

Karakteristik Fisik Tanah Kawasan Budidaya Sayuran Dataran Tinggi, Hubungannya dengan Strategi Pengelolaan Lahan

Soil Physical Characteristics of Highland Vegetable Farming Area, It's Relationship with Land Management Strategy

Umi Haryati

Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114; email: umiharyati@yahoo.com

Diterima 15 Juli 2014; Direview 25 Juli 2014; Disetujui dimuat 15 Agustus 2014

Abstrak. Lahan kering di kawasan lahan budidaya hortikultura sayuran di dataran tinggi semakin intensif dikelola oleh petani dan mempunyai peluang pengembangan yang strategis. Lahan di kawasan ini mempunyai karakteristik yang spesifik, sehingga perlu pengenalan sifat lahannya agar dapat mengelolanya secara baik dan benar. Kawasan budidaya hortikultura sayuran dataran tinggi umumnya terletak pada ketinggian di atas 700 m dpl dengan curah hujan rata-rata 2800 – 3300 mm tahun⁻¹, suhu udara rata-rata 16 - 22°C serta topografi lahan berombak sampai berbukit (9 - >45 %). Tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran dataran tinggi didominasi oleh ordo Andisol dengan kandungan C-organik yang tinggi, BD yang rendah, porositas tinggi, distribusi pori drainase cepat serta permeabilitas tanah tinggi. Terdapat beberapa kendala baik dari segi agroekosistemnya maupun kendala sifat fisik tanahnya yang berakibat terhadap implikasi teknis yang memerlukan strategi pengelolaan lahan spesifik yang dihadapkan pada kendala implementasi yang spesifik pula. Strategi pengelolaan lahan di lahan kering berlereng kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi diarahkan kepada sistem usahatani yang berwawasan konservasi tanah dan air (SUTK) yang dapat mengendalikan erosi sampai mendekati nilai besaran erosi yang diperbolehkan (*tolerable soil loss*- TSL), pengelolaan bahan organik *in situ*, usahatani efisien karbon (*carbon efficient farming*-CEF) dan usahatani nir limbah (*zero waste*).

Kata kunci: Fisik Tanah / SUTK / CEF / Nir Limbah

Abstract. Upland in vegetable horticulture farming area in highland is more and more intensively cultivated by farmer and has strategic development opportunity. Land in this area has specific characteristic, so it needs to be known its properties in order to be able to manage well and properly. Vegetable horticulture farming area in highland is generally located at the region of upper 700 m asl with average rainfall of 2800 – 3300 mm annually, average air temperature 16 - 22°C and rolling to hilly (9 - >45 %) terrain. Soil in vegetable horticulture farming area in highland is dominated by Andisols ordo with the high organic-C content, low bulk density (BD), high porosity, high rapid drainage pore distribution, and high soil permeability. Base on the agroecosystem point of view, there are many constraints as well as soil physics characteristic which due to technically implication and need specific land management strategy that to be faced on several implementation constraints too. Land management strategy in highland vegetable horticulture farming area is directed to conservation farming systems/CFS which can controll soil erosion reaching to below tolerable soil loss, *in situ* organic matter management, carbon efficient farming/CEF as well as zero waste farming systems/ZWFS.

Keywords: Soil Physics / CFS / CEF / Zero Waste

PENDAHULUAN

Kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi cukup potensial untuk dikembangkan baik ditinjau dari segi luasan dan sebarannya maupun karakteristik fisik dan kimia tanahnya. Lahan kering di dataran tinggi di Indonesia mempunyai luasan ± 29.543.070 ha yang tersebar di Pulau Sumatera, Jawa dan Bali, NTT, NTB, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, dan Irian Jaya (Undang Kurnia *et al.* 2000). Sebaran terluas terletak di Irian Jaya (7.168.000 ha) diikuti oleh

Kalimantan (6.758.800 ha), Sumatera (5.418.220 ha) dan Sulawesi (5.418.220 ha) dan akhirnya Jawa dan Bali (1.505.750 ha), NTT dan NTB masing-masing 1.295.000 ha dan 1.124.200 ha, serta Maluku (1.067.000 ha). Ditinjau dari segi kesuburan tanahnya yang menyangkut kesuburan fisik, kimia dan biologinya, tanah-tanah di kawasan hortikultura sayuran di dataran tinggi berada di kawasan gunung berapi dan tergolong subur (Undang Kurnia *et al.* 2000).

Hortikultura sayuran merupakan komoditas yang bernilai ekonomi tinggi dan sudah banyak dikembang-

kan oleh petani. Usahatani hortikultura sayuran yang dikembangkan oleh petani belum sepenuhnya memperhatikan aspek konservasi tanah, sehingga erosi yang terjadi di kawasan berlereng masih sangat tinggi. Hal ini akan mempercepat proses degradasi lahan yang akhirnya terjadi penurunan kualitas lahan yang menyebabkan produktivitas tanah dan tanaman menjadi terus menurun. Untuk itu diperlukan pengelolaan lahan yang tepat agar tidak terjadi kerusakan tanah sehingga tanah bisa digunakan secara lestari.

