

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Hutan dan Penggunaan Lahan

Sistem pembangunan berwawasan lingkungan menuju pembangunan berkelanjutan perlu ditumbuh kembangkan dalam pembangunan pertanian secara menyeluruh dan terpadu. Sehubungan dengan hal tersebut sistem budidaya tanaman merupakan bagian dari pertanian perlu dikembangkan sejalan dengan kualitas sumberdaya manusia untuk mewujudkan pertanian yang maju.

Penggunaan lahan merupakan salah satu faktor terpenting dalam pelestarian lingkungan hidup, oleh karena itu harus diupayakan tanpa menyebabkan kerusakan lingkungan dan menurunkan kualitas sumberdaya lahan dan sebaiknya diarahkan pada perbaikan struktur fisik, komposisi kimia dan aktivitas biota tanah yang optimum bagi tanaman. Dengan demikian interaksi secara ekologis biota tanah pada lahan akan memberikan keseimbangan yang optimum bagi ketersediaan hara dalam tanah yang mendukung kesuburan tanaman. Pada umumnya semakin kompleks biodiversitas suatu lahan maka ekosistem semakin stabil (Swift *et al.*, 2003; Dewi, 2007). Sistem manajemen penggunaan lahan dapat mempengaruhi konsentrasi CO₂ yang berkaitan erat dengan produksi pertanian. (Flessa *et al.*, 2002; Dalgaard *et al.*, 2003).

Hutan dengan segala bentuk vegetasinya yang didominasi oleh lingkungan naungan pohon merupakan ekosistem tertutup yang akan membentuk iklim mikro dengan kelembaban tinggi dan suhu yang rendah dibanding dengan kondisi ekosistem yang terbuka. Lingkungan naungan pohon ini sangat berperan sebagai peneduh yang ada dibawahnya juga menciptakan kondisi yang stabil untuk kehidupan fauna tanah. Kecuali itu naungan pohon juga berperan untuk menurunkan konsentrasi CO₂ atmosfer untuk proses fotosintesis. Dewi (2007) mengatakan bahwa semakin beraneka ragam komposisi jenis dan struktur vegetasi maka akan semakin baik pengaruhnya terhadap lingkungan, vegetasi dapat mengkonservasi tanah dan air.

commit to user

Kerusakan hutan dan lahan terjadi sebagai akibat dari belum terlaksananya pengelolaan hutan dan lahan secara baik dan pada umumnya disebabkan oleh intensitas penebangan liar atau penebangan tanpa ijin secara tak terkendali serta kebakaran hutan yang terjadi di musim kemarau panjang. Kerusakan lahan yang terjadi di luar kawasan hutan antara lain disebabkan oleh penggunaan lahan untuk pertanian dengan sistem pembakaran yang berulang-ulang dan penggunaan pupuk kimia secara kontinuitas.

Kerusakan lingkungan merupakan tanda-tanda telah terlampauinya daya dukung lingkungan. Fakta membuktikan bahwa lingkungan telah dieksploitasi melebihi kemampuannya dalam mendukung kehidupan. Pemanfaatan alam seharusnya tetap memperhatikan prinsip kelestarian yang menjadi batasan yang harus dipatuhi, karena hanya dengan memperhatikan prinsip kelestarian, generasi mendatang tetap dapat mengambil manfaat dari sumber daya tersebut (Soemarwoto, 1994).

Lahan sebagai lingkungan fisik terdiri dari iklim, tanah, air dan vegetasi serta benda yang ada di atasnya sepanjang ada pengaruhnya terhadap penggunaan lahan. Oleh karena itu lahan dapat dikatakan sebagai ekosistem karena adanya hubungan yang dinamis antara organisme yang ada di atas lahan tersebut dengan perubahan lingkungannya.

Sistem budidaya tanaman hutan rakyat adalah sistem pengembangan dan pemanfaatan sumberdaya alam nabati melalui upaya manusia yang dengan modal, teknologi dan sumberdaya lainnya menghasilkan barang guna memenuhi kebutuhan manusia secara lebih baik. Sistem budidaya tanaman harus memberikan manfaat dengan tetap menjaga kelestarian sumberdaya alam dan lingkungan hidup sehingga sistem budidaya tanaman dapat dilaksanakan secara berkesinambungan dan dinamis.

Berbagai macam penggunaan lahan secara monokultur maupun polikultur dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan petani. Dilaporkan bahwa akibat perubahan alih fungsi dari hutan menjadi pertanian mengakibatkan penurunan populasi dan perubahan peran makrofauna tanah. Tanah yang terdegradasi umumnya menunjukkan penurunan kompleksitas dan biomasa fauna tanah. Rendahnya makrofauna dalam tanah terutama disebabkan oleh mobilitasnya yang rendah, sehingga dengan adanya perubahan lingkungan menyebabkan kematian atau pembatasan laju reproduksinya.

Sebaliknya makrofauna permukaan tanah dapat merespon perubahan lingkungan dengan cara bermigrasi ke tempat lain (Sugiyarto, 2003). Makrofauna tanah memegang peranan yang sangat penting dalam ekosistem tanah seperti cacing tanah adalah pemakan serasah sangat berperan dalam mempengaruhi struktur tanah dan dinamika hara.

Penggunaan lahan dan vegetasi secara umum dipengaruhi oleh keadaan tanah dan ketersediaan air. Tipe penggunaan lahan juga ditentukan oleh sifat tanah dan fisik lingkungannya. Selain kondisi tanah, faktor lain seperti iklim juga berpengaruh terhadap keberhasilan hidup suatu jenis tanaman. Setiap jenis tumbuhan tentunya memiliki persyaratan untuk tumbuh pada iklim yang berbeda. Curah hujan, suhu dan kelembaban merupakan komponen iklim yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan suatu jenis tanaman dan fauna tanah.

Agroekosistem merupakan pertanian yang bersifat hubungan timbal balik antara masyarakat dan lingkungan fisik dari lingkungan hidupnya guna memungkinkan kelangsungan hidup masyarakat itu. Ekosistem lahan harus dimanfaatkan oleh manusia untuk kesejahteraan namun tanpa mengganggu ekosistem tersebut, tapi jika pemanfaatannya berlebihan akan mengganggu keseimbangan dan kerusakan ekosistem tersebut. Untuk itu kesadaran masyarakat di lingkungan lahan perlu ditingkatkan dan kelestarian tanah perlu dijaga. Ekosistem lahan memberikan tempat tinggal dan sumber mata pencaharian untuk kebanyakan penduduk sekitar. Sebaliknya penduduk sekitar dapat memberikan kontribusi signifikan dalam keberhasilan konservasi pengelolaan ekosistem.

Perubahan paradigma pengelolaan lahan akan menekankan pada kemakmuran masyarakat terutama masyarakat lokal dengan tetap menjamin kelestarian sumberdaya dan ekosistem yang dilaksanakan secara adil, demokratis dan transparan. Kunci keberhasilan pembangunan lahan pada berbagai sistem budidaya tanaman terletak pada kualitas Sumber Daya Manusia, profesionalisme dan yang paling penting adalah moral dan etika masyarakat secara keseluruhan sehingga masyarakat mampu melaksanakan sendiri. Hal ini bisa kita sadari bahwa ekosistem terdiri dari komponen biotik dan abiotik, terdiri atas pohon-pohon atau vegetasi lain yang tumbuh bersama

dalam suatu komunitas yang sangat kompleks dan menghasilkan produk dan jasa yang bermanfaat bagi manusia.

Biodiversitas di suatu lahan budidaya tanaman berperan penting dalam menjaga fungsi ekosistem sehingga memberikan pelayanan ekologi yang bermanfaat bagi kesejahteraan manusia. Secara umum ekosistem menjadi stabil bilamana biodiversitas ekosistem dalam suatu lahan semakin kompleks. Namun tanpa disadari ternyata bahwa adanya berbagai macam sistem penggunaan lahan itu akan mengganggu ekosistem. Perubahan yang dinamis dalam penggunaan lahan berdampak pada deforestasi dan degradasi lahan, serta program rehabilitasi terkait yang dilaksanakan pada masa lalu dan masa sekarang ini. Lebih lanjut lingkungan yang terganggu atau terdegradasi pada umumnya memiliki fauna tanah yang mengalami penurunan komposisi maupun populasi yang disebabkan oleh penurunan atau hilangnya sejumlah spesies tumbuhan, penurunan kekayaan deposit seresah, perubahan sifat biologis, sifat fisik kimia tanah dan perubahan iklim mikro (Erniwati, 2008; Nuril *et al.*, 1999).

Konsep penggunaan lahan sejak awal telah berlandaskan pada azas kelestarian dan asas manfaat yaitu lahan harus dimanfaatkan sesuai dengan fungsinya untuk kemakmuran rakyat secara terus menerus dari generasi kegenerasi. Hal ini berarti bahwa ekosistem akan mengalami perubahan mendasar untuk memenuhi tuntutan pembangunan yang dampaknya terhadap perubahan lingkungan global sangat mempengaruhi kehidupan. Kriteria dan indikator pengelolaan lahan budidaya tanaman terus berkembang sebagai akibat perubahan paradigma lama yang menekankan pada kelestarian hasil untuk mengejar pertumbuhan ekonomi ke paradigma baru yang menekankan pada kelestarian sumberdaya dan ekosistem untuk kesejahteraan masyarakat.

Pengertian pengelolaan suatu lahan dengan budidaya tanaman ialah penerapan prinsip ilmu pengetahuan, ekonomi dan sosial dalam upaya pengembangan sumberdaya untuk mencapai tujuan tertentu. Pengertian ini memberikan implikasi yang sangat luas memerlukan interpretasi dan penjabaran sebagai satu kesatuan ekosistem, khususnya yang berkaitan dengan penggunaan lahan. Prinsip dasar pengelolaan lahan yang sudah berakar adalah azas kelestarian dan asas manfaat untuk

kesejahteraan masyarakat dari generasi kegenerasi tanpa menimbulkan gangguan yang berarti. Melalui prinsip tersebut diharapkan akan terbentuk agroekosistem yang stabil, kenaikan bahan organik tanah identik dengan kenaikan dari C organik dalam jangka waktu lama dengan mengembalikan lahan pertanian kedalam lahan alami/ hutan dengan penghijauan (Mclauchlan *et al.*, 2006). Sehubungan dengan hal tersebut maka perlu ada pemberdayaan masyarakat selaku petani untuk ikut melestarikan lahan dengan aturan-aturan yang ditetapkan untuk konservasi lahan dan sekaligus pelestarian lingkungan.

Pengelolaan budidaya tanaman dalam suatu penggunaan lahan dan pengelolaan ekosistem tidak dapat dipisahkan karena lahan harus dilihat sebagai ekosistem. Didalam ekosistem lahan terdapat sumberdaya yang dapat memberikan manfaat baik langsung maupun tidak langsung bagi manusia.

