasi setelah itu tidak dapat meningkatkan hasil panen.

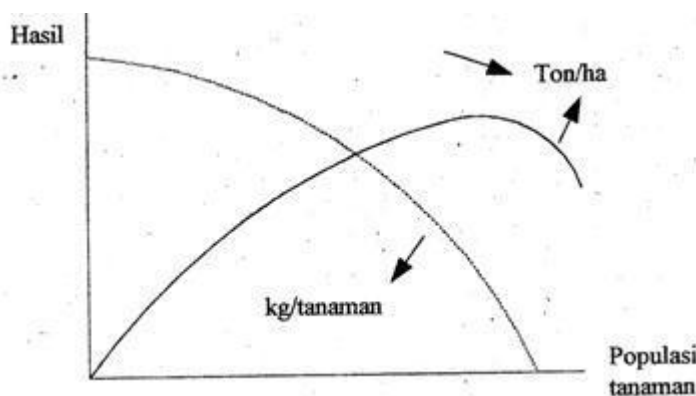


Gambar 3.1 Hubungan antara Populasi Tanaman dan BK Total pada Berbagai Periode Pertumbuhan Tanaman

Dari Gambar 3.1 di atas juga terlihat hasil panen hanya dapat meningkat secara proporsional bila populasi masih di bawah 25, dimana tajuk tanaman belum dapat menutup permukaan tanah secara sempurna sehingga penangkapan energi matahari belum mencapai maksimum. Hubungan secara hipotetik ini juga menjelaskan bahwa kompetisi akan terjadi lebih awal bila populasi semakin besar. Pada populasi yang lebih rendah, saat terjadinya kompetisi akan lebih lambat sehingga pertumbuhan tanaman lebih baik. Namun bila populasi terlalu rendah, kompetisi tidak akan terjadi sampai akhir pertumbuhan tanaman. Pertumbuhan

tanaman dan hasil panen per tanaman tinggi, akan tetapi hasil per tahun luas rendah karena rendahnya jumlah tanaman. Pertumbuhan tanaman dan hasil panen per tanaman tinggi, akan tetapi hasil per satuan luas rendah karena rendahnya jumlah tanaman. Penentuan populasi optimum dalam hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya ketidak efisienan lahan pada populasi rendah atau untuk menghindari terjadinya kompetisi yang berat pada populasi tinggi.

Saat terjadinya kompetisi dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu : kecepatan pertumbuhan tanaman yang pertumbuhan awalnya cepat dengan distribusidaun memencar dan atau bercabang, akan cepat terjadi kompetisi dibanding dengan tanaman yang pertumbuhannya lambat dan tidak bercabang.



Gambar 3.2 Hubungan antara Populasi Tanaman dan Hasil Panen

Pada gambar 3.2, disajikan hubungan antara populasi tanaman dan hasil panen. Ada dua bentuk hubungan antara populasi tanaman dan hasil panen. *Pertama*, hubungan antara asimiotik dimana dengan meningkatnya populasi tanaman akan diikuti oleh peningkatan hasil panen secara cepat untuk kemudian lambat dan setelah mencapai hasil maksimum (populasi optimum), peningkatan populasi tidak lagi diikuti oleh peningkatan hasil panen (garis besar). Hubungan

seperti ini banyak terjadi pada tanaman-tanaman sayuran atau tanaman lain yang dipanen bagian vegetatifnya. *Kedua*, hubungan parabiotik dimana setelah mencapai hasil maksimum, peningkatan populasi setelah itu justru akan terjadi penurunan hasil. Tanaman biji-bijian, buah-buahan dan umbi-umbian termasuk tipe ini. Penurunan hasil panen disebabkan karena pada populasi yang terlalu tinggi, kompetisi antara daun-daun terhadap cahaya matahari begitu besar akhirnya banyak daun-daun yang bersifat negatif. Pertumbuhan tanaman dan hasil panen per individu tanaman menunjukkan trend yang sebaliknya.

Pertumbuhan dan hasil pertanian tidak pernah meningkat dengan bertambahnya populasi. Pada mulanya garis mendatar karena kompetisi belum terjadi untuk selanjutnya menurun drastis dengan meningkatnya populasi.

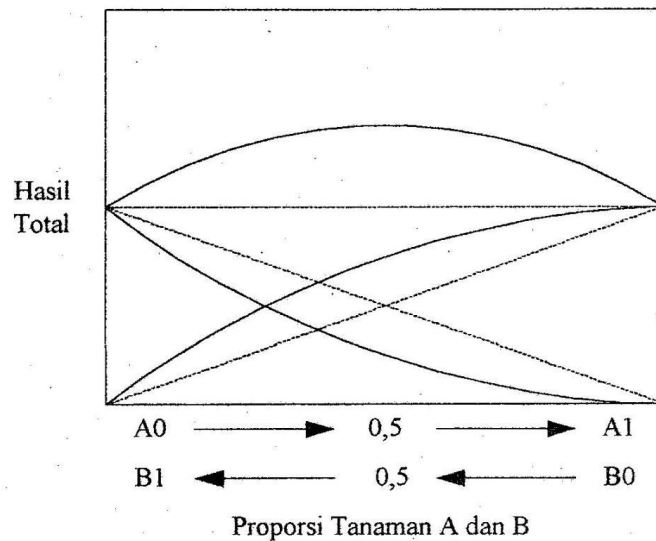
4. Kompetisi Antar Spesies

Kompetisi antar spesies atau antar jenis tumbuhan terjadi pada Sistem Tanaman Ganda (*Multiple Cropping*) dan kompetisi antara tanaman pertanian dengan gulma.

a. Sistem Tanaman Ganda

Sistem Tanaman Ganda, baik tumpang sari (*intercropping*) maupun tanaman campuran (*mixed cropping*), banyak dilakukan di Indonesia dengan luas pemilikan lahan tani yang sempit. Sistem Tanam Ganda dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan, disamping keuntungan-keuntungan yang lain.

