

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik dan Potensi Ultisol.

Menurut *Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010)*, Ultisol merupakan tanah yang mempunyai tingkat perkembangan yang cukup lanjut, dicirikan oleh penampang tanah yang dalam, peningkatan fraksi lempung seiring dengan kedalaman tanah (horison argilik) atau adanya horison kandik, reaksi tanah masam (pH 3,10–5,00), dan kejenuhan basa rendah (< 35%). Pada klasifikasi menurut Soeprtohardjo dan Ismangun (1980), Ultisol diklasifikasikan sebagai Podsolik Merah Kuning. Pada umumnya Ultisol berwarna kuning kecoklatan hingga merah, warna tanah pada horison argilik sangat bervariasi dengan hue dari 10 YR–10R, nilai 3–6 dan kroma 4–8.

Ultisol mempunyai sebaran yang sangat luas, meliputi hampir 25% dari total daratan Indonesia dan mempunyai potensi yang besar untuk digunakan sebagai lahan pertanian (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Bahan induk Ultisol berkembang dari bahan induk tua (Tan, 2000). Sedangkan Darmawijaya (1997), menyebutkan bahwa Ultisol merupakan tanah masam yang telah mengalami pelindian hebat (*highly leached*) sehingga memiliki tingkat kesuburan yang rendah dengan warna kelabu cerah sampai kekuningan. Kendala umum yang dihadapi pada Ultisol adalah pH tanah rendah, unsur N dan P kurang tersedia, kekurangan unsur Ca, Mg, K, dan Mo, kandungan Mn dan Fe berlebih, serta kelarutan Al tinggi, merupakan faktor penghambat utama dalam pertumbuhan tanaman.

Ultisol dapat berkembang dari berbagai bahan induk, dari yang bersifat masam sampai basa, namun sebagian besar bahan induk merupakan batuan sedimen masam. Tekstur Ultisol bervariasi dan dipengaruhi oleh bahan induk tanah. Ultisol berbahan induk granit yang kaya akan mineral kuarsa umumnya memiliki tekstur yang kasar seperti lempung pasir, sedangkan Ultisol dari batu kapur, batuan andesit, dan tufa cenderung mempunyai tekstur yang halus seperti lempung dan lempung halus. Komposisi mineral pada bahan induk tanah mempengaruhi tekstur tanah. Bahan induk yang didominasi mineral tahan lapuk seperti kuarsa pada batuan granit dan batu pasir, cenderung mempunyai tekstur yang kasar. Bahan induk yang kaya akan mineral mudah lapuk seperti batuan andesit, napal, dan batu kapur cenderung menghasilkan tanah dengan tekstur yang halus (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Pada umumnya Ultisol berwarna kuning kecoklatan hingga merah, warna tanah secara umum dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bahan organik yang menyebabkan warna gelap atau hitam, kandungan mineral primer fraksi ringan seperti kuarsa dan plagioklas yang memberikan warna putih keabuan, serta oksida besi seperti gutit dan hematit yang memberikan warna kecoklatan hingga merah, semakin coklat warna tanah umumnya makin tinggi kandungan goethit, dan semakin merah warna tanah makin tinggi kandungan hematite (Eswaran dan Sys, 1970; Allen dan Hajek, 1989; Schwertmann dan Taylor, 1989).

Menurut Prasetyo dan Suriadikarta (2006), Ultisol yang mempunyai horison kandik, kesuburan alaminya hanya bergantung pada bahan organik di lapisan atas. Kandungan bahan organik dan fraksi lempung pada Ultisol

berpengaruh terhadap nilai kapasitas pertukaran kation tanah (KPK). Pemanfaatan Ultisol untuk pengembangan tanaman pangan lebih banyak menghadapi kendala dibandingkan dengan untuk tanaman perkebunan. Oleh karena itu, Ultisol banyak dimanfaatkan untuk tanaman perkebunan (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Ultisol merupakan tanah yang miskin kandungan hara terutama P dan kation-kation dapat ditukar seperti Ca, Mg, Na, dan K, kadar Al tinggi, kapasitas pertukaran kation rendah, berpotensi keracunan Al dan miskin kandungan bahan organik serta peka terhadap erosi (Adiningsih dan Mulyadi, 1993). Ultisol merupakan tanah yang mengalami pelindian hara yang tinggi, sehingga dapat melindungi kation-kation basa dan bahan organik.

Ultisol Lampung pada lokasi penelitian mempunyai hara yang relatif rendah yaitu kadar C-organik rendah ($< 1\%$), N rendah ($< 0,14\%$), C/N < 8 , KPK sangat rendah ($< 8 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) dan pH $\text{H}_2\text{O} < 4,5$ (Tabel 4.1.1). Upaya mengatasi permasalahan tersebut PT GGP Lampung dengan cara pengapuran, pemupukan dan pengolahan bahan organik untuk memperbaiki hara tanah. Hasil produksi PT GGP berupa *juice nenas* kaleng skala ekspor. Proses pengelolaan tanaman nenas sampai proses pengolahan *mill juice nenas* menghasilkan berbagai jenis limbah (Tabel 2.1.1). Potensi limbah organik segar dan limbah pengalengan nenas yang terdapat di perkebunan nenas secara kuantitas sangat mencukupi untuk meningkatkan kesuburan tanah.