Penggunaan lahan dengan menggunakan sistem pertanian organik memberikan kontribusi rata-rata 50% untuk kelimpahan organisme (Bengtsson *et al.*, 2005). Manfaat lain dari adanya pohon terhadap lingkungan adalah terjadinya siklus hara yang efisien sehingga akan mendukung produktivitas lahan melalui penyuburan oleh berkembangnya mikroba tanah. Tersedianya konsentrasi bahan organik, N dan C tanah dari serasah akan berpengaruh pada biomasa biota tanah, termasuk mikoriza yang aktif menyerap dan menyediakan unsur mikro P, N, Zn, Cu dan S kepada tumbuhan inang, sehingga siklus hara bersifat efisien dan tertutup. Untuk mengatur dinamika C dan N dalam waktu jangka panjang maka perlu adanya pengaturan pada garapan bidang pertanian (Hyvonen *et al.*, 1996).

Penggunaan lahan diketahui ada berbagai sistem ditinjau dari jenis vegetasinya sebagai berikut:

1.1. Polikultur

Dalam konteks pertanian polikultur dapat diartikan sebagai pola pertanian dengan banyak jenis tanaman pada satu bidang lahan yang tersusun dan terencana dengan menerapkan aspek lingkungan yang lebih baik. Keanekaragaman di dalam polikultur tidak hanya semata dari jenis tanaman (hayati) tetapi keanekaragaman polikultur juga mengkaitkan hewan ternak sebagai satu bagian rantai kehidupan didalam pertanian. Pola pertanian polikultur ini tidaklah sama dengan pola pertanian

tumpang sari. Untuk tumpang sari hanya menggunakan tanaman semusim, sedangkan polikultur dalam hal ini lebih sebagai kombinasi antara tanaman semusim dan tanaman tahunan.

Pertanian polikultur yang berhasil akan mampu memperbaiki kondisi ekosistem lingkungan. Tanaman yang dikembangkan mempunyai hubungan simbiosis dan sinergis sehingga dapat membangun ekosistem yang sempurna dan stabil. Sistem pertanian polikultur merupakan sebuah metode pertanian yang memadukan lebih dari empat jenis tanaman lokal bernilai ekonomis pada sebuah ekosistem lahan secara terpadu. Adiyoga *et al.*, (2004) berpendapat bahwa polikultur sebuah upaya pemadatan areal dengan berbagai tanaman untuk perbaikan kondisi tanah (konservasi) sekaligus menciptakan nilai tambah ekonomi. Hal ini terjadi dalam pola pertanian polikultur karena dalam segala asupan dari luar seperti pupuk kimia bukan menjadi hal penentu keberhasilan pertanian sehingga pola pertanian polikultur dapat menekan biaya yang harus dikeluarkan petani untuk mengelola lahannya. Bentuk perawatan seperti pemupukan dan pengurangan serangan hama dalam pola pertanian polikultur menggunakan potensi lokal yang ada dengan cara membentuk siklus kehidupan dan rantai makanan alami. Petani yang menerapkan pola pertanian polikultur akan menggunakan potensi dari olahan kotoran ternak yang merupakan bagian dari pertanian polikulturnya. Kemudian untuk pengurangan tingkat serangan hama petani akan menciptakan sebuah siklus rantai makanan yang didalamnya terdapat musuh alami dari hama tersebut selain menggunakan ramuan alami, sehingga reduksi racun kimia yang dapat menghancurkan kesuburan tanah dapat dihindari.

Lebih lanjut Adiyoga *et al.*, (2004) menjelaskan bahwa sistem polikultur dicirikan oleh dua kelompok karakteristik yang secara praktis pada dasarnya saling berkaitan, yaitu karakteristik fisio-teknis dan sosio-ekonomis (Beets, 1982). Karakteristik fisio-teknis mencakup: (a) memanfaatkan berbagai faktor lingkungan secara lebih efisien, (b) memberikan stabilitas produksi yang lebih tinggi pada lingkungan yang berbeda, dan (c) memberikan perlindungan terhadap tanah secara lebih baik. Karakteristik sosio-ekonomis meliputi (a) memberikan produksi total dan pengembalian yang lebih tinggi, dan (b) menjamin penawaran pangan yang lebih kontinyu.

Pertanian polikultur juga memberi peluang yang cukup signifikan bagi peningkatan ekonomi petani lewat usaha tambahan yang sinergis dengan siklus kehidupan di lahan pertanian polikultur seperti budidaya ternak, penggemukan sapi dan lain-lain. Jadi dengan menerapkan model pertanian polikultur, selain bisa menekan besaran angka biaya produksi dan menambah pendapatan dengan keragaman hasil panen yang bisa dipasarkan ditambah lagi dengan budidaya ternak; kemudian model polikultur juga menjamin kesuburan lahan pertanian sehingga hasil panen yang baik akan tetap bisa dirasakan kedepannya.

1.2. Agroforestri

Agroforestri merupakan sistem pengelolaan lahan dengan berasaskan kelestarian, yang meningkatkan hasil lahan secara keseluruhan, mengkombinasikan produksi tanaman dan/atau hewan secara bersamaan pada unit lahan yang sama dengan menerapkan cara-cara pengelolaan yang sesuai dengan kebudayaan penduduk setempat. Istilah agroforestri dikenal pula dengan istilah wanatani, dalam arti sederhananya adalah metode bertani dengan menanam pepohonan hutan di lahan pertanian. Sistem ini sebenarnya telah dipraktekkan oleh para petani di berbagai tempat di Indonesia selama berabad-abad, misalnya yang dikenal dengan ladang berpindah, kebun campuran di lahan sekitar rumah atau pekarangan dan padang penggembalaan.

Wijayanto *dkk.*, (2012) berpendapat bahwa sistem agroforestri dicirikan oleh keberadaan komponen pohon dan tanaman semusim dalam ruang dan waktu yang sama, ruang tumbuh pohon terbagi ke dalam dua bagian yaitu ruang di atas tanah dan ruang di bawah tanah. Pengaturan ruang di atas tanah dimaksudkan agar tajuk berkembang secara optimal, dan bertujuan untuk menurunkan persaingan terhadap intensitas cahaya matahari. Pengaturan ruang di bawah tanah dimaksudkan agar akar berkembang secara optimal, mengurangi persaingan hara dan air dan memberikan ruang penyebaran akar dalam tanah (Rusdiana *et al.*, 2000).

Agroforestri dapat dikelompokkan menjadi dua sistem, yaitu sistem agroforestri sederhana dan sistem agroforestri kompleks. Sistem agroforestri sederhana adalah menanam pepohonan secara tumpang-sari dengan satu atau beberapa

jenis tanaman semusim. Jenis-jenis pohon yang ditanam bisa bernilai ekonomi tinggi misalnya kelapa, karet, cengkeh dan jati atau bernilai ekonomi rendah seperti dadap, lamtoro dan kaliandra. Sedang jenis tanaman semusim misalnya padi, jagung, palawija, sayur-mayur dan rerumputan atau jenis tanaman lain seperti pisang, kopi dan kakao. Pepohonan bisa ditanam sebagai pagar mengelilingi petak lahan tanaman pangan atau ditanam berbaris dalam larikan sehingga membentuk lorong/pagar. Sistem agroforestri kompleks, merupakan suatu sistem pertanian menetap yang berisi banyak jenis tanaman (berbasis pohon) yang ditanam dan dirawat dengan pola tanam dan ekosistem menyerupai hutan. Di dalam sistem ini tercakup beraneka jenis komponen seperti pepohonan, perdu, tanaman musiman dan rerumputan dalam jumlah banyak. Kenampakan fisik dan dinamika di dalamnya mirip dengan ekosistem hutan alam baik hutan primer maupun hutan sekunder.

Menanam pohon secara tumpangsari dengan tanaman semusim, pada satu tempat dan waktu yang bersamaan maupun bergiliran, merupakan pola dasar sistem agroforestri. Pada sistem agroforestri terjadi interaksi yaitu adanya proses yang saling mempengaruhi dari komponen-komponen penyusun agroforestri. Interaksi tersebut bisa positif (*komplimentasi*) atau negative (*kompetisi*), oleh karena itu dalam memilih jenis pohon yang menjadi komponen agroforestri harus didasarkan pada sifat dan bentuk pohon yang berpengaruh terhadap tanaman semusim.

Tumpang sari juga dapat menguntungkan karena beberapa sebab seperti berikut: a) sumber bahan organik, yaitu daun pepohonan yang gugur dan hasil pangkasan yang dikembalikan ke dalam tanah dapat menjadi pupuk sehingga tanah menjadi remah. b) menekan gulma, naungan pohon dapat menekan pertumbuhan gulma terutama alang-alang dan menjaga kelembaban tanah sehingga mengurangi risiko kebakaran pada musim kemarau. Adanya naungan dari pohon dapat memberikan keuntungan bagi tanaman tertentu yang menghendaki naungan misalnya kopi. c) mengurangi kehilangan hara, akar pepohonan yang dalam dapat memperbaiki daur ulang hara, misalnya akar pohon menyerap hara yang tidak terserap oleh tanaman pangan pada lapisan bawah selama musim pertumbuhan. Kecuali itu pohon yang ditanam cukup rapat juga dapat menstabilkan iklim mikro mengurangi kecepatan angin, meningkatkan kelembaban tanah dan memberikan naungan parsial misalnya

Erythrina (dadap) pada kebun kopi. Kemudian akar pepohonan berperan memperbaiki struktur tanah dan porositas tanah, misalnya akar pohon yang mati meninggalkan lubang pori.

Keuntungan yang diharapkan dari sistem agroforestri ini ada dua yaitu produksi dan pelayanan lingkungan (Suprayogo *et al.*, 2003) juga seperti yang dinyatakan oleh Ong (1996) bahwa “Sistem agroforestri dapat menggantikan fungsi ekosistem hutan sebagai pengatur siklus hara dan pengaruh positif terhadap lingkungan lainnya, dan di sisi lain dapat memberikan keluaran hasil yang diberikan dalam sistem pertanian tanaman semusim”. Lebih lanjut Suprayogo *et al.*, (2003) mengatakan bahwa pepohonan, tanaman semusim dan gulma dalam sistem agroforestri memberikan masukan bahan organik melalui daun, ranting dan cabang yang telah gugur di atas permukaan tanah dalam bentuk seresah (*litter*). Di dalam tanah, pepohonan memberikan masukan bahan organik melalui akar yang telah mati, tudung akar yang mati, eksudasi akar dan melalui respirasi akar. Bahan organik sebagian besar tersusun oleh karbon (C), maka untuk menyatakan kandungan bahan organik tanah biasanya dinyatakan dengan kandungan total C.

1.3. Monokultur

Monokultur adalah salah satu cara budidaya di lahan pertanian dengan menanam satu jenis tanaman pada satu areal. Cara budidaya ini menjadi penciri pertanian intensif dan pertanian industrial. Monokultur menjadikan penggunaan lahan efisien karena memungkinkan perawatan dan pemanenan secara cepat dengan bantuan mesin pertanian dan menekan biaya tenaga kerja karena vegetasi lahan menjadi seragam. Kelemahan utamanya adalah keseragaman kultivar mempercepat penyebaran organisme pengganggu tanaman seperti hama dan penyakit tanaman.