Pada Gambar 3.3, menjelaskan hubungan antara proporsi masing-masing tanaman yang ditanam secara campuran dengan hasil total. Ada dua tipe respon, yaitu : garis putus-putus dimana antara kedua tanaman yang tercampur mempunyai kemampuan kompetisi sama dan garis tebal dimana kemampuan kompetisi tanaman yang satu lebih besar daripada yang lain. Pada garis putus-putus, karena kemampuan kompetisi tanaman A sama dengan B maka hasil total yang didapat merupakan jumlah dari hasil masing-masing jenis tanaman. Sedangkan pada garis tebal, kecuali pada monokultur, hasil total selalu lebih besar dari yang sebenarnya karena mempunyai kemampuan persaingan yang lebih besar.



Gambar 3.3. Hubungan Proporsi Tanaman dalam Sistem Tanam Campuran dengan Hasil Panen, dimana Tanaman A dan B Mempunyai Kemampuan Kompetisi sama (..) dan Tanaman A Lebih Kuat daripada Tanaman B (□)

b. Kompetisi dari Gulma

Pengaruh gulma terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman tergantung kepada sejumlah faktor. Alasan utama rendahnya hasil tanaman dengan adanya gulma adalah karena kemampuan kompetisi gulma terhadap cahaya matahari, air dan unsur hara yang diperlukan tanaman lebih besar.

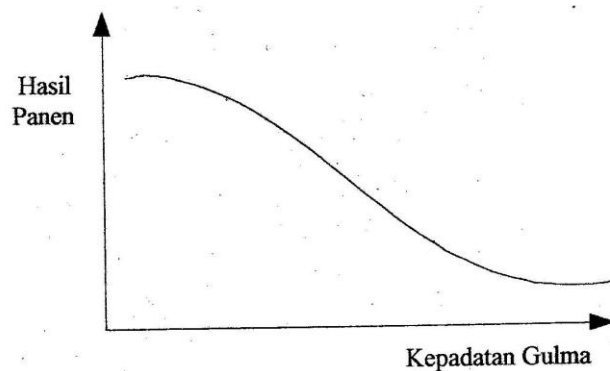
1) Kompetisi Terhadap Cahaya

Cahaya matahari diperlukan dalam proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman, sehingga dengan adanya pertumbuhan yang cepat dari gulma dapat mengakibatkan pencahayaan terhadap tanaman sehingga mengurangi laju pertumbuhannya. Kemampuan kompetisi gulma terhadap cahaya tergantung kepada : laju pertumbuhan gulma, cara tumbuh, serta kepadatan dan saat dimulainya pertumbuhan gulma dalam kaitannya dengan tanaman. Beberapa gulma semusim mempunyai laju pertumbuhan yang cepat, sehingga dapat memulai kompetisi lebih awal.

Cara tumbuh gulma juga merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan. Gulma yang tumbuh lemah pada pertanaman yang tumbuh

tegak akan memberikan sedikit kompetisi terhadap cahaya. Sebaliknya gulma yang tumbuh tegak dan kuat pada pertanaman yang tumbuhnya lambat dan mendatar akan memberikan kompetisi yang kuat. Namun demikian pada kenyataannya di lapang, pengaruh dari cara tumbuh gulma ini tidak dapat dilihat terpidah. Pengaruhnya terkait dengan keapdatan gulma dan saat tumbuh gulma dalam kaitannya dengan pertumbuhan tanaman.

Kepadatan gulma dalam bandingannya dengan kepadatan tanaman jelas akan berpengaruh terhadap tingkat dan saat dimulainya kompetisi terhadap cahaya. Awal pertumbuhan gulma yang lebih cepat akan menyebabkan kompetisi yang lebih cepat pula. Gambar 3.4 memeprihatikan hubungan antara kepadatan gulma dan hasil panen.



Gambar 3.4. Hubungan antara Kepadatan Gulma dan Hasil Panen

Dalam banyak hal dimana kepadatan gulma yang tinggi dengan perkembangan gulma yang cepat, akan menimbulkan kompetisi yang demikian kompleks. Kompetisi tidak hanya terjadi antara gulma dan tanaman, tetapi juga kompetisi antar spesies yang sama antar individu gulma dan antar individu tanaman.

2) Kompetisi Terhadap Air

Air sangat penting artinya bagi pertumbuhan tanaman dan hasil panen. Kemampuan gulma untuk bersaing terhadap air banyak ditentukan oleh tingkat dan efisiensi penggunaannya yang dalam hal ini sangat terkait dengan laju tumbuh gulma dan laju pertumbuhan akarnya. Pertumbuhan akar cepat dan dalam serta distribusi perakaran yang menyebar pada kebanyakan gulma dikotil dan menghasilkan kompetisi yang berat dan lebih awal terhadap air dan pertanaman yang sistem perakarannya dangkal dan tidak menyebar.