Table 2.1.1. Potensi limbah organik segar dan pengalengan nenas PT. GGP Lampung

No.	Jenis Limbah	Potensi	Keterangan
1	Kotoran sapi segar	100 - 140 ton basah/hari	8–10 kg/ekor/hari (14–15 ribu ekor sapi)
	Keluar dari separator:		
	a. Limbah padat	40 ton basah/hari	Kadar air 70–75 %
		12 ton kering/hari	Kadar air 30– 40 %
	b. Limbah cair	120 m ³ /hari	5 m ³ /jam
2	Bonggol (<i>bromelin</i>)	40 ton basah/hari	Kadar air 60 %
		16 ton kering/hari	Kadar air 40 %
3	Tapioka	20 ton basah/hari	Kadar air 5–10 %
		18 ton kering/hari	Kadar air 3 %
4	Seresah tanaman (<i>chopper</i>) plant crops (PC)	200 ton basah/Ha	
5	<i>Mill juice</i>	4 ton /hari	

(Sumber: PT GGP. 2012).

2.2. Bahan organik

Menurut Maas (2011^a), bahan organik tanah merupakan suatu sumber daya alam yang terdiri atas semua komponen organik dalam tanah, yang sangat penting dalam menentukan tingkat kesuburan tanah. Komponen organik tersebut meliputi jasad hidup (mikro fauna dan flora), jasad mati berupa bahan segar yang siap untuk melapuk atau terdekomposisi dan bahan humik umumnya berasal dari *lignin* yang relative stabil terhadap perombakan oleh jasad renik tanah (Stevenson, 1982). Sumber bahan organik berasal sisa-sisa dari tanaman (pupuk hijau) dan kotoran hewan (pupuk kandang), sisa-sisa limbah rumah tangga, sampah kota, limbah industri, dan kompos. Para pengguna bahan organik (petani) sejak dahulu telah mengenal berbagai sumber bahan organik tersebut dan telah menerapkan

pada lahan olahannya. Adapun manfaat menggunakan bahan organik dalam pengolahan tanah adalah dapat memperbaiki, sifat kimia tanah, dan penyediaan hara bagi tanaman. Menurut Kononova (1966), proses dekomposisi bahan organik menyebabkan terjadinya perubahan terhadap komposisi sifat kimia tanah dari senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana. Hasil dekomposisi bahan organik tersebut meliputi karbohidrat (monosakarida, disakarida, trisakarida dan polisakarida), lignin, tannin, senyawa ester, lemak, minyak, lilin dan senyawa N (protein, asam amino, alkohol, alkaloid, dan purin), pigmen (klorofil, karoten dan antosianin) serta mineral (basa-basa, fosfat, sulfat dan silikat). Sedangkan Bot dan Benites (2005), melaporkan bahwa gula sederhana, selulosa dan hemiselulosa merupakan bahan yang mendominasi sebesar 5–25% dari bahan organik dalam tanah, tetapi bahan-bahan tersebut mudah terdekomposisi oleh aktivitas mikro-organisme.

Penggunaan bahan organik dapat mencegah kekahatan unsur mikro pada tanah marginal atau tanah yang telah diusahakan secara intensif dengan pemupukan yang kurang seimbang, meningkatkan kapasitas pertukaran kation (KPK) tanah dan dapat membentuk senyawa kompleks dengan ion logam yang meracuni tanaman seperti Al, Fe, dan Mn (Simanungkalit *et al.*, 2006).

Menurut Stevenson (1982), fungsi bahan organik dalam tanah merupakan sumber hara terutama unsur N, P, S bagi pertumbuhan tanaman melalui proses mineralisasi oleh mikroorganisme, sedangkan pengaruh bahan organik terhadap biologi tanah adalah meningkatkan aktivitas mikrobia tanah. Selain itu peranan bahan organik dalam fungsi fisika dan fisiko-sifat kimia tanah, yaitu

meningkatkan struktur tanah menjadi lebih baik, memperbaiki agregasi tanah, aerasi dan kemampuan memegang air (lengas tanah). Apabila tanah dengan kandungan humusnya semakin berkurang, maka lambat laun tanah akan menjadi keras, kompak dan bergumpal, sehingga menjadi kurang produktif (Stevenson, 1982).

Bahan organik tanah mudah mengalami pelapukan dan pelindian, sehingga kadar bahan organik tanah mengalami penurunan mencapai pada tingkat rawan. Sekitar 60 prosentase lahan di Jawa kandungan bahan organik kurang dari 1% (Handayanto, 1999; Atmojo, 2003). Sementara itu untuk menjadi sistem pertanian berkelanjutan (*sustainable*), jika kandungan bahan organik tanah lebih dari 2%. Menurut Maas (2011^a), kisaran kandungan bahan organik tanah antara 1–1,5%, yang berasal dari jerami akan segera habis terdekomposisi selama satu siklus pertanaman karena termasuk dalam kelompok bahan organik mudah terlapukan. Laju dekomposisi residu organik dalam tanah dan pemantapan C dalam humus dipengaruhi oleh faktor iklim dan lingkungan seperti suhu, kelembaban, pH tanah, ketersediaan N tanah, dan tekstur tanah. Kadar C organik dalam tanaman hampir 55–75% dibebaskan dalam bentuk CO₂, sebagian kecil C residu dalam bio-masa akan melapuk (Marten dan Haider, 1997). Permentan No. 70 tahun 2011, mensyaratkan kandungan C-organik minimal 15% pada pupuk organik padat, sehingga memerlukan pupuk organik yang relatif banyak untuk memenuhi kehilangan kadar bahan organik selama proses produksi pada lahan sawah (Anonim, 2011).