Cara budidaya ini biasanya dipertentangkan dengan pertanaman campuran atau polikultur. Dalam polikultur, berbagai jenis tanaman ditanam pada satu lahan, baik secara temporal (pada waktu berbeda) maupun spasial (pada bagian lahan yang berbeda). Pertanaman padi, jagung, atau gandum sejak dulu bersifat monokultur karena memudahkan perawatan. Dalam setahun, misalnya, satu lahan sawah ditanami

hanya padi, tanpa variasi apa pun. Akibatnya hama atau penyakit dapat menyerang tanaman pada periode penanaman berikutnya.

Praktek-praktek pertanian tradisional dengan menggunakan pupuk hijau dan pupuk kandang memberikan manfaat yang sehat bagi sistem budidaya (Manogaran, 1974). Pertanian pada masa kini biasanya menerapkan monokultur spasial tetapi lahan ditanami oleh tanaman lain untuk musim tanam berikutnya untuk memutus siklus hidup organisme pengganggu tanaman sekaligus menjaga kesehatan tanah.

Pola pengembangan tanaman dalam bentuk hutan tanaman dengan produk berupa kayu merupakan program penting untuk dilaksanakan dalam upaya menurunkan tingkat ketergantungan pemenuhan kebutuhan kayu dari hutan alam. Ketergantungan, dengan hutan alam jelas akan menurunkan produksi karena terbatasnya tanaman. Pengembangan jati menjadi sangat penting karena kayu jati yang bernilai ekonomis tinggi terus ditebang untuk memenuhi permintaan konsumen. Salah satu cara pengembangan tersebut dengan budidaya secara monokultur. Dipilihnya sistem monokultur biasanya karena pertimbangan teknis, modal usaha, maupun tenaga kerja. Tahapan dalam budidaya secara monokultur perlu dilakukan secara berurutan agar tanaman dapat tumbuh dengan baik sehingga produksi yang diharapkan dapat tercapai.

2. Biologi Cacing Tanah

Cacing tanah termasuk dalam Filum Annelida kelas Oligochaeta yang memiliki ciri-ciri tubuh bersegmen, simetri bilateral, tubuh berongga (memiliki selom) yang berisi cairan. Cacing tanah sudah memiliki saluran pencernaan yang lengkap, sistem peredaran darah tertutup, tidak memiliki alat respirasi khusus untuk mengambil O_2 dan mengeluarkan CO_2 . Respirasi dilakukan melalui seluruh membran pada permukaan tubuh (Jasin, 1991). Permukaan tubuh cacing tanah berwarna merah sampai biru kehijauan. Bentuk tubuh panjang silindris, dengan 2/3 bagian posteriornya sedikit memipih ke arah dorsoventral. Permukaan bagian bawah berwarna lebih pucat, umumnya berwarna merah jambu dan kadang-kadang putih.

Cacing tanah memiliki organ sensorik yang berkembang baik dan memiliki struktur sederhana. Struktur organ tersebut terdiri dari sel tunggal atau kelompok

yang khusus terdapat pada sel ektodermal. Terdapat 3 tipe organ sensorik pada cacing tanah, yaitu reseptor epidermal, reseptor buccal yang terdapat pada rongga mulut dan reseptor cahaya (Susilowati *dkk.*, 2007). Reseptor epidermal dan reseptor buccal merupakan organ yang merespon stimulus kimiawi. Reseptor epidermal terdistribusi pada bagian epidermis, terutama pada sisi lateral dan permukaan ventral tubuh. Reseptor buccal terletak dirongga mulut, organ ini berfungsi untuk merespon stimulus kimia yang berasal dari makanan (Koptal *dkk.*, dalam Susilowati *dkk.*, 2007).

Cacing tanah menghasilkan cairan mukus yang dihasilkan oleh kelenjar mucus epidermal. Cairan mucus memiliki banyak fungsi, fungsi yang utama yaitu untuk menjaga kelembaban tubuh. Pertukaran gas O₂ dan CO₂ pada cacing tanah terjadi melalui difusi pada permukaan tubuhnya, Cacing tanah belum memiliki alat respirasi khusus. Gas hasil respirasi yaitu CO₂ dikeluarkan melalui permukaan kulitnya (integument) maka respirasi cacing tanah disebut respirasi integumenter. Kondisi permukaan tubuh yang lembab membantu cacing tanah untuk lebih mudah mengikat oksigen dari lingkungan dan berdifusi masuk ke dalam tubuh, sedangkan karbondioksida diikat untuk dikeluarkan dari tubuh. Selain itu, cairan mucus juga berfungsi untuk membantu pergerakan cacing tanah.

Kondisi tanah yang lembab dan licin menyebabkan cacing tanah lebih mudah untuk bergerak dan mendeteksi keadaan sekitar, misalnya kondisi pH lingkungan. Cairan mucus pada cacing tanah juga berfungsi sebagai sarana komunikasi digunakan untuk menunjukkan suatu tempat dan berperan ketika cacing tanah mencari pasangan untuk melakukan proses reproduksi. Cacing tanah hermaphrodit, somit 32-37 membesar berwarna pucat disebut klitelum digunakan untuk perkawinan (Storer *et al.*, 1978). Reproduksi dilakukan dengan fertilisasi silang (Radiopoetro, 1977) Alat komunikasi lain dari cacing tanah adalah cairan selom yang dihasilkan oleh korpuskula selom. Cairan selom bersifat alkaline, tidak berwarna, mengandung air, garam, dan beberapa protein. Diduga cairan selom ini dihasilkan oleh sel kloragogen yang berfungsi mengekskresikan produk dari cairan selom. Senyawa kimia ini berfungsi sebagai alat komunikasi dan dapat bertahan aktif pada suatu tempat dalam waktu yang lama, selain itu, sifat dari senyawa tersebut sangat spesifik

karena setiap cacing memiliki kemoreseptor yang sangat sensitif, maka senyawa tersebut dapat dideteksi oleh cacing tanah jenis lain dengan mudah (Price, 1975 dalam Susilowati *dkk.*, 2007). Organ ekskresi cacing tanah disebut nephridia yang terdapat pada tiap somit, saluran nephridia disebut nephrostome (Edward *et al.*, 1972). Silia pada nephrostome berfungsi untuk memasukkan cairan didalam selom.

Pada ekosistem pertanian, cacing tanah berperan dalam pemeliharaan sifat fisika, kimia dan biologi tanah, terutama sebagai dekomposer sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanaman budidaya. Temperatur lingkungan dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan ini adalah sangat penting untuk kehidupan cacing tanah.

Setiap makhluk hidup termasuk cacing tanah memerlukan suhu lingkungan tertentu, baik suhu lingkungan dalam tubuh maupun lingkungan luar tubuh. Pada lingkungan dengan suhu berbeda akan ditemukan kepadatan cacing yang berbeda. Perubahan suhu lingkungan akan sangat berpengaruh terhadap kehidupan cacing.

Kepadatan cacing tanah pada suatu penggunaan lahan di pengaruhi oleh ketersediaan bahan organik, pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu. Cacing tanah akan berkembang dengan baik apabila tanah sebagai habitat sesuai dengan kebutuhannya. Tetapi sistem pertanian akhir-akhir ini yang tergantung penuh pada penggunaan pupuk bahan kimia telah mengganggu habitat cacing tanah sehingga keseimbangan lingkungan akan terganggu dan dapat menyebabkan kepunahan cacing.

Adanya vegetasi diperkirakan mempengaruhi kondisi fisik tanah, dan pada akhirnya mempengaruhi keberadaan dari cacing tanah tersebut. Kemudian Edwards (1998) berpendapat bahwa kelimpahan cacing tanah berkorelasi dengan variabel iklim terutama adalah curah hujan, lebih lanjut dikatakan bahwa spesies tersebut aktif pada kedalaman 10 cm dibawah permukaan tanah dan dijumpai selama empat sampai tujuh bulan selama satu tahun. Pemakaian pupuk organik pada praktek manajemen pertanian akan mempengaruhi biomassa cacing tanah.

Menurut Lavelle *et al.*, (2001) dalam Dewi (2007), populasi dan diversitas cacing tanah akan mengalami penurunan setelah adanya alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian karena cacing tanah sangat peka terhadap perubahan iklim mikro dan

ketersediaan makanan. Lebih lanjut dikatakan oleh Dewi (2007) bahwa perubahan iklim mikro dan ketersediaan makanan cacing tanah dipengaruhi oleh: tutupan lahan oleh tajuk, jumlah dan kualitas masukan seresah, ketebalan seresah di permukaan tanah, sistem perakaran, dan kandungan bahan organik.

Fauna tanah seperti cacing tanah berperan dalam pemecahan bahan organik secara fisik menjadi ukuran yang lebih halus dan dilepaskan kembali sebagai kotoran. Sisa tanaman dan hewan yang ada di permukaan dan di dalam tanah, sebagian atau seluruhnya dirombak oleh cacing tanah dan mikro organisme lain sehingga melapuk dan menyatu dengan tanah sedangkan hasil sampingnya adalah gas CO₂.

Handayanto *dkk.*, (2007) mengatakan bahwa karakterisasi bahan organik tanah dapat dilakukan melalui berbagai cara diantaranya analisis kimia, total C dan total N. Dalam proses dekomposisi bahan organik C banyak hilang oleh respirasi mikroba tanah, sedangkan N banyak terasimilasi dalam sel mikroba dan dekomposisi akan terhenti setelah mencapai kesetimbangan C:N seperti pada biomasa mikroba.

Beberapa unsur yang diperlukan organisme hidup termasuk cacing tanah diperoleh dari udara. CO₂ merupakan gas sumber unsur karbon yang selalu diambil oleh tumbuhan dari udara. Gas yang merupakan sisa pembakaran tersebut sangat berguna dalam proses fotosintesis yang hasilnya adalah O₂, yaitu gas yang memungkinkan terjadinya pembakaran. Tanpa adanya oksigen, tidak mungkin terjadi oksidasi atau pembakaran. Tanpa adanya pembakaran, tidak akan tersedia energi untuk aktivitas kehidupan. Kemudian iklim juga merupakan faktor yang perlu diperhitungkan untuk menunjang kehidupan organisme. Iklim merupakan keadaan rata-rata cuaca dalam jangka waktu tertentu sedangkan cuaca merupakan gabungan dari sejumlah unsur yang meliputi suhu, kelembapan, sinar, dan curah hujan. Dengan demikian, iklim merupakan komponen abiotik yang terbentuk sebagai hasil interaksi antara berbagai komponen abiotik. Keadaan tanah juga sangat dipengaruhi oleh iklim. Keadaan tanah sangat menentukan kehidupan tumbuhan. Kehidupan tumbuhan sangat berpengaruh terhadap kehidupan hewan. Dengan demikian, pengaruh iklim terhadap kehidupan organisme cacing tanah sangat besar. Fakta membuktikan bahwa kepadatan cacing tanah musim hujan jauh lebih besar dibanding kepadatan cacing tanah musim kemarau.

Hubungan antara komponen abiotik dengan biotik dalam ekosistem menentukan keberlangsungan kehidupan cacing tanah. Terjadinya keterbatasan faktor makanan karena faktor abiotik (suhu, temperatur, tanah) tidak mendukung untuk kehidupan cacing tanah, yang akhirnya dapat menimbulkan stress pada organism tersebut, migrasi, penyesuaian diri terhadap lingkungan, dan sebagainya.