Pada kondisi kurang air, biasanya gulma lebih baik daya adaptasinya daripada tanaman pertanian dan sebagai akibatnya kemampuan gulma untuk berkompetisi terhadap faktor-faktor lain (seperti : cahaya matahari dan unsur hara) akan semakin besar. Daripada itu kompetisi terhadap air berkaitan erat dengan kompetisi terhadap unsur hara tidak hanya karena pertumbuhan gulma yang lebih baik akan tetapi karena absorpsi unsur hara tergantung kepada aliran air ke permukaan akar.

3) Kompetisi Terhadap Unsur Hara

Pada umumnya gulma menyerap unsur hara lebih cepat dan lebih besar jumlahnya daripada tanaman, sehingga dapat mengurangi jumlah unsur hara yang tersedia bagi tanaman tersebut. Pemberian pupuk kepada tanaman tidak akan memberikan pengaruh bila disitu banyak tumbuh gulma. Hasil penelitian pada tanaman gandum menunjukkan bahwa penurunan hasil panen akan semakin besar dengan semakin meningkatnya dosis pupuk bila terdapat gulma "black bind" (*Polygonum convolvulus*) dengan populasi tinggi. Namun hasil penelitian lain pada tanaman gandum dengan tanaman sejenis gandum liar (*Avena fatua*) dimana kedua tanaman tersebut mempunyai respon yang sama terhadap pupuk, maka dengan meningkatnya dosis pupuk tidak memperbesar penurunan hasil karena adanya kompetisi tersebut (Harper, 1983).

Cara tumbuh gulma juga merupakan faktor penting dalam persaingan terhadap nutrisi. Gulma yang tumbuh horisontal pada umumnya mempunyai daya saing lebih kuat terhadap unsur N dari pada gulma yang tumbuh tegak yang mempunyai daya saing kuat terhadap cahaya.

Kompetisi gulma terhadap unsur P dan K pada dasarnya sama dengan unsur N, namun biasanya gulma kurang peka terhadap kandungan P dan K yang rendah dalam tanah meskipun gulma cukup respon terhadap pemberian unsur-unsur tersebut. Kompetisi gulma terhadap unsur hara merupakan hal yang komplek dan membutuhkan penelaah yang cermat, mengingat hal ini sering menjadi masalah serius di lapang.

Ada sejumlah bukti yang perlu mendapat perhatian kita bersama bahwa beberapa jenis gulma merupakan pesaing kuat terhadap cahaya, air dan unsur hara sekaligus, sehingga besarnya hasil panen sangat ditentukan oleh tingkat dan lamanya, persaingan gulma dengan tanaman tersebut.

BAB IV

HUBUNGAN MIKROORGANISME PENAMBAT NITROGEN DAN TANAMAN

Pada bab ini hubungan yang akan dibahas adalah yang bersifat saling menguntungkan yang dikenal dengan istilah *Simbiose mutualistis*, khususnya hubungan antara mikroorganisme penambat nitrogen dan tanaman.

Empat jenis unsur yang paling banyak dijumpai dalam jaringan tanaman adalah C, H, O dan N. tiga unsur pertama mudah tersedia bagi tanaman, terutama dalam bentuk CO₂, H₂O dan O₂. Namun nitrogen yang merupakan penyusun utama relatif tidak tersedia bagi tanaman walaupun molekul nitrogen menduduki 80 persen dari total unsur di atmosfer. Pada umumnya, nitrogen di atmosfer secara kimiawi bersifat “*innert*” dan tidak bisa langsung digunakan oleh tanaman. Sebagai pengganti, tanaman harus bergantung pada sejumlah kecil senyawa N yang terdapat dalam tanah, terutama yang berbentuk ion bagi nitrat dan amonium.

Sejumlah proses penting bagi pengakumulasian N, baik pada lingkungan darat maupun lautan, diantaranya termasuk dekomposisi batuan yang mengandung N, koversi elektrokimia nitrogen molekuler di atmosfer selama terjadinya petir dan fiksasi N secara hayati. Yang disebut terakhir sedemikian jauh merupakan sumber pokok senyawa N. diduga bahwa sekitar 100 juta ton nyawa N terikat di permukaan bumi setiap tahun 90 persen diantaranya difiksasi secara hayati. Dalam pengertian kepentingannya bagi produktivitas hayati, fiksasi N hanya menduduki tempat kedua sesudah fotosintesis dan seperti fotosintesis, fiksasi N hanya bisa dilakukan oleh tumbuhan.

Fiksasi N secara hayati telah dilaporkan pada berbagai jenis organisme, baik organisme yang hidup bebas mampu simbiosis antara jasad renik dan tanaman tinggi terutama jenis legume (kacang-kacangan). Dalam lingkungan ekstrim, fiksasi N telah terbukti bisa terjadi pada suhu 0⁰C di daerah Artik oleh algae biru-hijau : *Nostoc* dan pada suhu hingga 55⁰C pada musim panas (oleh lagae biru-hijau: *Mastigocladus*).