Humus terdiri dari bahan-bahan makromolekul organik yang ada dalam tanah berasal dari transformasi sisa-sisa tanaman dan hewan, tetapi tidak memiliki sifat kemiripan dengan bahan aslinya. Asam humat, asam Fulvat, dan bahan humin yang diklasifikasikan atas dasar kelarutan asam dan alkali, dianggap sebagai bahan humat, sedangkan polisakarida, polipeptida, lignin lapuk dan sebagainya dianggap sebagai komponen bukan humus (Hayes dan Himes, 1997). Bahan humat menempati 70–80% dari bahan organik pada hampir semua tanah mineral dan terbentuk dari hasil pelapukan sisa tanaman dan hewan dari aktivitas sintetik mikroorganisme. Sisanya 20–30% merupakan bahan yang mengandung protein, polisakarida, asam lemak, dan alkana (Schitzer, 1997).

Asam humat tersusun kelompok aromatik dengan asam amino, gula amino, peptida, senyawa alifatik struktur hipotetis untuk asam humat, yang tersusun atas fenolik bebas dan terikat OH kelompok, struktur kuinon, nitrogen dan oksigen sebagai unit jembatan dan kelompok dengan berbagai COOH ditempatkan pada cincin aromatik (Stevenson, 1982). Asam humat tidak larut pada $\text{pH} < 2$ tetapi larut pada kondisi pH alkali, asam fulvat larut air pada semua kondisi pH, sedangkan humin tidak larut pada semua kondisi pH (Stevenson, 1982). Upaya pengelolaan bahan organik tanah yang tepat perlu menjadi perhatian yang serius, agar tidak terjadi degradasi bahan organik tanah. Penambahan bahan organik kedalam tanah sangat berpengaruh terhadap pasokan nitrogen dalam tanah (Baglieri, 2006).

Penambahan bahan organik secara terus-menerus pada tanah merupakan cara pengelolaan yang murah dan mudah. Bahan organik tanah dalam berbagai

bentuknya sangat mempengaruhi sifat fisik, sifat kimia tanah. Bahan organik akan memberikan kontribusi untuk tanah yaitu kapasitas agregasi menyimpan air, menyediakan hara, energi dan komunitas mikroba tanah, dll. Pengolahan bahan organik kedalam tanah bertujuan untuk perbaikan kesuburan tanah dan meningkatkan prosentase organik tanah dengan memerlukan waktu dan proses yang panjang. Hal ini tidak mungkin bahwa penggabungan tunggal dari pupuk hijau akan terasa meningkatkan hitungan prosentase organik, namun penggunaan berulang amandemen organik dalam kombinasi dengan pengolahan tanah akan memperbaiki bahan organik tanah. Penambahan bahan organik segar yang mudah terdegradasi oleh populasi mikroba tanah akan mengarah pada peningkatan kandungan tanah agregat, siklus hara, dan meningkatkan keanekaragaman serta aktivitas mikroba (Gugino *et al.*, 2009).

Pemberian bahan organik pada lahan pertanian telah banyak dilakukan pada umumnya produksi tanaman masih kurang optimal, karena rendahnya unsur hara yang disediakan dalam waktu pendek, serta rendahnya tingkat sinkronisasi antara waktu pelepasan unsur hara dari bahan organik dengan kebutuhan tanaman akan unsur hara. Kualitas bahan organik sangat menentukan kecepatan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik (Atmojo, 2003).

2.3. Dekomposisi bahan organik

Menurut Stevenson (1982), dekomposisi merupakan proses perubahan atau peruraian bentuk menjadi lebih sederhana. Dekomposisi bahan organik meliputi tiga tahapan proses yaitu pertama merupakan fase perombakan bahan organik segar, dalam proses ini akan merubah ukuran bahan menjadi lebih kecil. Kedua merupakan fase perombakan lanjutan yg melibatkan kegiatan enzim mikroorganisme tanah, pada tahap awal dicirikan oleh kehilangan secara cepat bahan-bahan yang mudah terdekomposisi sebagai akibat pemanfaatan bahan organik sebagai sumber karbon dan energi oleh mikro-organisme tanah. Tahap tengah terbentuknya senyawa organik (*intermediate products*) dan biomasa baru sel organisme) dan tahap akhir dicirikan oleh terjadinya dekomposisi secara berangsur bagian jaringan tanaman/hewan yg lebih resisten (misalnya: *lignin*). Ketiga fase perombakan dan sintesis ulang senyawa-senyawa organik (humifikasi) yg akan membentuk humus.