Lingkungan biotik dalam suatu ekosistem mencakup faktor hidup yang meliputi semua makhluk hidup, baik tumbuhan maupun hewan, mikroorganisme dan manusia. Komponen-komponen yang ada di dalam lingkungan hidup merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan satu sama lain dan membentuk suatu sistem kehidupan. Suatu ekosistem akan menjamin keberlangsungan kehidupan apabila lingkungan itu dapat mencukupi kebutuhan minimum dari cacing tanah. Dalam ekosistem, tumbuhan berperan sebagai produsen, hewan berperan sebagai konsumen, dan mikroorganisme berperan sebagai dekomposer. Faktor biotik juga meliputi tingkatan-tingkatan organisme yang meliputi individu, populasi, komunitas, ekosistem, dan biosfer. Tingkatan-tingkatan organisme makhluk hidup tersebut dalam ekosistem akan saling berinteraksi, saling mempengaruhi membentuk suatu sistem yang menunjukkan kesatuan.

Hubungan antara organisme dengan lingkungannya menyebabkan terjadinya aliran energi dalam sistem itu. Selain aliran energi, di dalam ekosistem terdapat juga struktur atau tingkat trofik, keanekaragaman biotik, serta siklus materi. Dengan adanya interaksi-interaksi tersebut, suatu ekosistem dapat mempertahankan keseimbangannya. Pengaturan untuk menjamin terjadinya keseimbangan ini merupakan ciri khas suatu ekosistem. Apabila keseimbangan ini tidak diperoleh maka akan mendorong terjadinya dinamika perubahan ekosistem untuk mencapai keseimbangan baru.

Sistem pertanian dalam suatu lahan yang dibatasi oleh iklim dan tanah adalah suatu struktur alami (Abbott *et al.*, 2007). Penggunaan pupuk oleh petani yang berlebihan dapat membunuh cacing tanah karena ketidak seimbangan hara. Penggunaan bahan-bahan kimia yang lain (pestisida) juga dapat membunuh organisme tanah, dan mempengaruhi ketersediaan hara tertentu. Untuk meningkatkan kepadatan cacing tanah, sebaiknya penggunaan bahan-bahan kimia harus secara tepat guna (tidak berlebihan), pupuk sebaiknya diberikan secara bertahap.

Biota tanah memegang peranan penting dalam siklus hara di dalam tanah, sehingga dalam jangka panjang sangat mempengaruhi keberlanjutan produktivitas lahan. Dikatakan oleh Yulipriyanto (2010) bahwa salah satu biota tanah yang berperan sebagai *saprofagus* maupun *geofagus* adalah cacing tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cacing tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan sifat kimia, fisik, dan biologis tanah. Lebih lanjut masih pendapat Yulipriyanto (2010) bahwa kascing mempunyai kadar hara N, P dan K 2,5 kali kadar hara bahan organik. Berbagai spesies biota tanah bersifat peka terhadap perubahan lingkungan, praktek pengolahan tanah serta pola tanam sehingga keanekaragaman biota tanah (mikrofauna, mesofauna, makrofauna) dapat digunakan sebagai petunjuk terjadinya proses degradasi atau rehabilitasi tanah.

Cacing tanah dapat mempercepat proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik tanah (James, 1991; Swift *et al.*, 2003). Kelimpahan cacing tanah dipengaruhi oleh bahan organik, dengan meningkatnya bahan organik maka meningkat pula populasi cacing tanah. Di sekitar liang cacing tanah kaya akan C organik dan N total. Cacing tanah jenis *Pontoscolex corethrurus* mempunyai kemampuan untuk mencerna bahan organik kasar dan mineral tanah halus (Lavelle *et al.*, 1998). Cacing tanah memakan kotoran-kotoran dari mesofauna di permukaan tanah yang hasil akhirnya akan dikeluarkan dalam bentuk feses atau kotoran juga yang berperan paling penting dalam meningkatkan kadar biomassa dan kesuburan tanah lapisan atas. Cacing tanah merupakan makrofauna yang berperan dalam pendekomposer bahan organik, penghasil bahan organik dari kotorannya, memperbaiki struktur dan aerasi tanah.

Ada bukti yang cukup bahwa cacing tanah memiliki efek yang signifikan untuk lebih cepat menguraikan bahan organik dibanding mikroba dalam semua habitat (Osler *et al.*, 2007). Kotoran (feses) cacing tanah mengandung banyak bahan organik yang tinggi, berupa N total dan nitrat, Ca dan Mg, dan kemampuan penukaran basa. Disini membuktikan bahwa cacing tanah berpengaruh baik terhadap produktivitas tanah. Cacing tanah dalam sifat kimia tanahnya berperan menghasilkan bahan organik, kemampuan dalam pertukaran kation, unsur P dan K yang tersedia akan meningkat. Dekomposer cacing tanah akan mempengaruhi struktur tanah dan proses mineralisasi

serta komunitas mikroba dalam tanah, oleh karena itu cacing tanah juga akan mempengaruhi kinerja tanaman (Partsch *et al.*, 2006).

Cacing tanah bersifat *nokturnal* atau mempunyai kecenderungan menghindari cahaya bila cahaya berlebihan. Hal ini disebabkan tubuh cacing tanah terutama bagian ujung depan terdapat banyak sel fotosensitif yang sangat peka terhadap cahaya, terutama sinar ultra violet matahari. (Nugraha, 2009). Lebih lanjut Yulipriyanto (2010) mengatakan bahwa aktivitas cacing tanah yang hidup didalam tanah dapat berupa aktivitas makan, membuat kotoran (*cast*) serta aktivitas pembuatan liang (*burrowing*).

Cacing tanah dapat ditemukan hampir pada semua sistem penggunaan lahan dan sebagai penyumbang biomasa terbesar. Di hutan hujan tropis, secara ekologi klasifikasi cacing tanah (Handayanto dan Hairiah 2007) bisa dibedakan yaitu :

a. Kategori *Epigeics*

Kategori *epigeic* yaitu cacing tanah yang mempunyai habitat pada seresah di permukaan tanah. Disebut dengan *litter transformer* (penghancur seresah). Cacing ini tidak aktif dalam penyebaran seresah didalam tanah. Berperanan melumatkan seresah dan tidak mengubah susunan kimianya serta menurunkan nisbah C/N seresah.

b. Kategori *Anecics*.

Kategori ini hidup di dalam liang, makanannya adalah tanah dan seresah. Mempunyai kemampuan memindahkan seresah dari permukaan tanah menuju kedalam tanah. Kelompok ini disebut *ecosystem engineers* (kelompok penggali).

c. Kategori *Endogeic*.

Kategori ini meliputi cacing yang hidup di dalam tanah, berkembang dan berinteraksi dengan mikroorganisme lain untuk dekomposisi bahan organik. Tipe cacing ini juga termasuk *ecosystem engineers*.

Dikatakan oleh Dewi (2007) bahwa cacing tanah *epigeic* peran utamanya adalah sebagai pelumat dan pemotong seresah daun dan mentransformasikan menjadi bahan organik yang lebih stabil cacing ini tidak membentuk liang, berukuran kecil dan berwarna. Cacing tanah *anesic* makan tanah dan seresah dipermukaan tanah kemudian dibawa masuk kedalam tanah, cacing ini berukuran besar; untuk bagian dorsal

berwarna. Untuk cacing tanah endogeic adalah cacing tanah yang hidup dan memperoleh makanan didalam tanah, cacing ini tidak berwarna.

Yulipriyanto (2010) mengatakan bahwa yang berfungsi untuk pergerakan morfologis dan struktural cacing tanah adalah kepala dan prostomium serta sebuah cuping yang menutupi mulut dilengkapi dengan alat seperti pisau untuk masuk kedalam tanah. Struktur seperti rambut kecil terdapat pada setiap segmen dan kelenjar kulit yang dimiliki oleh cacing mengeluarkan lendir untuk membantu pergerakan dan membantu memperkuat liang dan *cast*.

Dikemukakan oleh Hanafiah *et al.*, (2005) bahwa kemampuan cacing tanah untuk beradaptasi dengan lingkungannya merupakan salah satu faktor penyelamat yang melestarikan suatu spesies cacing tanah dari seleksi alam. Seleksi adaptis terjadi akibat suatu populasi yang tadinya hidup pada lingkungan tidak padat pindah ke lingkungan yang padat. Populasi cacing tanah jauh lebih banyak dibawah vegetasi padang rumput dibanding vegetasi hutan dan lahan pertanian. Pada tanah bertekstur pasir, rendah bahan organik dan bersifat masam populasi dan aktivitas cacing tanah sangat terbatas. Populasi dan aktivitas cacing tanah bervariasi, optimum jika kondisinya lembab, banyak bahan organik, bertekstur halus dan kalsium. Dikatakan oleh Foth (1994) bahwa cacing tanah tidak menyukai kondisi jenuh air dan peka radiasi sinar ultra violet.

Perubahan konversi hutan tropis menjadi lahan pertanian dapat meningkatkan kepadatan cacing tanah *exotic* seperti *Pontoscolex corethurus* (Liu *et al.*, 2002). Kemudian Edwards (1998) berpendapat bahwa kelimpahan cacing tanah berkorelasi dengan variabel iklim terutama adalah curah hujan, lebih lanjut dikatakan bahwa spesies tersebut aktif pada kedalaman 10 cm dibawah permukaan tanah dan dijumpai selama empat sampai tujuh bulan selama satu tahun. Praktek manajemen pertanian akan mempengaruhi biomassa cacing tanah misalnya pemakaian pupuk dan pestisida.

3. Sifat-sifat Tanah Hubungannya dengan Cacing Tanah

Topografi dan tanah dalam lingkungan, dari bentuk fisik suatu daerah (topografi) dan kondisi tanah akan menentukan jenis tumbuhan dan hewan yang hidup dilingkungan tersebut. Kesuburan tanah juga akan mempengaruhi tumbuhan yang

hidup dan secara tak langsung akan mempengaruhi penyebaran hewan. Komponen abiotik yang baik adalah komponen yang dapat menjadi sumber pangan bagi makhluk hidup disekitarnya dan tempat tumbuh yang menunjang kehidupannya.

Tanah sangat vital peranannya bagi semua kehidupan, tanah juga mendukung kehidupan cacing tanah dan tumbuhan dengan menyediakan hara dan air sekaligus sebagai penopang akar. Jumlah cacing tanah bermanfaat untuk memonitoring sistem penggunaan lahan yang berbeda-beda, serta untuk mengevaluasi tanah terkontaminasi efek residu pestisida, pengolahan tanah, dan pemakaian bahan organik. Struktur tanah yang berongga-rongga juga menjadi tempat yang baik bagi akar dan cacing tanah untuk bernafas dan tumbuh. Tanah juga menjadi habitat hidup cacing dan berbagai mikroorganisme dan sebagian besar hewan darat, tanah menjadi lahan untuk hidup dan bergerak.