1. Fiksasi Nitrogen pada Organisme yang Hidup Bebas

Organisme hidup bebas yang punya kemampuan mengikat N₂ di atmosfer termasuk berbagai jenis bakteri dan algae biru hijau. Pada umumnya, bakteri pengikat N bersifat heterotof anaerobik, misalnya *Clostridium* dan *Derxia*. Tetapi ada pula yang bersifat heterotof aerobik, contoh yang terkenal diantaranya adalah *Azotobacter* dan *Aerobacter*. Kebanyakan bakteri terletak di daerah rhizosphere yaitu lingkungan di sekitar perakaran tanaman dan memanfaatkan sisa-sisa akar serta hancuran jaringan tanaman sebagai subtract/medianya.

Beberapa bakteri fotosintesis, yang hidup pada endapan danau dangkal anerobik juga bisa memikat N, tetapi nampaknya tidak banyak sumbangannya. Sumbangan bakteri hidup bebas bagi kekayaan N tanah sangat bervariasi dan perkiraan jumlah N yang diikat per tahun berkisar dari nol hingga di atas 70 kg/ha, tergantung pada kondisi lingkungan. Beberapa percobaan yang dilakukan oleh CSIRO di Brisbane menunjukkan bahwa laju fiksasi tertinggi hingga 25 kg per ha per tahun terdapat di daerah perakaran rumput ternak. Jumlah ini walaupun tidak tinggi, namun amat berguna pada kondisi tertentu. Juga terdapat bukti bahwa fiksasi N oleh bakteri pada lapisan atas lantai hutan amat penting bagi keseimbangan nitrogen untuk hutan hujan tropis. Genus *Beijerinckia* nampaknya memegang peranan penting pada hutan hujan di tanah lateritik merah.

Lebih dari 40 persen algae biru-hijau didapati mampu mengikat N. semuanya berfilamen dan termasuk ke dalam ordo *Nostocales* dan ordo *Stigonematales*. Algae biru-hijau mempunyai kepentingan khusus dalam neraca keseimbangan N di lautan dan di rawa serta daerah tergenang di daratan. Dari segi kepentingan pertanian, diketahui bahwa algae pengikat N banyak terdapat di persawahan Indonesia dan memberi sumbangan nyata bagi penyediaan N tanaman padi. Estimasi terhadap jumlah N yang difiksasi di lahan sawah adalah sekitar 30 – 50 kg/ha/tahun.

Sebagai tambahan bagi bakteri heterotrof dan algae biru-hijau, sejumlah organisme lain diantaranya : *Aktinomisetes*, cendawan, dan ragi dicurigai sebagai pengikat N pula. Namun demikian saat ini masih diselidiki, seberapa jauh peranannya.

Fiksasi Nitrogen Secara Simbiotik dengan Tanaman Bukan Legume

Suatu asosiasi *simbiotik* antara dua bentuk kehidupan berarti bahwa keduanya memperoleh keuntungan dengan adanya kerjasama tersebut. Hal ini berbeda dengan asosiasi parasitik dimana salah satu diantaranya merupakan inang bagi yang lain. Pada simbiosis pengikatan N, tanaman memberikan suatu makanan yang berupa fotosintat yang cocok bagi mikroorganisme dan sebaliknya tanaman menerima N yang difiksasi oleh mikroorganisme tersebut. Simbiosis legume dan *Rhizobium* sedemikian jauh merupakan yang terpenting dalam konteks produksi pertanian. Namun demikian, simbiose pengikat N oleh tanaman bukan legume bagi keseimbangan ekosistem hingga kini tetap diakui peranannya.

Sejumlah non-legume yang selalu meningkat jumlahnya didapati turut menunjang fiksasi N simbiotik. Mereka termasuk *Angiospermae* maupun *gymnospermae*, yang biasanya membentuk sejumlah bintil akar yang nampaknya mirip dengan bintil akar yang dibentuk oleh tanaman legume.

Walaupun beberapa simbiosis telah tercatat dalam kelompok tanaman pengikat N non-legume, identifikasi yang teliti masih sulit dilakukan karena

beberapa endofit bintil akar tidak dapat diisolir secara baik dalam kultur di laboratorium. Pada beberapa genera seperti *Alnus* dan *Myrica*, indofit binmtil nampaknya berupa *Aktinomisetes* berfilamen. Organisme ini menyerang daerah kortikal bintil, lebih daripada jaringan intra faskuler seperti pada legume.

Sumbangan nitrogen dari *Angiosperma* penambat N non-legume cukup besar, dna istimewa terhadap N yang diikat oleh *Alnus* dan *Hippophae* melampaui 150 kg/ha per tahun. Spesies tersebut berperan penting dalam kolonisasi awal bagi tanah yang kekurangan N seperti pada daerah tererosi dan gurun pasir. Sedangkan berdasarkan perkembangan penelitian saat ini, ternyata sumbangan N dari *Gymnospermae* termasuk kecil.

2. Fiksasi Nitrogen Simbiotik pada Tanaman Legume

- Kepentingan Legume di Bidang Pertanian

Simbiosis legume *Rhizobium* penambat N sedemikian jauh paling banyak diteliti dan dibahas. Fenomena ini juga memiliki kepentingan terbesar bagi manusia dalam produksi pertanian, karena spesies legume digunakan, baik sebagai hijauan ternak maupun tanaman pangan. Peranan penting legume, baik sebagai pakan maupun merupakan akibat langsung dari kemampuan menambat nitrogen. Pada sistem kultur pandangan, legume ditahan bersama spesies rumput-rumputan. Legume akan memberikan hijauan yang mengandung protein tinggi dan juga dapat memenuhi kebutuhan N nya sendiri. Banyak dari N ini yang menjadi tersedia bagi rumput-rumputan selama perombakan sisa legume. Oleh karenanya legume memberikan sumbangan N yang penting kepada sistem pandangan rumput ternak.