Bahan organik yang masih segar decirikan dengan kadar C/N tinggi belum bisa diberikan langsung dalam pengolahan lahan sawah, jika dipaksakan maka berakibat negatif terhadap pertumbuhan tanaman. Pada bahan organik dengan C/N tinggi terdapat populasi mikrobial yang relatif banyak, yang akan memerlukan hara untuk tumbuh dan berkembang dalam tanah yang seharusnya digunakan oleh tanaman, sehingga mikrobial dan tanaman saling bersaing merebutkan hara yang ada. Akibatnya hara yang ada dalam tanah berubah menjadi tidak tersedia karena berubah menjadi senyawa organik mikrobial, kejadian ini disebut sebagai *immobilisasi* hara. Untuk menghindari imobilisasi hara, bahan

perlu dilakukan proses pengomposan terlebih dahulu. Proses pengomposan adalah suatu proses penguraian bahan organik dari bahan dengan nisbah C/N tinggi (mentah) menjadi bahan yang mempunyai nisbah C/N rendah yaitu kurang dari 15 (matang) dengan upaya mengaktifkan kegiatan mikrobial pendekomposer (Atmojo, 2003). Nisbah C/N >15 dianggap bahan organik belum terombak, C/N 10–12 ketersediaan hara dari bahan organik cukup baik sedangkan nisbah C/N lebih kecil lagi menunjukkan penyediaan hara lebih banyak lagi namun mudah terlindi (Maas, 2014). Dekomposisi bahan organik sempurna akan membebaskan unsur-unsur yang semula berada dalam ikatan molekul organik menjadi senyawa-senyawa anorganik yang bersifat mobil disebut dengan mineralisasi (Notohadiprawiro, 1998).

Upaya peningkatan kadar bahan organik tanah telah dilakukan dengan dibangunnya sentra pengomposan, pendirian pabrik pupuk organik, penyuluhan tentang pembuatan dan pemanfaatan kompos kepada petani (Maas, 2011^b). Kompos merupakan bahan organik dalam bentuk padat yang berguna sebagai bahan untuk memperbaiki struktur tanah, mendukung kehidupan organisme serta sumber hara bagi tanaman. Dengan demikian kompos merupakan bahan alami yang telah lapuk melalui proses penghancuran/penguraian oleh mikro-organisme (bakteri) dengan waktu dan cara tertentu.

Menurut Maas (2011^a), secara teoritik untuk meningkatkan 1% bahan organik tanah diperlukan tambahan pupuk organik kering mutlak sebanyak minimal 20 ton/ha, itupun apabila pupuk tersebut 100% berupa komponen organik. Dengan demikian pemberian pupuk organik tidak otomatis

meningkatkan kadar bahan organik tanah, mengingat komponen penyusun pupuk organik adalah material organik yang mudah lapuk atau terombak (pupuk kandang dan pupuk kompos non kayu).

2.4. Kesuburan Tanah

Menurut Foth and Ellis (1998), kesuburan tanah merupakan kemampuan tanah untuk dapat menyediakan unsur hara dalam jumlah yang cukup dan berimbang (*essensial*) untuk pertumbuhan dan hasil tanaman tanpa menimbulkan racun bagi tanaman. Sedangkan Thomas *et al.* (2010), kesuburan tanah ditentukan berdasarkan pada C-organik, lempung, kapasitas pertukaran kation (KPK) dan pH tanah. Tanah merupakan faktor utama dalam menentukan kesuburan tanah, sedangkan tanaman merupakan indikator utama dalam kesuburan tanah. Berat biomasa tanaman merupakan indikator untuk memperkirakan tingkat kesuburan tanah, pada tanah yang kesuburannya tinggi akan memperoleh berat tanaman yang tinggi (Michael and Mackay, 2011).

Menurut Bartholomew *et al.* (2003), tanaman nenas dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah namun yang ideal untuk pertumbuhan nenas adalah tanah yang tinggi kandungan bahan organik, drainase baik dan kandungan udara tanah yang tinggi untuk memberikan jumlah optimum air, nutrisi dan oksigen ke akar tanaman. Hara yang diperlukan untuk kecukupan tanaman nenas adalah P 20 mg/kg, Ca 0,5 cmol(+) kg⁻¹, K 0,38 cmol(+) kg⁻¹, Mg 0,4 cmol(+) kg⁻¹, Zn 3 mg/kg, Cu 2 mg/kg, kejenuhan Al < 30% dan pH H₂O 4,3 – 4,8.

Bahan organik tanah berperan penting dalam kesuburan tanah terhadap sifat fisik, sifat kimia tanah dan biologi tanah. Bahan organik akan memberikan kontribusi dalam perbaikan tanah yaitu kapasitas agregasi menyimpan air, menyediakan hara dan energi serta komunitas mikroba tanah. Manajemen bahan organik adalah pengelolaan kesuburan tanah, untuk kandungan jumlah C-organik dalam tanah memerlukan waktu yang tidak singkat. Hal ini tidak mungkin bahwa penggabungan tunggal dari pupuk hijau atau kompos akan meningkatkan hitungan prosentase C-organik. Namun penggunaan berulang amandemen organik dalam kombinasi dengan pengolahan akan memperbaiki bahan organik tanah.

Penambahan bahan organik segar yang mudah terdegradasi oleh populasi mikroba tanah akan mengarah pada peningkatan kandungan tanah agregat, siklus hara, dan meningkatkan jenis dan aktivitas mikroba. Penambahan bahan organik yang lebih stabil seperti kompos akan meningkatkan infiltrasi air dan retensi. (Gugino *et al.*, 2009).