Faktor yang mempengaruhi kualitas tanah pada bagian fisiknya adalah tekstur tanah, bahan organik, agregasi, kapasitas lapang air, drainase, topografi, dan iklim. Dengan demikian karakteristik tanah ditentukan oleh kondisi fisika dan kimia termasuk iklim dan juga jenis seresah yang akhirnya semuanya akan mempengaruhi aktivitas dan dinamika cacing tanah (Gonzales *et al.*, 2001; Lavelle *et al.*, 1998). Manajemen intensitas pengolahan tanah, penambahan pupuk organik tanah, juga ikut berperan dalam menentukan eksistensi cacing tanah.

Cacing tanah berperan dalam memperbaiki struktur tanah melalui peningkatan ruang pori, aerasi, drainase, kapasitas penyimpanan air, dekomposisi bahan organik, dan pencampuran partikel tanah. Pengaruhnya terhadap pembentukan tanah dan dekomposisi bahan organik bersifat tidak langsung, secara umum cacing tanah dapat dipandang sebagai pengatur terjadinya proses dalam tanah. Aktivitas cacing tanah diakui sebagai faktor penting dalam mengatur siklus karbon (C) dan nitrogen (N) siklus dalam tanah serta fluks CO₂ dari tanah ke atmosfer (Lavelle *et al.*, 1998).

Sebagai sumberdaya alam untuk pertanian, Arsyad (1989) mengatakan bahwa tanah mempunyai dua fungsi utama yaitu: sebagai sumber unsur hara bagi tumbuhan dan sebagai matriks tempat akar tumbuhan. Kedua fungsi tersebut dapat menurun atau hilang sehingga terjadi degradasi tanah. Kerusakan tanah oleh satu atau proses tersebut

menyebabkan berkurangnya kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Pengelolaan tanah meliputi kegiatan penyusunan penggunaan tanah, konservasi tanah, pengolahan tanah dan pemupukan dimulai dengan pembersihan hutan, semak atau padang alang-alang. Lebih lanjut masalah penurunan kualitas tanah akibat konversi lahan hutan alam menjadi lahan pertanian dengan jalan membersihkan lahan dan membakar sejumlah besar biomasa tanaman merupakan gangguan terbesar bagi biota tanah (Adianto *et al.*, 2003).

Jenis tanah yang berbeda menyebabkan organisme yang hidup di dalamnya berbeda. Manusia dapat memanfaatkan tanah lebih besar dari pada organisme lain. Perlakuan manusia yang berlebihan pada tanah menyebabkan hilangnya kesuburan tanah dan tanah menjadi gersang. Tanah merupakan bagian dari lingkungan dan merupakan inti dari sumberdaya lahan (Ariyanto, 2008). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 150 tahun 2000 tentang pengendalian kerusakan tanah untuk produksi biomassa, tanah diartikan sebagai komponen lahan berupa lapisan teratas kerak bumi yang terdiri dari bahan mineral dan bahan organik, mempunyai sifat fisik, kimia, biologi serta mempunyai kemampuan menunjang kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Sifat fisika dan kimia tanah sangat penting untuk kehidupan cacing tanah yang meliputi:

a. Kelengasan tanah.

b. Tekstur Tanah

Merupakan perbandingan antara pasir (*sand*), debu (*silt*) dan lempung (*clay*). Fraksi tanah mempunyai ukuran $<2\text{mm}$, sedang fraksi pasir berukuran antara $0,05\text{--}2\text{ mm}$, fraksi debu antara $0,002\text{--}0,05\text{ mm}$ dan fraksi lempung berukuran $<0,02\text{ mm}$. Pengukuran distribusi ukuran partikel dan kelas tekstur dilakukan dengan penyaringan dan analisis sedimentasi (Sutanto, 2005).

c. Struktur Tanah; merupakan sifat fisika tanah yang mempunyai peranan penting yaitu tentang ketersediaan air didalam tanah dan ketersediaan hara dalam tanah, perombakan material organik dalam tanah, suhu tanah,

penetrasi perakaran tanaman serta aktivitas biota tanah. Ikatan antar partikel primer tanah yang membentuk suatu kelompok dengan besar atau diameter tertentu (agregat). Didalam agregat selain terdiri dari fraksi-fraksi beserta materi perekatnya juga terdapat ruang-ruang diantara fraksi dan materi padat lainnya

(Ariyanto, 2009).

- d. Konsistensi Tanah adalah ketahanan tanah pada saat memperoleh gaya atau tekanan dari luar dengan berbagai kelembaban tanah. Konsistensi dipengaruhi oleh tekstur tanah, bahan organik tanah, koloid tanah, jenis koloid tanah atau kelengasan tanah.
- e. pH tanah; kemasaman tanah merupakan salah satu sifat yang berhubungan dengan ketersediaan unsur hara. Untuk mengetahui pH tanah dapat dilakukan secara elektrometrik dengan pH meter dan secara *volumetric* dengan menggunakan indikator warna yaitu kertas pH, pH *stick* dan kertas pH *universal*.
- f. Bahan Organik; ini akan mempengaruhi sifat fisik tanah menjadi hitam, meningkatkan kemampuan mengikat H_2O dan absorbs kation, kecuali itu bahan organik mendorong mengikatnya daya menahan air tanah dan meningkatkan jumlah air yang tersedia untuk kehidupan tanaman. Pembentukan bahan organik tanah dilakukan oleh organisme tanah, humus merupakan bahan organik tanah yang telah mengalami penguraian (Foth, 1994).

Siklus hara pada ekosistem hutan telah menunjukkan bahwa sifat-sifat fisik, kimia dan biologi tanah amat mudah terganggu bahkan mundur dan rusak apabila penutup tanah berupa vegetasi hutan ditebang, terutama tebang habis. Pendekatan terhadap masalah pemulihan tanah kritis melalui penanaman berbagai jenis pohon dan tumbuhan lainnya sangat efektif jika dilaksanakan dengan mencontoh alam, dengan demikian serasi dan selaras dengan hukum alam.

Hara hasil mineralisasi dari bahan organik tanah (BOT), mineral tanah dan dari pemupukan memasuki pool hara tersedia dalam tanah. Hara tersedia selanjutnya dapat diserap oleh tanaman, atau mengalami imobilisasi. Hara tersedia yang berada di

dalam larutan tanah dapat terangkut oleh pergerakan air tanah keluar dari jangkauan perakaran tanaman sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Dengan kata lain hara tersebut telah mengalami pencucian (*leaching*). Beberapa hara terutama dalam bentuk anion sangat lemah diikat oleh partikel liat dan memiliki tingkat mobilitas tinggi (misalnya nitrat), sehingga hara ini mudah mengalami pencucian. Proses perkolasi yang merupakan gerakan massa air membawa unsur-unsur terlarut termasuk Nitrogen yang nantinya akan mengalami proses denitrifikasi dan membentuk gas N_2 yang akan menguap ke atmosfer (Suprpti *et al.*, 2010). Penyerapan Nitrogen yang lebih tinggi oleh akar merupakan faktor yang sangat penting dibanding penyerapan C (Shimono *et al.*, 2008).

Tanah-tanah terdegradasi pada umumnya menunjukkan penurunan keanekaragaman dan biomassa makro fauna tanah. Akibat lain penurunan keanekaragaman makrofauna tanah adalah terjadinya perubahan keseimbangan komunitas sehingga dapat menimbulkan dominansi spesies-spesies tertentu yang berpotensi sebagai hama tanaman (Fragoso *et al.*, 1997).

4. Peran Cacing Tanah dalam Penyediaan Hara

Cacing tanah dapat mempercepat proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik tanah (James, 1991; Swift *et al.*, 1979). Konversi pemanfaatan bahan organik oleh organisme tanah untuk menghasilkan energi dan sintesis bahan-bahan pembentuk sel baru yang digunakan untuk mempertahankan kehidupannya.

Hale *et al.*, (2006) menyatakan bahwa perubahan struktur kimia tanah dan dinamika hara akan mempengaruhi invasi cacing tanah. Oleh karena itu cacing tanah dapat dijadikan bioindikator produktivitas dan kesinambungan fungsi tanah, sehingga eksistensi dan peran cacing tanah dapat digunakan sebagai informasi awal dalam rangka meningkatkan kesuburan tanah. Eksistensi cacing tanah pada lahan yang alami akan menjaga proses siklus hara secara terus menerus, sebaliknya pada lahan pertanian pada umumnya memiliki cacing tanah yang mengalami penurunan populasi yang disebabkan oleh penurunan atau hilangnya sejumlah spesies tumbuhan, penurunan produksi serasah, perubahan sifat biologis, fisik dan kimia tanah, penurunan populasi fauna lain dan mikro organisme tanah, dan perubahan iklim mikro ke arah yang

kurang menguntungkan bagi pertumbuhan makhluk hidup di dalamnya (Nuril *et al.*, 1999). Ada bukti yang cukup bahwa cacing tanah memiliki efek yang signifikan untuk lebih cepat menguraikan bahan organik dibanding mikroba dalam semua habitat (Osler *et al.*, 2007).

Kotoran (feses) cacing tanah mengandung banyak bahan organik yang tinggi, berupa N total dan nitrat, Ca dan Mg, dan kemampuan penukaran basa. Disini membuktikan bahwa cacing tanah berpengaruh baik terhadap produktivitas tanah. Cacing tanah dalam sifat kimia tanahnya berperan menghasilkan bahan organik, kemampuan dalam pertukaran kation, unsur P dan K yang tersedia akan meningkat. Dekomposer cacing tanah akan mempengaruhi struktur tanah dan proses mineralisasi serta komunitas mikroba dalam tanah, oleh karena itu cacing tanah juga akan mempengaruhi kinerja tanaman (Partsch *et al.*, 2006).

Adanya perbedaan akumulasi biomassa seresah pada berbagai sistem budidaya tanaman tentunya akan menyebabkan perbedaan kandungan unsur hara yang ada di dalam tanah karena kandungan bahan organik dan unsur hara tanah berasal dari dekomposisi seresah dan dampaknya akan terjadi perbedaan kesuburan tanahnya. (Supriyo *et al.*, 2009).

Pertumbuhan vegetasi hutan terjadi karena sistem perakaran berlapis dan menembus lapisan tanah yang dalam dengan laju fotosintesis tinggi; melalui permukaan daun yang rapat dan lebat dihasilkan bahan organik dalam jumlah besar. Mekanisme siklus hara yang kurang lebih tertutup, dapat memelihara dan menambah kesuburan tanah, terutama dilapisan atas. Dengan demikian hal itu dapat menunjang pertumbuhan yang baik dan menghasilkan biomas dalam jumlah besar. Semakin beranekaragam komposisi jenis tumbuhan pohon (hutan campuran) dan strukturnya (ukuran diameter dan tinggi) semakin tercampur pertumbuhannya semakin baik pula pengaruhnya terhadap lingkungan, tanah dan air.

Tanah-tanah pertanian di daerah tropik basah umumnya memiliki kandungan bahan organik yang sangat rendah di lapisan atas. Pada tanah yang masih tertutup vegetasi permanen (hutan), umumnya kadar bahan organik di lapisan atas masih sangat tinggi. Perubahan hutan menjadi lahan pertanian mengakibatkan kadar Bahan Organik Tanah menurun dengan cepat. Hal ini antara lain disebabkan oleh beberapa

alasan: a) Pelapukan (*dekomposisi*) bahan organik berlangsung sangat cepat, sebagai akibat tingginya suhu udara dan tanah serta curah hujan yang tinggi. b) Pengangkutan bahan organik keluar tanah bersama panen secara besar-besaran tanpa diimbangi dengan pengembalian sisa-sisa panen dan pemasukan dari luar, sehingga tanah kehilangan potensi masukan bahan organik.