Demikian pula legume berbiji dapat memberikan sumbangan N yang nyata bagi produksi pertanian. Sebagai contoh, tanaman legume berbiji yang berbintil, dia mampu menambat kebutuhan N nya sendiri di samping menghasilkan biji yang berprotein tinggi. Sisa-sisa tanaman legume berupa daun, batang, akar dan shorgum. N ini kemudian dibebaskan dalam tanah melalui perombakan sisa-sisa tanaman dan memberikan sumber N yang cepat tersedia bagi tanaman berikutnya.

Laju perombakan sisa tanaman bergantung kepada sejumlah faktor seperti : kadar air tanah, suhu dan jumlah N dalam bahan tanaman. Suhu tinggi, kadar lengas tanah dan N yang tinggi mendorong aktivitas jasad renik heterotropik yang bertanggung jawab pada pemakaian selulosa dan hemiselulosa sel tanaman di dalam tanah dan ke semua faktor ersebut menunjang perombakan secara cepat. Kadar N pada sisa-sisa tanaman juga dipengaruhi oleh ketersediaan N dalam tanah segera setelah perombakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, bila sisa tanaman berkadar N tinggi ($> 1,5$ persen N) terurai, pelepasan bersih N terjadi berbentuk ion amonium. Namun demikian, bila sisa tanaman berkadar N rendah ($< 1,2$ persen N seperti pada non-legume) terurai, tak tersedia cukup N bagi

pertumbuhan mikro flora dari dalam tanah, dan bisa mengurangi ketersediaan N untuk tanaman berikutnya.

Sumbangan N oleh legume berbintil bagi kultur pandangan dan sistem pertanaman amat beragam tergantung pada spesies dan kondisi lingkungan. Pada sistem pandangan iklim sedang fiksasi N berkisar antara 150 – 200 kg/ha/tahun. Di daerah tropis sub-tropis dan tropis dimana terjadi pertumbuhan sepanjang tahun dengan irigasi, diperkirakan jauh lebih besar yaitu lebih dari 400 kg/ha/tahun. Masa pertumbuhan tanaman semusim lebih pendek daripada tanaman pandangan dan jumlah yang ditambat lebih kecil. Perkiraan penambatan N pada kedelai misalnya, berkisar antara 80 – 169 kg/N/ha/tahun.

Ada ketidakpastian tentang seberapa banyak N yang diberikan dalam tanah dari tanaman legume yang menghasilkan biji, karena sejumlah besar N terdapat pada protein biji. Misalnya, sebanyak 200 kg/N/ha dikandung biji dari 300 kg/N/ha tanaman kedelai. Sekalipun demikian, jelas status N tanah lebih tinggi daripada yang diberikan oleh tanaman non-legume.

3. Kekhususan Legume-*Rhizobium*

Beberapa strain *Rhizobium* tertentu terbatas untuk tanaman legume tertentu dengan nama bakteri bisa membentuk bintil dan umumnya bersifat khusus bagi suatu grup spesies legume yang sefamili. Akibatnya, beberapa strain *Rhizobium* telah dikelompokkan ke dalam berbagai “*spesies*” atau grup silang inokulasi, berdasarkan atau jenis tanaman yang dibintilkannya. Sebanyak 16 grup inokulasi-silang telah diterapkan, termasuk 7 grup yang amat penting bagi pertanian seperti tertera pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengelompokan Rhizobium Berdasarkan Jenis Tanaman yang Dinodulasi

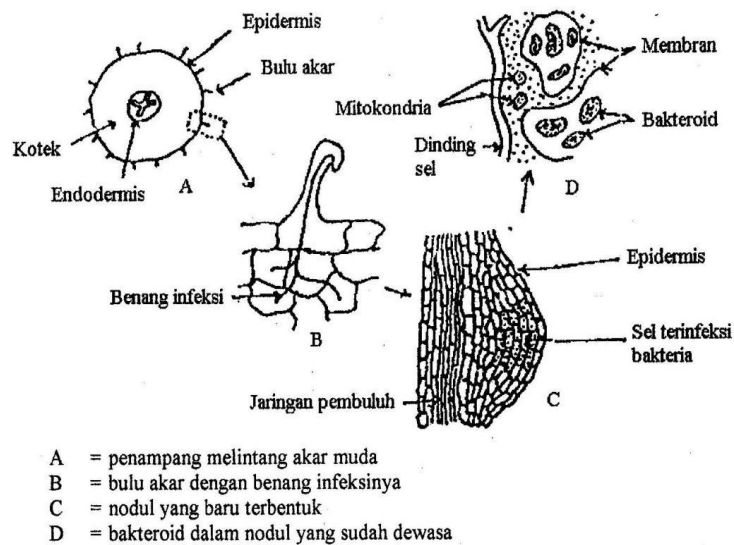
Grup	Sp. Rhizobium	Spesies Legume yang Dinodulasi
I. Grup Lucerne	Rh. Meliloti	Lucerne (Medicago) Sweetclover (Melilotus)
II. Grup Clover	Rh. Trifolli	Clovers (Trifolium sp.)
III. Grup Kapri	Rh. Leguminosarum	Kapri (Pisum), Beans (Lathyrus), Kacang Babi (Vicia), Lentil (Lens)
IV. Grup Lupin	Rh. Lupini	Lupin (Lupinus) & Saradella (Ornithopus)
V Grup Kedelai	Rh. Japonicum	Kedelai (Glicine)
VI Grup Bean	Rh. Phaseoli	Beberapa sp. Beans (Phaseolus)
VII Grup Kacang Panjang	Rh. Rhizobium sp,	Kacang panjang, black gram, kacang hijau (Vigna), Cassia (Johar), kacang tanah (Arachis), Akisis, Desmodium, Canavalia, kacang gude (Canjanus), Cyamopsis