Menurut Pattison and Lindsay (2006), bahan organik dalam tanah pertanian dapat mengandung kadar hara tinggi, namun banyak hal tidak tersedia bagi tanaman sampai mengalami transformasi oleh organisme tanah dalam proses yang dikenal sebagai mineralisasi yaitu mengkonversi bentuk-bentuk organik hara kedalam bentuk mineral yang dapat diambil oleh tanaman. Beberapa organisme memiliki kemampuan untuk menguraikan bahan organik sendiri. Sebaliknya ada rantai organisme yang menguraikan bahan organik, mulai dari organisme besar yang merusak jaringan bahan organik sehingga menjadi partikel-partikel koloid organik, untuk jamur dan bakteri yang bekerja pada senyawa tertentu untuk

melepaskan hara. Jamur mikorisa berperan penting dalam dekomposisi bahan organik, terutama senyawa yang sulit terdekomposisi seperti hemiselulosa dan lignin.

Menurut Brady and Weil (2002), penyerapan hara kedalam jaringan perakaran terdapat tiga mekanisme yaitu intersepsi akar, merupakan proses pergerakan unsur hara dengan bersingungan langsung antara hara dalam bentuk ion dengan permukaan perakaran. Ion akan terjerap kemudian terjadi pertukaran secara langsung (*contact exchange*). Aliran masa (*mass flow*), merupakan pergerakan unsur hara yang terbawa langsung dengan media cairan sehingga hara akan larut dalam konsentrasi media cairan. Difusi (*diffusion*) yaitu ion yang bergerak dari wilayah yang memiliki tekanan konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Mekanisme ini sangat penting bagi unsur yang berinteraksi dengan tanah dan akar tanaman untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

2.5. Spektrogram Infra Merah (FT-IR Spectra).

Fourier transform infrared (FT-IR) spektroskopi merupakan salah satu metode analisis untuk mengetahui keberadaan sifat gugus fungsional, reaktivitas dan susunan struktural oksigen pada kelompok gugus fungsional. Pengukuran hasil berdasarkan pada interaksi radiasi inframerah bergetar pada bilangan gelombang 4.000 sampai 400 cm^{-1} , yang menunjukkan karakteristik struktur pokok bahan organik, termasuk karbohidrat, lignin, selulosa, lemak dan atau lipida (Artz *et al.*, 2008; Brunetti *et al.*, 2007; Katharina, 2009; Senesi dan Brunetti 1996; Smidt *et al.*, 2011; Stevenson, 1982).

Spektrogram inframerah merupakan piranti yang luas digunakan untuk pencirian bahan humat, spektroskopi inframerah sangat berguna untuk menilai tahap dekomposisi bahan organik dalam bahan limbah khususnya untuk menganalisis perubahan bahan organik akibat aktivitas pertanian, pengelolaan lahan dan amandemen tanah (Haberhauer *et al.*, 2000; Katharina, 2009). Setiap tahap dekomposisi ditandai dengan produk metabolisme tertentu. Produk metabolik pada gilirannya dapat diidentifikasi oleh pita-pita penyerapan bahan dalam spektrum inframerah. Karakteristik pita ditentukan oleh energi yang diserap dari cahaya inframerah menyebabkan ikatan molekul kelompok fungsional bergetar (Smidt and Katharina, 2009). Gugus fungsional dan karakterisasi bahan humat pada spektrum interaksi cahaya inframerah disajikan table 2.5.1.

Table 2.5.1. Bilangan gelombang utama Spektrogram inframerah (FT-IR) pada bahan humat.

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Gugus fungsi	Karakteristik
3.400 – 3.300	Ikatan H dari OH Ikatan N–H (trace)	Sellulosa
2.940 – 2.900	Rangkaian C–H alifatik	Lemak, lipida, lilin
1.725 – 1.720	Rangkaian C=O dari COOH Rangkaian C=O dari ketonik	Asam karboksilat, ester aromatik
1.660 – 1.630	C=C dari amide C=O dari kuinon C=O dari ikatan H konjugasi keton	Lignin, atau gugus aromatik lainnya, karboksilat aromatik atau alifatik
1.620 – 1.600	C=C aromatik C=O dari ikatan H konjugasi keton	Lignin, atau gugus aromatik lainnya, karboksilat aromatik atau alifatik
1.590 – 1.517	Rangkaian simetris COO- Deformasi N–H + rangkaian C=N	Protein
1.400 -1.390	Deformasi OH dan rangkaian C–O dari OH fenolik Deformasi CH dari CH ₂ dan CH ₃ Rangkaian antisimetris COO-	Struktur asam humat

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Gugus fungsi	Karakteristik
1.280 – 1.200	Rangkaian C–O dan Deformasi OH dari COOH	Asam karboksilat, amida
1.170 - 950	Rangkaian C–O dari aril ether Rangkaian C–O dari polisakarida Si–O dari mineral	Polisakarida, mineral, karbohidrat, protein
875	Rangkaian C–O dari karbonat	Karboksilat
510	Si–O–Si dari kuarsa	Silika

Sumber: Katharina, 2009; Smidt *et al.*, 2005; Stevenson, 1982.