Pepohonan yang ada pada sistem penggunaan lahan akan memberikan masukan bahan organik melalui daun, ranting dan cabang yang telah gugur di atas permukaan tanah. Di bagian bawah (dalam tanah), pepohonan memberikan masukan bahan organik melalui akar-akar yang telah mati, tudung akar yang mati, eksudasi akar dan respirasi akar. Guguran serasah yang terdapat di hutan akan terurai dan diserap kembali untuk metabolisme oleh vegetasi hutan melalui proses pelapukan akhirnya akan terbentuk siklus hara tertutup. Namun bila hutan berubah menjadi lahan pertanian siklus hara tersebut akan menjadi siklus terbuka.

Serasah yang jatuh di permukaan tanah dapat melindungi permukaan tanah dari pukulan air hujan dan mengurangi penguapan. Tinggi rendahnya peranan serasah ini ditentukan oleh kualitas bahan organik tersebut. Semakin rendah kualitas bahan, semakin lama bahan tersebut dilapuk, sehingga terjadi akumulasi serasah yang cukup tebal pada permukaan tanah hutan. Di dalam ekosistem hutan alami tercipta “siklus hara tertutup” yaitu suatu sistem yang memiliki jumlah kehilangan hara lebih rendah dibandingkan dengan jumlah masukan hara yang diperoleh dari penguraian serasah atau dari serap ulang (*recycle*) hara pada lapisan tanah dalam.

Penambahan bahan organik ke dalam tanah baik melalui pengembalian sisa panen, kompos, pangkasan tanaman penutup tanah dan sebagainya dapat memperbaiki cadangan total Bahan Organik Tanah (*capital store C*). Adanya Oksigen maka karbon organik akan dioksidasi menjadi CO_2 oleh organisme aerobik heterotrof, sedang dalam keadaan tanpa oksigen, karbon organik terdapat dalam bentuk metana (CH_4).

Dikatakan oleh Yulipriyanto (2010) bahwa selama proses dekomposisi, beberapa organisme dapat tumbuh sehingga sisa tanaman/ serasah tanaman lebih terbuka bagi mikroorganisme lainnya. Oleh hewan tanah, permukaan bahan tersebut dihancurkan sehingga mempermudah mikroorganisme tersebut hidup dan berkembang di dalamnya, kemudian timbul proses humifikasi yaitu proses yang tidak berlangsung

sempurna dari perombakan sisa-sisa tanaman sehingga sebahagian bahan organik masih tertinggal didalam tanah dan membentuk humus. Lebih lanjut Handayanto *et al.*, (2007) mengatakan bahwa mikroorganisme tanah menggunakan komponen sisa organik sebagai substrat untuk energi dan sumber karbon dalam sintesis sel baru, energi diberikan ke sel mikroba melalui oksidasi senyawa organik dan hasil akhir berupa CO₂ yang dilepas kembali ke atmosfer.

Sumber karbon yang utama adalah CO₂ atmosfer yang ditambat oleh tanaman dan organisme autotrof menjadi karbon organik (Smith, 2008). Sumber karbon dalam tanah dapat dibedakan secara langsung dan tidak langsung, secara langsung berasal dari sisa tanaman yang tidak dipakai oleh herbivora sedang secara tidak langsung berasal dari hewan herbivora dan limbahnya. Bentuk karbon organik dalam tanah 50% bentuk aromatik, 20% berasosiasi dengan nitrogen dan 30% berada dalam bentuk karbon karbohidrat, asam lemak dan karbon alkana (Handayanto *et al.*, 2007).

Karbon organik tanah dibedakan karbon organik tidak larut (90%) berupa humus tanah, sedang karbon organik larut dihasilkan oleh akar tanaman dalam bentuk eksudat akar dan karbon biomassa. Didalam tanah karbon organik larut merupakan substrat berbagai mikroba tanah. Karbon biomassa terdiri atas mikroorganisme dan fauna tanah, meskipun jumlahnya sedikit tapi berperanan penting dalam siklus karbon dan unsur hara lainnya. Swift *et al.*, (2003) berpendapat bahwa dekomposisi sisa tanaman (tajuk, akar dan eksudat akar) terdiri atas tiga proses yang saling berkaitan yaitu pencucian (*leaching*) senyawa mudah larut, katabolisme organisme perombak dan pelumatan bahan oleh fauna tanah. Proses pencucian oleh hujan dapat menyebabkan kehilangan bahan yang tercuci sampai 15% dari berat kering seresah, sedang aktivitas lainnya berupa proses biologis dan dapat dipisahkan antara aktivitas fauna tanah dan mikroorganisme tanah. Ternyata aktivitas fauna tanah merangsang aktivitas mikroorganisme untuk melakukan dekomposisi.

Alur nitrogen dalam tanah terkait erat dengan aliran karbon. Yang paling banyak menyusun atmosfer adalah Nitrogen yaitu sekitar 80%. Amonium adalah sumber utama Nitrogen untuk mikro organisme. Sebagian besar tanaman tidak mampu mengasimilasikan oleh karena itu membutuhkan nitrat yang dihasilkan oleh bakteri nitrifikasi. Tahapan proses nitrifikasi melalui tahap 1) oksida ammonia menjadi nitrit

dan 2) oksida senyawa nitrit menjadi nitrat. Siklus Nitrogen tidak bisa dipisahkan dari kegiatan pertanian, walaupun di udara N sangat melimpah namun yang dapat digunakan secara langsung oleh tumbuhan sangat sedikit. Sehubungan dengan hal tersebut maka petani selalu memberikan pupuk yang mengandung Nitrogen.

Kondisi lahan hutan, cacing cenderung kehilangan biomassa dibanding kepadatannya hal ini disebabkan hutan tanpa adanya gangguan manusia untuk mengolah tanahnya, hal ini dikatakan oleh Hubbard *et al.*, (1999). Lebih lanjut dikatakan oleh Ansyori (2004) bahwa kepadatan dan distribusi cacing tanah tidak hanya berhubungan dengan pengelolaan lahan tetapi juga faktor tanah dan iklim.

Bahan organik tanaman merupakan sumber utama cacing tanah maka jenis dan komposisi bahan organik menentukan kepadatan cacing tanah (Suin, 1997; Hakim *dkk.*, 1986). Serasah yang jatuh di permukaan tanah dapat melindungi permukaan tanah dari pukulan air hujan dan mengurangi penguapan. Tinggi rendahnya peranan serasah ini ditentukan oleh kualitas bahan organik tersebut. Semakin rendah kualitas bahan, semakin lama bahan tersebut dilapuk, sehingga terjadi akumulasi serasah yang cukup tebal pada permukaan tanah hutan.

Dikatakan oleh Baker (1998) bahwa kepadatan, biomasa dan diversitas cacing tanah dipengaruhi oleh penggunaan lahan. Hal ini bisa kita fahami bahwa cacing tanah dibawah naungan pohon (hutan) memiliki kepadatan cacing yang tinggi karena naungan pohon tersebut akan mengurangi evaporasi dan menjaga suhu tanah.

Kepadatan cacing tanah tergantung juga pada kondisi iklim mikro yang ada disekitar habitatnya sehingga iklim mikro memberikan kontribusi yang sangat besar pada cacing tanah. Dalam kondisi kelembaban yang rendah akan menurunkan pertumbuhan cacing, namun bila kelembaban terlalu tinggi maka cacing akan mati.

Pada ekosistem alam siklus nitrogen dapat merespon perubahan lingkungan, seperti penggundulan hutan dapat menyebabkan pencemaran air tanah oleh nitrat karena pool N tidak lagi dapat diserap oleh tumbuhan. Nitrogen berada dalam bentuk gas N_2 , nitrogen organik, ion amonium dan nitrat. Nitrogen organik berada dalam bentuk senyawa yang ada dalam tanah secara alami

meliputi protein dan asam amino, polimer dinding sel mikroba dan gula asam amino, asam nukleat, vitamin, antibiotika dan hasil sementara metabolisme.

5. Peran Cacing Tanah dalam Dekomposisi Bahan Organik

Cacing tanah dapat membantu dalam proses dekomposisi bahan organik yang ada dalam tanah dan dari hasil proses dekomposisi tersebut akan dibebaskan berbagai unsur hara didalam tanah yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Cacing tanah merupakan bagian dari organisme dekomposer yang berperan penting dalam menentukan laju dekomposisi, disamping melakukan pelumatan botan menjadi fraksi yang kecil-kecil dan mengeluarkan enzim-enzim yang dapat menstimuli aktivitas mikrobia dekomposer, aktivitas cacing tanah ini juga dapat memperbaiki sifat tanah seperti meningkatkan infiltrasi, aerasi serta agregasi tanah (Sugiyarto, 2000; Tian, 1992; Lavelle *et al.*, 1994). Cacing tanah mempunyai peranan penting dalam dekomposisi bahan organik tanah dalam penyediaan unsur hara. Cacing tanah akan meremah-remah substansi nabati yang mati, kemudian bahan tersebut akan dikeluarkan dalam bentuk kotoran (Rahmawaty, 2004).

Secara umum diversitas cacing tanah ini berperan dalam keberlanjutan ekosistem sebagai agen dalam siklus hara dan penyerapan C, serta memodifikasi struktur tanah dan kelembaban (Dewi, 2007). Seresah sebagai sumber makanan yang paling baik bagi cacing tanah karena karbohidratnya relatif tinggi dan rendah kandungan lignoselulosenya. Cacing tanah tidak mampu makan seresah segar yang baru jatuh dari pohon. Seresah tersebut membutuhkan periode tertentu untuk lapuk atau terurai sampai cacing tanah mampu memakannya (Edward *et al.*, 1972). Bahan organik tanaman merupakan sumber energi utama bagi kehidupan biota tanah, khususnya makrofauna tanah (Suin, 1997), sehingga jenis dan komposisi bahan organik tanaman menentukan kepadatannya (Hakim *dkk.*, 1986).

Handayanto *et al.*, (2007) mengatakan bahwa karakterisasi bahan organik tanah dapat dilakukan melalui berbagai cara diantaranya analisis kimia, total C dan total N. Praktek pertanian secara terus-menerus akan mengurangi cadangan total N dan C dalam tanah. Apabila ada pemberian pupuk maka secara bertahap kondisi tersebut akan pulih kembali. Dari semua unsur hara, unsur N dibutuhkan dalam jumlah paling

banyak tetapi ketersediaannya selalu rendah, karena mobilitasnya dalam tanah sangat tinggi. Kemampuan tanah dalam menyediakan hara N sangat ditentukan oleh kondisi dan jumlah bahan organik tanah. Hubungan antara Carbon dan Nitrogen didalam tanah sangat penting dan dinyatakan dengan *C/N ratio*. Dalam pengolahan tanah *C/N* biasanya berkisar 8:1 sampai 15:1. Kepentingan untuk mengetahui *C/N ratio* adalah mencegah kompetisi antara mikroorganisme dengan tanaman, juga digunakan untuk mengetahui tingkat pelapukan dan kecepatan penguraian bahan organik serta ketersediaan unsur hara N dalam tanah. *C/N ratio* juga untuk mengetahui kandungan N relative, jadi merupakan petunjuk kemungkinan kekurangan Nitrogen dan persaingan antara mikroba dalam penggunaan N yang tersedia dalam tanah. Perbedaan ukuran dan distribusi C dan N tergantung berkurangnya vegetasi pada proses alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian akibat perilaku manusia yang berdampak pada perubahan lingkungan disertai adanya perubahan C dan N tanah (Finzi *et al.*, 1998. Bolker *et al.*, 1995).