Ada beberapa contoh dimana beberapa strain *Rhizobium* bersifat “campuran”, karena mampu menodulasi jenis legume yang berada di luar grup silang-inokulasinya. Misalnya, *Rhizobium japonicum* adalah spesifik untuk kedelai, namun ada beberapa laporan tentang sejumlah bintil kecil yang dibentuk oleh *Rhizobium japonicum* dalam tanah. Oleh karenanya diperlukan inokulasi benih kedelai dengan kultur *Rhizobium japonicum* sebelum ditanam pada suatu lahan dimana tidak pernah ditanami kedelai berbintil. Namun demikian, sekali akteri ini bisa hidup di dalam tanah, maka bakteri tersebut akan bertahan selama beberapa tahun meskipun tanpa tanaman kedelai dan mempertahankan kemampuannya untuk menodulasi tanaman berikutnya.

4. Infeksi Akar dan Pembentukan Bintil Akar

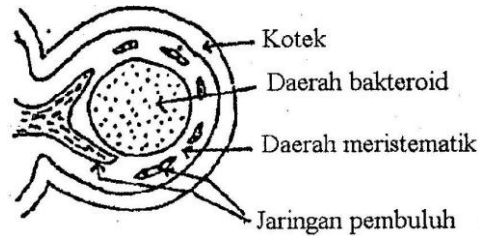
Penginfeksi beberapa legume daerah sedang (misalnya kedelai) terjadi melalui rambut akar, walaupun pada sejumlah legume tropis, infeksi bisa langsung terjadi melalui sel epidermis. Infeksi pada rambut akar biasanya

didahului dengan penggandaan *Rhizobia* yang terdapat dekat diujung akar diikuti dengan pengerutan ujung guna membentuk semacam “kait” (Gambar 4.1). Disebelah dalam lekukan dinding sel rambut akar merenggang guna membentuk semacam benang infeksi serupa Hifa melalui di mana *Rhizoba* melintas. Selanjutnya benag infeksi tumbuh ke bawah melalui pangkal sel akar rambut dan masuk serta menyabang menuju sel akar rambut dan masuk serta menyabang menuju sel-sel konteks akar.



Gambar 4.1 Perkembangan Nodul (Bintil) pada Tanaman Kedelai

Rhizoba dilepaskan ke dalam sitoplasma sel kortkes yang kemudian mengalami proses hipertropi dan pembelahan sel yang mengakibatkan terjadinya bintil. Setelah lepas, *Rhizobium* berkembang biak dan memenuhi sel inang dan terpencah di seluruh bintil pada saat sel inangnya bermitosis. Pada tahap awal infeksi, bakteri *Rhizobium* berbentuk batangan khas. Namun pada tahap akhir, bentuk batang menjadi bakteroid yang berongga. Pada bintil kedelai, 4 – 6 bakteroid dikelompokkan bersama untuk suatu selaput yang berasal dari sel inang dan yang memisahkan bakteroid dari sitoplasma sel inang. Pigmen leghaemoglobin yang kemerahan menyelubungi bakteroid di dalam pembungkus ini. Bintil yang terbentuk dicirikan oleh 4 daerah/bagian yang berlainan : kortkes bintil, daerah pembuluh, daerah merismatik dan daerah bakteroid yang merupakan tempat berlangsungnya fiksasi N (Gambar 4.2).



Gambar 4.2. Penampang Membujur Bintil Akar tanaman Kedelai

5. Pola Fiksasi Musiman

Pada kedelai pertama kali bintil terbentuk di akar pada 5 – 7 hari pertama setelah muncul kecambah. Tetapi fiksasi N belum dimulai sampai 2 minggu kemudian, disertai dengan munculnya leghaemoglobin pada bintil. Penguningan sementara bisa terjadi hingga akhir masa awal ini pada tanah berkadar N rendah, tetapi daun cepat menghijau kembali setelah dimulainya fiksasi aktif. Jumlah dan berat bintil pada tanaman meningkat selama fase pembangunan. Setelah itu, berat bintil hampir konstan hingga sebelum pemasakan dimana proses penuaan dan perombakan bintil terjadi secara cepat. Laju fiksasi N meningkat secara eksponensial selama masa sebelum dan pada saat berbunga, sesuai dengan kenaikan dalam produksi bahan kering tanaman. Puncak laju fiksasi tercapai hingga pada akhir pembungaan. Namun demikian, penurunan tajam terhadap laju fiksasi terjadi selama pengisian polong.