Menurut Stevenson (1982); Teresa *et al.* (2008), penilaian Spektrogram asam humat dan asam fulvat mempunyai serapan pada bilangan gelombang 3.300 cm⁻¹ disebabkan oleh kehadiran gugus hidroksil (OH), sedangkan gelombang 2.900 cm⁻¹ disebabkan oleh kehadiran gugus C–H alifatik, gelombang 1.720 cm⁻¹ disebabkan oleh kehadiran gugus C=O dari COOH dan C=O dari ketonik, gelombang 1.610 cm⁻¹ disebabkan oleh kehadiran gugus C=C aromatik dan H dari C=O konjugasi keton dan gelombang 1.250 cm⁻¹ disebabkan oleh kehadiran gugus C–O dan deformasi OH dari COOH. Penambahan sering terdapat pada serapan bilangan gelombang 1.500 cm⁻¹ disebabkan oleh kehadiran gugus C=C aromatik, gelombang 1.460 cm⁻¹ disebabkan oleh kehadiran gugus deformasi C–H dari CH₂ dan CH₃, gelombang 1.390 cm⁻¹ disebabkan oleh kehadiran gugus deformasi OH dan C–O dari OH fenolik.

2.6. Tanaman Nenas

Tanaman nenas merupakan tanaman yang tumbuh pada daerah tropik dan sub tropik. Tanaman nenas berupa semak memiliki nama ilmiah *Ananas comosus*, *L.* memiliki nama daerah nanas (Jawa), danas (Sunda) dan neneh (Sumatera). Dalam bahasa Inggris disebut *pineapple* dan orang-orang Spanyol menyebutnya pina. Nenas berasal dari Brazil, Hawaii, Afrika Selatan, Kenya, Pantai Gading, Mexico dan Puerte Rico. Di Asia tanaman nenas ditanam di Thailand, Filipina, Malaysia dan Indonesia. Tanaman nenas di Indonesia berada di daerah Riau, Sumatera utara, Sumatera Selatan, Jawa Timur, dan Jawa Barat (Anonim, 2000). Tanaman nenas tumbuh baik pada tanah yang berdrainase baik dan pH 4,5–5,6 (Anonim, 1976). Nenas yang tumbuh di tanah sangat asam dengan kadar aluminium (Al) yang tinggi sering meracuni bagi akar tanaman, ujung akar tanaman merupakan bagian yang paling sensitif terhadap keracunan unsur tersebut (Lin dan Chen, 2011). Tanaman nenas mulai dari tanam sampai panen jarang yang membutuhkan waktu kurang dari 12 bulan dan rata-rata memerlukan waktu 18-24 bulan (Bartholomew *et al.*, 2003).

Sistematika nenas sesuai dengan klasifikasi tanaman nenas adalah:

Kingdom: *Plantae* (tumbuh-tumbuhan)

Divisi : *Spermatophyta* (tumbuhan berbiji)

Kelas : *Angiospermae* (berbiji tertutup)

Ordo : *Farinosae (Bromeliales)*

Famili : *Bromeliaceae*

Genus : *Anenas*

Species : *Anenas comosus (L) Merr.*

Tanaman nenas termasuk dalam monokotil, tinggi dan lebar tanaman mencapai 1–2 m dan mempunyai susunan daun melingkar. Berdasarkan habitus tanaman, terutama bentuk daun dan buah dikenal 4 jenis golongan nenas, yaitu: Cayene (daun halus, tidak berduri, buah besar), Queen (daun pendek berduri tajam, buah lonjong mirip kerucut), Spanyol/Spanish (daun panjang kecil, berduri halus sampai kasar, buah bulat dengan mata datar) dan Abacaxi (daun panjang berduri kasar, buah silindris atau seperti piramida). Varietas cultivar nenas yang banyak ditanam di Indonesia adalah golongan Cayene dan Queen (Anonim, 2008).

Pola tanam merupakan pengaturan tata letak tanaman dengan waktu tertentu, selama satu periode tanam. Teknik penanaman di perkebunan nenas PT GGP Lampung menggunakan sistem baris tunggal dengan jarak tanam 25–27,5 cm x 55–60 cm dengan populasi 72.000 tanaman per hektar (Santoso *et al.*, 2008). Tanaman nenas berproduksi 16–24 bulan setelah tanam, hasil produksi yang baik adalah 80 ton per hektar. Produksi buah nenas dapat diperkirakan melalui bobot biomassa setelah tanaman mencapai fase periode pertumbuhan cepat atau tanaman

sebelum dilakukan *forching* (tanaman berumur 6 bulan setelah tanam). Menurut Sujana *et al.* (2008), istilah *forching* dipakai untuk aktivitas perangsangan dalam mempercepat pembungaan pada tanaman nenas. *Forching* dimaksudkan untuk menghasilkan pembungaan secara serempak yang bertujuan memperoleh jumlah buah tinggi dalam satuan luas. PT GGP mempunyai standar dalam *forching* yaitu tanaman setelah mencapai berat kurang lebih 1,2 kg per tanaman.

Penggunaan pupuk organik saja tidak dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan ketahanan pangan. Oleh karena itu sistem pengelolaan hara terpadu yang memadukan pemberian pupuk organik dan an-organik perlu dilakukan untuk meningkatkan produktivitas lahan dan kelestarian lingkungan. Sistem pertanian yang disebut sebagai LEISA (*low external input and sustainable agriculture*) menggunakan kombinasi pupuk organik dan anorganik yang berlandaskan konsep *good agricultural practices* perlu dilakukan agar degradasi lahan dapat dikurangi dalam rangka memelihara kelestarian lingkungan (Simanungkalit *et al.*, 2006).