Suprayogo *et al.*, (2003) menyatakan bahwa bahan organik tanah berperan sangat penting dalam kesuburan tanah, baik sifat kimia, fisika maupun biologi tanah. Dari segi kimia, Bahan Organik Tanah berperan penting dalam menambah unsur hara dan meningkatkan kapasitas tukar kation (penyangga hara = *buffer*). Meningkatnya kapasitas tukar kation tanah ini dapat mengurangi kehilangan unsur hara yang ditambahkan melalui pemupukan, atau dari hasil mineralisasi Bahan Organik Tanah, sehingga Bahan Organik Tanah dapat meningkatkan efisiensi pemupukan. Dari segi fisika tanah, tingginya kandungan Bahan Organik Tanah dapat mempertahankan kualitas sifat fisik tanah sehingga membantu perkembangan akar tanaman dan kelancaran siklus air tanah antara lain melalui pembentukan pori tanah dan kemandapan agregat tanah. Dengan demikian jumlah air hujan yang dapat masuk ke dalam tanah (infiltrasi) semakin meningkat sehingga mengurangi aliran permukaan dan erosi. Bahan organik mampu mengikat air dalam jumlah besar, sehingga dapat mengurangi jumlah air yang hilang. Dari segi biologi tanah, bahan organik tanah juga memberikan manfaat biologi melalui penyediaan energi bagi berlangsungnya aktivitas organisme, sehingga meningkatkan kegiatan organisme mikro maupun makro di dalam tanah.

Hairiah *et al.*, (2004) mengatakan bahwa seresah sebagai pasokan Bahan Organik Tanah (BOT) akan mengalami pelapukan (dekomposisi) dengan laju pelapukan ditentukan oleh kualitasnya yaitu nisbah kandungan C:N, kandungan lignin dan polyphenol. Selanjutnya seresah akan cepat lapuk bila nisbah $C:N \leq 25$, kandungan lignin $\leq 15\%$ dan polyphenol $\leq 3\%$. Kemudian seresah asal daun tanaman yang mengandung N tinggi ($\geq 3\%$) akan lebih cepat lapuk dan cocok dipakai untuk pupuk N. Seresah yang cepat lapuk keberadaannya di permukaan tanah relatif singkat sekitar 4-6 minggu. Bahan organik tanaman akan mempengaruhi tata udara pada tanah dengan adanya jumlah pori tanah karena aktivitas biota tanah. Oleh aktivitas biota tanah, bahan organik tanaman dirombak menjadi mineral dan sebagian tersimpan sebagai bahan organik tanah. Bahan organik tanah sangat berperan dalam memperbaiki sifat fisik tanah, meningkatkan aktivitas biologi tanah dan meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman (Suin, 1997).

Pergerakan cacing tanah dapat secara horizontal maupun vertikal, gerakan cacing tanah secara vertikal menyebabkan terjadi sirkulasi unsur hara dari sistem tanah bagian lebih dalam ke sistem tanah bagian atas atau sebaliknya. Secara alami cacing mencari makan di permukaan tanah, kelebihan cahaya dapat memaksa cacing bersembunyi sehingga konsumsi makan turun. Hal ini sesuai dengan sifat-sifat biologis cacing tanah yaitu tidak tahan cahaya atau matahari langsung, hidup ditempat gelap, tidak tahan genangan air serta lebih aktif di malam hari.

Cacing tanah mendaur ulang (*recycle*) bahan organik dengan cara memakan bahan tanaman dan hewan yang mati, kotoran hewan dan organisme tanah yang lain. Cacing tanah memecah bahan organik menjadi bagian-bagian yang lebih kecil sehingga dapat dibusukkan oleh jasad renik seperti jamur dan bakteri. Ketika mereka memakan bahan organik, sisa makanan dan kotorannya bercampur dengan tanah sehingga menyebabkan kesuburan tanah. Hara di dalam kotoran cacing tanah ini diserap oleh akar tanaman. Jumlah cacing tanah dapat meningkatkan sifat kimia tanah yaitu pH tanah. Besarnya keanekaragaman biota tanah dipakai sebagai indikator biologis terhadap kualitas/kesehatan tanah.

Biota tanah memegang peranan penting pada proses siklus hara di dalam tanah sehingga dalam jangka panjang sangat mempengaruhi keberlanjutan

produktivitas lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan cacing tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan sifat kimia, fisik, dan biologis tanah.

Secara umum peran cacing sebagai penyubur dan penyehat tanah tidak diragukan lagi, terutama kemampuan dalam memperbaiki sifat-sifat tanah yaitu dalam hal ketersediaan hara, dekomposisi bahan organik, pelapukan mineral, aerasi, struktur tanah, formasi agregat tanah dan sebagainya. Adapun peran cacing dalam siklus bahan organik (Hanafiah *et al.*, 2005) sebagai berikut:

a. Fragmentator

Cacing tanah berperan penting dalam fragmentasi proses dekomposisi seresah yang ada diatas permukaan tanah. Kecepatan fragmentasi ini tergantung pada jenis seresahnya. Seresah yang ada pada tanah lembab lebih cepat mengalami fragmentasi dari pada seresah kering yang ada diatas tanah kering.

b. Pencerna dan pencampur

Cacing tanah memakan bahan organik bersama dengan tanah dan dicerna didalam ususnya kemudian dikeluarkan berupa kascing kedalam tanah.

c. Stimulator humifikasi

Proses akhir dekomposisi bahan organik disebut humifikasi yaitu proses penghancuran dan pencampuran secara kimiawi terhadap partikel-partikel bahan organik menjadi humus.

Cacing tanah mampu meningkatkan jumlah N termineralisasi yang tersedia bagi tanaman. Cacing tanah mampu mengkonsumsi bahan organik berkadar N tinggi yang sebagian besar dikembalikan kedalam tanah melalui eksresinya dalam bentuk ammonia. Seresah yang ada dipermukaan tanah memiliki nisbah C/N tinggi. Cacing tanah memakan seresah bernisbah C/N yang bervariasi dan lebih menyukai yang bernisbah rendah. Melalui metabolismenya dan sistem pencernaannya cacing tanah dapat menurunkan C/N bahan organik setelah diekskresikan dalam bentuk kascing. Distribusi bahan organik dalam tanah berpengaruh terhadap cacing tanah karena terkait dengan sumber nutrisinya sehingga pada tanah miskin bahan organik hanya sedikit jumlah cacing tanah yang dijumpai.

6. Peran Cacing Tanah terhadap Konsentrasi CO₂

Vegetasi hutan berperan penting dalam menyerap CO₂ di atmosfer yang dimanfaatkan untuk fotosintesis yang juga sekaligus menimbun karbon dalam bentuk bahan organik. Bilamana fungsi hutan terganggu seperti kalau terjadi penebangan hutan maka akan terjadi gangguan dalam siklus CO₂ dan O₂ di atmosfer. Namun demikian tanah juga berfungsi mengatur konsentrasi CO₂ atmosfer, melalui pori-pori tanah maka CO₂ tanah akan keluar menuju atmosfer. Konsentrasi CO₂ sebagai hasil respirasi yang dikeluarkan dari tanah bervariasi menurut kedalaman tanahnya, aerasi dan musim. Dikatakan oleh Ishizuka *et al.*, (2002) bahwa konsentrasi CO₂ tertinggi terdapat pada tanah dengan kedalaman 10-25 cm dari permukaan tanah dan minimum pada saat pagi hari dan setelah matahari terbenam. Senada dengan yang disampaikan oleh Dugas (1993) diacu dalam Taufik (2003) bahwa pada keadaan aerobik produksi CO₂ dari tanah lebih besar dibandingkan keadaan anaerob.

Lindroft *et al.*, (2000) menambahkan bahwa pada musim panas CO₂ tanah lebih besar dari musim dingin. Didalam tanah, konsentrasi CO₂ dihasilkan dari respirasi autotrofik dan heterotrofik yang akhirnya CO₂ akan keluar lewat pori-pori tanah ke atmosfer. Cacing mempunyai kemampuan membuat liang-liang dalam tanah yang akan mempercepat jalannya CO₂ tanah menuju atmosfer. Namun demikian konsentrasi CO₂ tanah ini bergantung pada kandungan bahan organik tanah, ketersediaan oksigen dan iklim mikro sebagai faktor eksternal sedang faktor internalnya adalah biomasa akar dan populasi fauna tanah.

Konsentrasi CO₂ tanah mempunyai hubungan dengan kesuburan tanah, sedang faktor kesuburan tanah juga berkaitan dengan cacing tanah dan tanaman maka dapat dikatakan bahwa konsentrasi CO₂ tanah akan meningkat bilamana tanahnya subur. Faktor iklim juga mempengaruhi konsentrasi CO₂ tanah, pada waktu musim kemarau aktivitas respirasi tanah jauh lebih tinggi dibanding pada waktu musim penghujan sehingga CO₂ yang dikeluarkan juga relatif banyak. Bilamana aktivitas respirasi akar dan fauna tanah ada kendala maka otomatis konsentrasi CO₂ juga ikut terkendala.

Hasil penelitian Lessard *et al.*, (1994) yang diacu oleh Irawan, 2009 menyatakan tanah yang mengandung banyak bahan organik akan menghasilkan

konsentrasi CO₂ yang lebih besar. Jumlah CO₂ yang dikeluarkan dari tanah hasil respirasi akar dan respirasi organisme tanah disebut CO₂ tanah. Lingkungan juga ikut mempengaruhi konsentrasi CO₂ tanah seperti suhu, kelembaban udara, curah hujan, bahan organik tanah, hara, ketersediaan oksigen dan jenis ekosistem. Konsentrasi CO₂ tanah akan meningkat bila proses difusi tanah ke atmosfer terhambat dan juga bila aktivitas organisme tanah mendapat gangguan. Konsentrasi CO₂ relatif rendah dalam suasana pagi hari dan malam hari. Kemudian perlakuan manusia dengan pemberian pupuk pada tanaman akan meningkatkan konsentrasi CO₂ tanah karena terhambatnya aktivitas akar dan mikroorganisme.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi konsentrasi CO₂ tanah yaitu meliputi faktor luar dan faktor dalam. Untuk faktor luar meliputi suhu tanah, bahan organik tanah, oksigen dan seresah; sedang faktor dalam terdiri atas biomasa akar dan jumlah mikroorganisme. Suhu mempunyai korelasi positif terhadap konsentrasi CO₂ tanah artinya semakin meningkat suhunya maka akan semakin meningkat pula konsentrasi CO₂ tanah.