6. Mekanisme Fiksasi Nitrogen pada Tanaman Kacang-kacangan

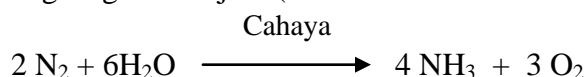
Mekanisme biokimia yang pasti untuk fiksasi N_2 masih belum ditemukan. Namun demikian komponen pokok bagi reduksi N_2 menjadi NH_3 secara simbiotik adalah:

- (1) N_2 (penerima elektron)
- (2) ATP (sumber energi)
- (3) $NADPH_2$ rantai transfer elektron, ferredoksin (sumber elektron)
- (4) Nitrogenase (enzim katalistik bagi reaksi)

Bakteroid memerlukan sejumlah besar energi dalam bentuk tenaga pereduksi (misalnya $NADPH_2$, ferredoksin) dan ATP untuk menjalankan reaksi. Energi ini diperoleh dari fotosintat yang disuplai oleh tanaman inang. Sukrosa,

glukosa dan beberapa asam, anorganik diangkut menuju bintil dan oksidasi zat tersebut di dalam bakteroid menghasilkan energi dasar (oksidasi fosforilatif). Kesemua reaksi respirasi tersebut memerlukan O₂ tinggi, yang mempertegas peran laghaemoglobin di sekitar bakteroid. Serupa dalam darah hewan menyusui laghaemoglobin juga bertindak selalu “*carrier*” untuk mengikat O₂ secara bolak-balik dan mungjung difusi O₂ menuju bakteroid.

Enzim nitrogenase yang mengkatalis pereduksian N₂ tersusun atas 2 komponen, yakni protein ber-Fe, Mo dan protein yang mengandung Fe-sulfida. Nitrogenase nampaknya berkaitan dengan sistem fiksasi N secara hayati. Namun demikian ada pendapat, bahwa pada beberapa bakteri fotosintetik, foto reduksi N secara langsung bisa terjadi (contoh : foto reduksi CO₂ selama fotosintetik).



Hasil penelitian menunjukkan bahwa NH₃ yang dihambat selama reduksi N₂ muncul pertama kali dalam asam glutamat. Oleh karenanya rangkaian C dimana NH pertama kali dilekatkan adalah ketoglutarat, yang terbentuk dari piruvat melalui siklus Krebs.

7. Pengukuran Fiksasi Nitrogen

(1) Analisis N Total

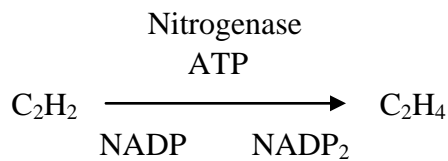
Cara ini meliputi pengukuran N total yang terkandung dalam tanaman (dan mungkin juga tanah) persatuan luas guna menentukan kandungan N total yang diikuti oleh tanaman sepanjang musim. Penetapan N dikerjakan dengan memakai analisis Kjeldahl. Prosedur ini tidak peka dan bisa menimbulkan banyak kesalahan terutama pada beberapa jenis tanah dimana terdapat sejumlah penting N tak tersedia yang bisa dimineralisasi selama pertumbuhan tanaman.

(2) Penyerapan Isotop ¹⁵N

Metode ini memberikan bukti secara langsung bagi fiksasi N. bahan tanaman diuji, misalnya akar bintil ataupun kultur algae hijau-biru, dikenakan udara yang mengandung sejumlah ¹⁵N selama masa tertentu. Banyaknya ¹⁵N yang bergabung dengan senyawa organik dalam tanaman bisa ditentukan dengan menggunakan spektrometri massa, dimana laju fiksasi N dapat dihitung. Pemakaian isotop ¹⁵N ini termasuk mahal dan terlalu lama.

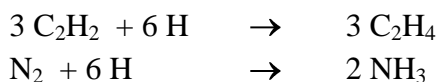
(3) Assay Reduksi Asetilen

Ensim nitrogenase yang terlibat di dalam pereduksi N₂ menjadi NH₃ tidak spesifik bagi N₂. Sejumlah reaksi reduksi lain juga dikatalis oleh ensim ini, termasuk reduksi asetilen menjadi etilen.



Reaksi ini merupakan dasar bagi sebagian besar uji peka terhadap fiksasi N. Cara ini tergolong cepat dan murah.

Metode Assay ini melibatkan bahan tanaman, misalnya tanaman di pot, akar berbintil, kultur algae, dengan suatu udara yang diisi asetilen. Tanaman yang tumbuh in situ di lapang juga bisa dipakai sebagai bahan percobaan. Setelah ±30 menit, contoh gas dari udara dimana tanaman dikenal gas asetilen tersebut dianalisis dengan memakai gas kromatografi guna menetapkan kandungan etilen. Secara teoritis untuk setiap 3 molekul C₂H₄ yang terbentuk sebuah molekul akan terfiksasi.



Namun demikian, assay ini merupakan metode tak langsung untuk mengukur fiksasi N dan oleh karenanya harus digunakan dengan catatan bahwa pemeriksaan dengan teknik ¹⁵N menunjukkan nisbah C₂H₄ : N₂ secara teoritis adalah 3 : 2.

8. Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Fiksasi N Pada Legume

(1) Suplai Fotosintat

Bakteroid tergantung kepada respirasi fotosintat yang disuplai tanaman bagi kebutuhan energi yang diperlukan dalam fiksasi N. akibatnya semua faktor yang secara umum turut memacu pertumbuhan tanaman biasanya juga

berpartisipasi dalam fiksasi N. sebaliknya, sejumlah faktor yang membatasi fotosintesis, misalnya penanaman, akan mengurangi fiksasi N. sebagai contoh pada kedelai, laju fiksasi di lapang menurun setelah cuaca mendung. Laju fiksasi menurun cepat akar dan bintil dipisahkan dari bagian tanaman di atas tanah karena adanya pengurangan substrat bagi respirasi. Oleh karena itu assay bagi fiksasi N dengan memakai bintil lepas harus dilakukan sesegera mungkin setelah diambil dari tanah.