Pupuk kandang sangat baik digunakan pada pemupukan dasar, karena pupuk tersebut dapat memperbaiki sifat kimia tanah, dan sifat biologi tanah. Selain itu pupuk kandang berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah, meningkatnya jasad renik tanah yang berguna dalam proses penguraian bahan organik tanah dan merangsang pertumbuhan tanaman. Pupuk kandang menghasilkan hormon enzim *cytokinin* dan *gliberalin* yang berfungsi dalam merangsang pertumbuhan tanaman sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik (Cahyono, 2012). Pemupukan anorganik di perkebunan PT GGP Lampung dilakukan 1 minggu setelah tanam sebagai pupuk dasar. Pemupukan susulan

berikutnya diulang tiap 3–4 bulan sekali sampai tanaman berbunga dan berbuah. Pupuk dasar yang diaplikasikan yaitu diamonium phosphate (DAP), Kiserit dan KCl dengan dosis 250–300–250 kg per ha (Cahyono *et al.*, 2008). Tanaman nenas dipanen setelah berumur 16–24 bulan. Pemanenan buah nenas dilakukan bertahap sampai tiga kali. Panen pertama sekitar 25%, kedua 50%, dan ketiga 25% dari jumlah yang ada (Purwito *et al.*, 2008).

Tanaman yang sudah dipanen 2 sampai 3 kali perlu dilakukan peremajaan tanaman, karena pertumbuhannya lambat dan produksi buahnya kurang optimal. Peremajaan dengan teknik membongkar seluruh tanaman setelah produksi buah akan menghasilkan limbah organik berupa seresah tanaman (*chopper*). Sedangkan buah nenas akan diproses untuk menghasilkan buah ekspor kaleng, proses pengalengan nenas menghasilkan limbah berupa *mill juice* dan *bromelin*. Menurut Catherine dan Vanitha (2012), selulosa yang berasal dari kulit nenas dan pulp mengandung konsentrasi selulosa yang tinggi yaitu selulosa dari kulit sebesar 1.900 ug/ml dan bubur (pulp) sebesar 1.040 ug/ml sebelum fermentasi. Hal ini menunjukkan kemampuan degradasi selulosa rendah. Bahan limbah nenas terutama selulosa dan pati, merupakan bahan untuk produksi fermentasi dan hasil limbah pengalengan nenas mengandung *bromelin* (Dev dan Ingle, 1982). Potensi limbah organik lain di perkebunan nenas PT GGP adalah kotoran sapi, pada tahun 2013 jumlah sapi sebanyak 17.000 ekor dan limbah tapioka sebanyak 20 ton per hari.

Produktivitas kebun nenas salah satunya ditentukan oleh bibit yang unggul dan kondisi sehat (tidak mudah terserang hama dan penyakit). Bibit merupakan

material tanam yang harus dikelola dengan baik sehingga diperoleh bibit yang sehat, segar dengan ukuran yang standar dan mempunyai keunggulan (buah selindris, kompak, perbandingan berat buah dengan tanaman besar, rasa sesuai dengan keinginan, dan resisten terhadap penyakit) sesuai dengan nilai ekonomisnya (Sugeng *et al.*, 2008). Bibit yang digunakan dalam penelitian adalah varietas GP 3, jenis *crown* dengan kelas bibit sedang (panjang >18 cm dan berat >200 g). *Crown* merupakan material tanam yang mempunyai keunggulan dibandingkan jenis *sucker* dan *nursery*, yaitu lebih murah dan mempunyai penampang yang besar untuk bersingungan dengan tanah (Sugeng *et al.*, 2008).

Pengolahan limbah organik segar dan pengalengan nenas kedalam tanah akan meningkatkan kandungan C pada berbagai kombinasi dan komposisi limbah organik segar dan limbah pengalengan nenas. Nisbah tanah dengan pemberian limbah organik segar dan pengalengan nenas pada penelitian di perkebunan nenas PT GGP ditunjukkan pada tabel 2.6.1.

Tabel 2.6.1. Nisbah tanah dan bahan organik segar pada petak pot penelitian di PT GGP Lampung.

Jenis	Ketebalan Tanah (cm)		
	0-15	0-30	0-45
Volume Tanah (kg)	408,38	816,75	1225,13
Limbah K1 (kg)	99,64	199,29	298,93
Limbah K2 (kg)	115,98	231,96	347,94
Nisbah Ketebalan tanah/Limbah segar			
K1	4,10	4,10	4,10
K2	3,52	3,52	3,52

Sumber: Data terolah (2013).

Keterangan: K1 = 200 ton/ha Seresah Nenas (*chopper*) + 40 ton/ha Kotoran Sapi (padat) + 2 ton/ha *Mill Juice* Nenas + 2 ton/ha Kotoran Sapi Cair. K2 = 200 ton/ha Seresah Nenas (*chopper*) + 40 ton/ha Limbah Tapioka + 40 ton/ha Seresah Bonggol (*Bromelin*) + 2 ton/ha *Mill Juice* Nenas + 2 ton/ha Kotoran Sapi Cair.