Aktivitas cacing didalam tanah akan memberikan alur-alur udara yang dapat mempercepat jalan keluarnya CO₂ ke atmosfer. Penambahan bahan organik kedalam tanah akan meningkatkan aktivitas cacing tanah dan justru akan membantu mengurangi erosi tanah, mempertahankan kelembaban, mengendalikan pH tanah, mencegah kekerasan dan keretakan tanah serta meningkatkan kapasitas pertukaran ion (Subowo, 2002). Meningkatnya aktivitas biologi tanah akan meningkatkan kesuburan tanah baik secara fisik, kimia dan biologi. Jadi bilamana tidak ada aktivitas organisme tanah maka bahan organik tersebut tetap utuh dan tidak terurai serta akan mengganggu tanaman.

Dalam proses dekomposisi bahan organik oleh organisme heterotrof dalam tanah juga dilepaskan CO₂ sebagai hasil samping untuk mendapatkan energi. Cacing tanah berperan dalam pemecahan bahan organik secara fisik menjadi ukuran yang lebih halus dan dihasilkan sebagai kotoran (*kascing*).

CO₂ yang dikeluarkan oleh aktivitas fisiologi cacing tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, musim, kelembaban dan kedalaman tanah serta kepadatan

cacing. Peningkatan konsentrasi CO_2 berkorelasi positif dengan peningkatan suhu, semakin tinggi suhu udara maka semakin meningkat jumlah CO_2 .

Hutan merupakan gudang C tertinggi bila dibandingkan dengan lahan pertanian. Cadangan C dalam tanah ada dalam bentuk bahan organik tanah. Konversi hutan menjadi lahan pertanian melepaskan cadangan karbon ke atmosfer dalam jumlah yang cukup berarti, namun jumlah tersebut tidak memberikan dampak yang berarti terhadap jumlah CO_2 yang diserap oleh hutan dan daratan secara keseluruhan, dan ini akan terasa bila diikuti oleh degradasi tanah dan hilangnya vegetasi serta berkurangnya proses fotosintesis. Masalah utama alih guna hutan menjadi lahan pertanian adalah adanya perubahan jumlah cadangan karbon. Untuk menurunkan CO_2 dapat dilakukan dengan:

- a. Mempertahankan cadangan karbon yang sudah ada seperti mengelola hutan lindung.

- b. Meningkatkan cadangan karbon dengan menanam tanaman berkayu.

Hutan merupakan komponen yang penting untuk menjaga kestabilan ekosistem (Soemarwoto, 1991) karena hutan dapat berperan sebagai paru-paru yaitu menyerap CO_2 mengeluarkan O_2 dan sekaligus menimbun C dalam bentuk bahan organik (*Carbon pool*). Seresah hasil hutan yang jatuh ditanah akan diserap kembali oleh vegetasi untuk kegiatan metabolisme (siklus hara tertutup). Akibat alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian akan membuka siklus hara tertutup. Air hujan yang turun di hutan akan meresap kedalam lapisan bahan organik, seresah dan humus dan mengalami infiltrasi masuk kedalam top soil tanah.

Cacing tanah merupakan organisme tanah yang juga mempunyai kemampuan untuk menghasilkan CO_2 dari respirasinya, bersama-sama dengan CO_2 yang dihasilkan dari respirasi akar dan organisme lainnya maka CO_2 akan naik melalui pori-pori tanah menuju ke atmosfer. CO_2 yang dilepas ke atmosfer akan digunakan oleh tumbuhan untuk fotosintesis dan melalui respirasi CO_2 akan dilepaskan kembali ke atmosfer. Pada lahan yang memiliki banyak tegakan pohon cacing tanah akan menurunkan CO_2 sedang pada lahan yang terbuka tanpa adanya tegakan pohon cacing justru akan meningkatkan CO_2 . Pengeluaran gas CO_2 oleh cacing juga dipengaruhi oleh faktor-

faktor yang berpengaruh seperti naungan pohon, suhu udara, suhu tanah, kelembaban udara, kelembaban tanah dan intensitas cahaya.

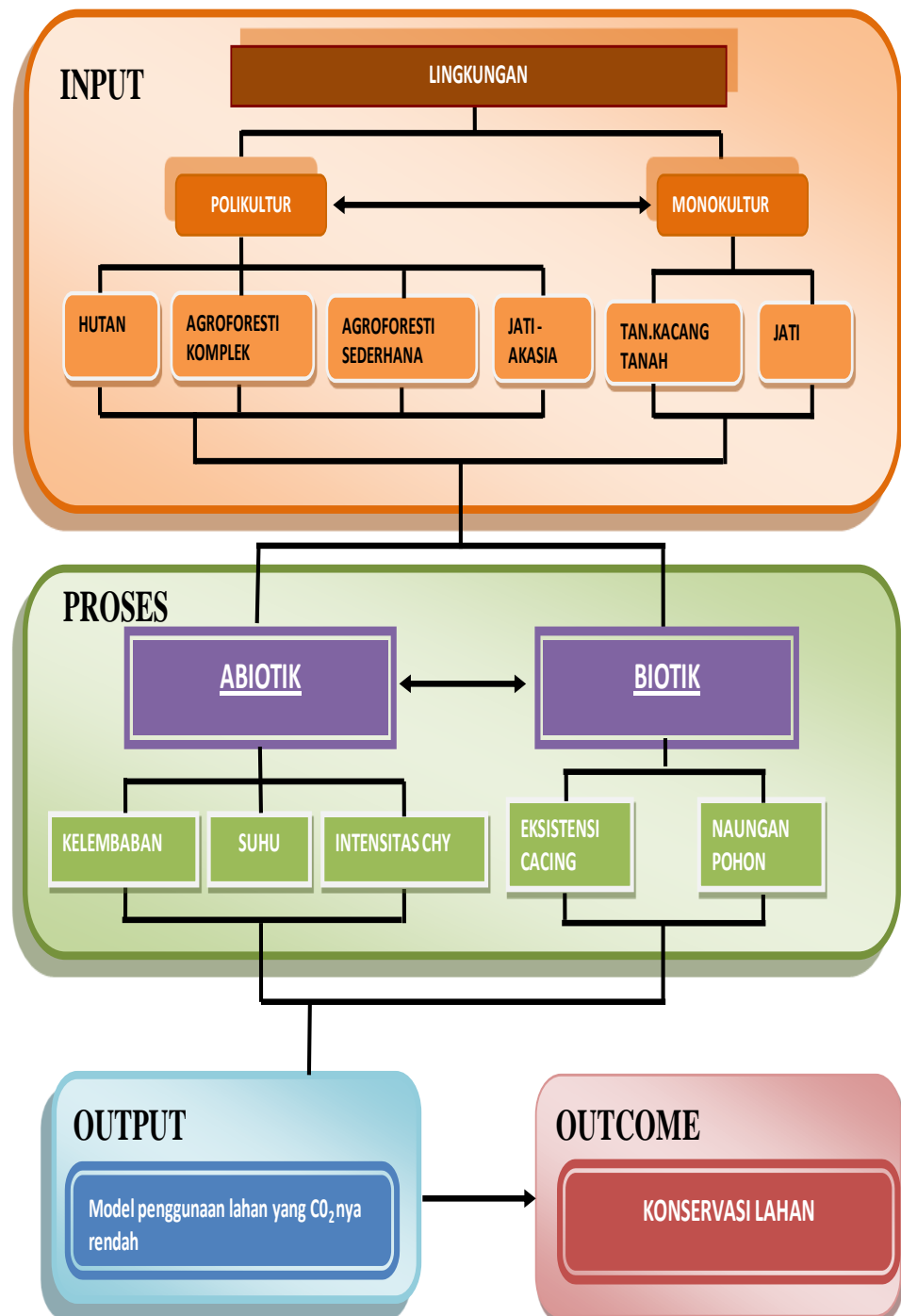
B. Kerangka Berpikir

Berbagai lingkungan penggunaan lahan mempunyai keragaman dalam vegetasi seperti polikultur yang dapat meliputi campuran pohon, campuran antara pohon dan tanaman semusim (Agroforestri), sedang monokultur dapat berupa pohon saja atau tanaman semusim saja.

Dengan konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian maka mengakibatkan perubahan kondisi lingkungan abiotik dan biotik. Dari aspek abiotik yaitu berupa perubahan iklim mikro berupa kelembaban, suhu dan intensitas cahaya, sedang biotiknya adalah eksistensi cacing tanah dan naungan pohon. Dari aspek biotik adanya perubahan tersebut mengakibatkan adanya perubahan eksistensi cacing tanah. Dampak dari perubahan tersebut juga terjadi perubahan konsentrasi CO₂ dalam tanah. Kondisi lahan yang mempunyai tegakan pohon dapat menciptakan iklim mikro yang optimal sehingga konsentrasi pelepasan CO₂ dalam tanah akan berkurang. Kondisi ini merupakan acuan untuk konservasi lahan, sedang lahan terbuka yang tidak memiliki tegakan pohon diduga terjadi peningkatan konsentrasi pelepasan CO₂ dalam tanah.

Faktor yang paling berpengaruh secara umum terhadap konsentrasi CO₂ pada suatu lahan adalah kelembaban tanah. Model yang paling baik yang dapat digunakan untuk konservasi lahan adalah lahan yang memiliki tegakan pohon seperti hutan yang dapat meningkatkan populasi cacing tanah namun dapat meminimasi konsentrasi CO₂.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat kerangka pikir penelitian pada gambar 1:



Gambar 1. Kerangka Berpikir

C. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap iklim mikro yang meliputi kelembaban tanah, kelembaban udara, suhu tanah, suhu udara dan intensitas cahaya. Penggunaan lahan yang paling besar pengaruh perubahannya terhadap iklim mikro adalah hutan dan tanaman semusim kacang tanah.
2. Penutupan lahan oleh naungan pohon disamping berpengaruh nyata terhadap iklim mikro juga berpengaruh nyata terhadap tebal seresah dan eksistensi cacing tanah. Populasi cacing tanah berturut-turut dari tinggi ke rendah adalah hutan, agroforestri kompleks, tanaman kacang tanah, jati, jati-acasia dan agroforestri sederhana.
3. Terdapat hubungan nyata antara penggunaan lahan terhadap eksistensi cacing tanah. Konsentrasi pelepasan CO₂ dan eksistensi cacing tanah mempunyai hubungan negatif pada penggunaan lahan yang memiliki tegakan pohon sedangkan penggunaan lahan tanaman kacang tanah mempunyai hubungan positif. Peran cacing tanah pada lahan yang memiliki tegakan pohon cenderung menurunkan konsentrasi pelepasan CO₂ dalam tanah, sebaliknya penggunaan tanaman kacang tanah tanpa adanya tegakan pohon justru meningkatkan konsentrasi pelepasan CO₂ dalam tanah.
4. Model yang paling baik dari penggunaan lahan adalah model yang paling rendah konsentrasi pelepasan CO₂ dan mempunyai kepadatan cacing tanah yang tinggi. Pada sistem hutan, naungan pohon mempertahankan kelembaban tanah dan menciptakan iklim mikro yang dapat mendukung kehidupan cacing tanah.