(2) Aerasi

Fiksasi N sangat peka terhadap kondisi tanah yang anaerobik karena terdapat kebutuhan O_2 yang besar bagi respirasi dalam bintil. Di bawah kondisi tergenang air, fiksasi N segera menurun dan setelah beberapa hari tanaman mengalami penguningan dan gejala kekurangan N yang lain. Setelah masa tergenang air yang panjang, bintil menua dan hancur seluruhnya. Beberapa bintil baru biasanya akan terbentuk segera setelah kondisi tanah yang aerobik dipulihkan.

(3) Suhu

Pengaruh suhu pada laju fiksasi N belum sepenuhnya diketahui. Namun demikian suhu ekstrim pada tanah di daerah bintil telah diketahui menghambat fiksasi. Pada legume daerah sedang, suhu optimum bagi fiksasi berada dalam kisaran $20 - 25^{\circ}C$, mirip dengan kisaran optimum untuk pertumbuhan akar. Untuk beberapa legume tropis menunjukkan bahwa suhu optimum pada umumnya lebih tinggi, yakni berkisar antara $25 - 30^{\circ}C$.

Suhu ekstrim biasanya hanya berpengaruh pada beberapa sentimeter lapisan tanah teratas. Legume ternodulasi nampaknya dapat meniadakan sejumlah pengaruh yang berkaitan dengan suhu ekstrim ini karena kumpulan bintil terdapat di bawah lapisan permukaan ini. Respon seperti ini juga dapat mengurangi resiko kerusakan bintil selama masa kekeringan.

(4) Air

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa fiksasi N dalam bintil amat peka terhadap cekaman air dan dalam kondisi lapang yang kering, bintil bisa non-aktif. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dibutuhkan cukup air untuk memindahkan N terasimilasi dari bintil, karena keterbatasan air yang sangat lama dapat menimbulkan akumulasi amonia serta menghambat sintesa nitrogen.

(5) pH Tanah

Pembentukan bintil termasuk peka terhadap pH tanah pada beberapa jenis legume. Pada umumnya, legume daerah sedang lebih toleran terhadap tingkat pH tinggi, sedangkan legume tropis lebih toleran pada kondisi tanah masam. Legume daerah sedang biasanya dinodulasi oleh *Rhizobium* yang “cepat berkembang” sedangkan legume tropis oleh *Rhizobium* yang “tumbuh lambat” walaupun terdapat beberapa perkecualian. Daya tahan kelompok “lambat tumbuh” pada umumnya lebih kuat daripada kelompok “cepat tumbuh” pada kondisi tanah masam. Namun demikian, penelitian terakhir menunjukkan bahwa beberapa efek negatif pH tanah terhadap fiksasi N legume, baik daerah sedang maupun tropis tidak selalu sesuai dengan pernyataan di atas.

Beberapa jenis kedelai dinodulasi oleh *Rhizobium* dari kelompok yang “lambat tumbuh” dan pH optimum bagi nodulasi dan fiksasi N adalah sekitar 6,5. Nodulasi dihambat, baik oleh kondisi tanah yang sangat asam ($\text{pH} < 4,5$) maupun sangat basa ($\text{pH} > 7,5$).

(6) Ketersediaan Senyawa Nitrogen

Semua tahap asosiasi simbiotik antara legume dan *Rhizobium*, termasuk inisiasi bintil, perkembangan bintil dan laju fiksasi N, dihambat oleh meningkatnya ketersediaan N an-organik dalam tanah. Tanaman mengganti N an-organik dari dalam tanah untuk proses metabolismenya. Akibatnya legume kurang respon menunjukkan gejala kekurangan N, kecuali jika tersedia sejumlah cukup N an-organik dalam tanah.

Dua senyawa yang terdapat dalam bintil yang esensial bagi fiksasi N adalah leghaemoglobin dan enzim nitrogenase yang keduanya bertumpu pada ion –anorganik dalam tanah untuk memfungsikannya.

Leghaemoglobin muncul pada awal pembentukan bintil dan memberikan warna ungu yang khas pada bintil yang aktif. Leghaemoglobin mungkin bersifat carrier (seperti halnya haemoglobin di dalam daerah) yang mendorong suplai oksigen cukup bagi bakterioda untuk respirasi dan akibatnya dapat memberikan suplai ATP untuk fiksasi N. suatu penyusun leghaemoglobin yang penting adalah besi (Fe).

Enzim nitrogenase yang mereduksi NO_3^- menjadi NH_3^+ mengandung sulfida, Fe dan Mo. Suatu defisiensi dan beberapa unsur tadi akan mengurangi suplai enzim nitrogenase dan akhirnya membatasi fiksasi nitrogen.

Fosfor juga memiliki peran langsung dalam fiksasi N karena sumber energi bagi fiksasi adalah adenosin trifosfat (ATP). Sebagai tambahan defisiensi beberapa unsur lain yang mengurangi sintesa karbohidrat yang disuplai ke bakteroida, akan dapat menurunkan laju fiksasi N.