2.7. Landasan teori

Produktivitas tanah akan mengalami gangguan atau ketidakstabilan saat hara tanah mengalami ketidakseimbangan. Kekahatan unsur hara dalam tanah dikarenakan kehilangan hara tanah lebih banyak daripada pemasukan, sedangkan pemasukan hara lebih banyak dari pada kehilangan menyebabkan terjadinya kelebihan hara tanah yang berakibat tanaman keracunan. Kelebihan hara pada lahan-lahan marjinal (Ultisol) biasanya jarang terjadi. Pemupukan merupakan usaha penambahan hara yang bertujuan untuk mempertahankan kesuburan tanah untuk memenuhi kesenjangan antara kebutuhan tanaman dan ketersediaan nutrisi dalam tanah. Penambahan hara dengan pemupukan yang berlebihan menyebabkan fungsi tanah terganggu, sehingga menimbulkan ketidakseimbangan lingkungan. Hukum keseimbangan unsur menunjukkan bahwa laju pertumbuhan tanaman ditentukan oleh faktor yang berada dalam jumlah minimum dan besar kecilnya laju pertumbuhan ditentukan oleh peningkatan dan penurunan faktor yang berada dalam jumlah minimum tersebut.

Penggunaan lahan dan pengelolaan tanah merupakan dampak yang besar pada interaksi komponen bahan organik ke dalam tanah, sehingga membuat lingkungan pada kompleks perakaran menjadi sehat. Manfaat menggunakan bahan organik dalam pengolahan tanah adalah dapat memperbaiki sifat kimia tanah. Bahan organik tanah mudah mengalami pelapukan dan pelindian, sehingga kadar bahan organik tanah dapat mengalami penurunan mencapai pada tingkat rawan. Menurut Maas (2011^a), secara teoritik untuk meningkatkan 1% bahan organik tanah diperlukan tambahan pupuk organik kering mutlak sebanyak minimal 20

ton/ha, itupun apabila pupuk tersebut 100% berupa komponen organik. Dengan demikian pemberian pupuk organik tidak otomatis meningkatkan kadar bahan organik tanah, mengingat komponen penyusun pupuk organik adalah material organik yang mudah melapuk atau merombak pupuk kandang, pupuk kompos non kayu. Ultisol Lampung pada lokasi penelitian mempunyai hara yang relatif rendah yaitu kadar C-organik rendah ($< 1\%$), N rendah ($< 0.14\%$), C/N < 8 , KPK sangat rendah ($< 7 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) dan pH H_2O agak masam (< 4.5). Dengan demikian diperlukan sumber hara untuk meningkatkan kesuburan tanah bagi pertumbuhan nenas.

PT GGP merupakan sebuah perusahaan terpadu yang bergerak dibidang perkebunan dan pengalengan nenas, terdapat berbagai limbah organik segar yang merupakan sumber hara tanah. Jenis limbah organik yang ada di PT GGP adalah kotoran sapi (*cattle manure*), limbah singkong (*cassava*), seresah bonggol (*bromelin*), seresah tanaman nenas (*chopper*), dan *mill juice* nenas. Pengelolaan limbah organik untuk penerapan di lahan (*land treatment*) merupakan salah satu alternatif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mengatasi masalah penumpukan limbah perkebunan nenas.

Proses dekomposisi limbah organik dalam pengelolaan limbah pertanian diperlukan untuk meningkatkan hara tanah. Adanya perbedaan sumber bahan organik dapat berpengaruh terhadap kecepatan dekomposisi dan ketersediaan hara tanah. Pemanfaatan limbah organik dengan mengkombinasikan berbagai jenis bahan limbah organik segar dan mencampurkan secara merata pada mineral tanah merupakan salah satu upaya untuk mencari solusi meningkatkan hara tanah.

Pencampuran bahan limbah pada tanah mineral akan mempercepat bahan terdegradasi oleh mikroba tanah.

Pengolahan limbah organik segar dengan teknik mencampurkan secara merata kedalam ketebalan tanah (0–15 cm, 0–30 cm dan 0–45 cm) pada periode waktu tertentu, bertujuan untuk mengetahui proses dekomposisi bahan limbah serta mengelola hara yang diperlukan sesuai dengan tahapan pertumbuhan tanaman nenas.

2.8. Hipotesis.

- 1) Komposisi bahan limbah organik dan penempatan bahan limbah pada berbagai ketebalan tanah berpengaruh terhadap kandungan C pada Ultisol di perkebunan nenas.
- 2) Teknik pencampuran bahan limbah organik segar dan limbah pengalengan nenas dengan bahan tanah secara merata pada ketebalan 0–30 cm, merupakan teknologi yang baik untuk meningkatkan kandungan karbon.

2.9. Keluaran Penelitian

- 1) Pengelolaan limbah organik mampu meningkatkan kandungan karbon tanah melalui perbaikan sifat kimia tanah.
- 2) Komposisi limbah organik dan dosis serta teknik penerapan limbah terbaik dapat memperbaiki kesuburan tanah yang tercermin pada pertumbuhan nenas.

2.10. Manfaat Penelitian

- 1) Penelitian mendukung kebijakan pemerintah provinsi dan kabupaten dalam menghasilkan produk hortikultura yang ramah lingkungan (UU-Hortikultura No. 13 tahun 2010)
- 2) Penelitian mendukung kebijakan pemerintah pusat dalam rangka meningkatkan ekspor hortikultura khususnya produksi buah nenas.
- 3) Menambah khasanah teknologi ilmu pengetahuan tentang pengelolaan tanah, khususnya mengenai kesuburan tanah untuk meningkatkan kandungan karbon pada Ultisol di perkebunan nenas Lampung.