Ketepatan suatu rekomendasi pengelolaan lahan sangat ditentukan oleh karakteristik *inherent* lahannya. Teknologi konservasi tanah dan air bersifat spesifik lokasi. Tidak semua teknologi bisa diterapkan pada semua kondisi melainkan tergantung pada sifat tanah setempat. Agar teknologi yang diimplementasikan sesuai dengan kondisi tipe agroekosistemnya, maka sifat *inherent* tersebut harus diketahui terlebih dahulu.

Beberapa hasil penelitian di beberapa lokasi di kawasan ini telah banyak mengemukakan tentang sifat fisik dan kimia tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi (Manuelpillai *et al.* 1984; Sofijah Abujamin *et al.* 1989; Suganda *et al.* 1994; 1999; Wiralaga, 1997; Haryati *et al.* 2000; Haryati dan Undang Kurnia 2001; Suryani *et al.* 2003; Haryati *et al.* 2013; Haryati and Erfandi 2014). Hal ini perlu diinventarisir, dicermati dan dievaluasi (*di-review*) untuk sampai pada kesimpulan tentang karakteristik yang menyangkut sifat fisik dan kimia tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi.

Makalah ini bertujuan untuk mengemukakan tentang strategi teknis pengelolaan lahan kawasan budidaya sayuran di lahan kering berlereng, beriklim basah di dataran tinggi berdasarkan karakteristik agroekosistem, sifat fisik dan kimia tanah. Strategi ini juga didasarkan beberapa hasil penelitian yang tersebar di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi.

KARAKTERISTIK AGROEKOSISTEM

Ketinggian Tempat

Sentra produksi sayuran dataran tinggi umumnya terletak pada ketinggian di atas 700 m di atas permukaan laut (dpl). Sentra produksi ini diwakili oleh beberapa lokasi penelitian teknik konservasi di kawasan budidaya sayuran di lahan kering iklim basah di dataran tinggi yang pada umumnya tersebar pada

ketinggian 800 sampai 2000 m dpl (Tabel 1). Posisi lahan dan ketinggian tempat dari permukaan laut ini akan mempengaruhi kondisi iklim yang menyangkut curah hujan, suhu, kelembaban, dan lama penyinaran, namun yang jelas lahan berketinggian >700 m dari permukaan laut suhu maximum <20°C, semakin tinggi suhu udaranya semakin rendah. Hal ini akan sangat berpengaruh terhadap jenis komoditi dan budidaya yang bisa dilakukan serta inovasi teknologi yang dapat diimplementasikan.

Topografi dan Kemiringan Lahan

Topografi dan kemiringan lahan di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi umumnya berombak, bergelombang, berbukit sampai bergunung. Topografi dan kemiringan beberapa lokasi penelitian teknik konservasi di kawasan budidaya sayuran di lahan kering iklim basah di dataran tinggi mempunyai kemiringan yang berkisar dari 9 - >45 % dengan kategori topografi bergelombang sampai bergunung (Tabel 1). Karakteristik ini sangat erat kaitannya dengan jenis teknologi konservasi tanah dan air yang harus dan akan diimplementasikan maupun kesesuaian jenis budidaya yang akan diterapkan di daerah ini.

Jenis Tanah

Daerah-daerah sayuran dataran tinggi secara umum berada dalam wilayah yang dipengaruhi oleh aktivitas gunung berapi, baik yang masih aktif maupun tidak. Jenis-jenis tanah utama yang umum dijumpai adalah Andisol dan Entisol, biasa dijumpai pada ketinggian di atas 1.000 m dpl, serta Inceptisol pada ketinggian 700 -1.000 m dpl (Undang Kurnia *et al.* 2004). Jenis tanah beberapa lokasi penelitian di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi didominasi oleh Ordo Andisol, dan ada beberapa lokasi dengan Ordo Inceptisol dan Entisol (Tabel 1).

Jenis tanah ini juga erat hubungannya dengan strategi teknik pengelolaan lahan. Tidak semua teknik konservasi dapat diterapkan pada semua jenis tanah. Pada tanah-tanah yang labil sebaiknya dihindari teknik konservasi mekanik dan lebih dianjurkan untuk memilih teknik konservasi vegetatif.

Iklim

Curah hujan di daerah sayuran dataran tinggi berkisar antara 2.500 dan 4.000 mm.th⁻¹, seperti di dataran tinggi Campaka, dan Pacet Kab. Cianjur- Jawa

Tabel 1. Lokasi, kemiringan, topografi, elevasi dan jenis tanah beberapa lokasi penelitian teknik konservasi di kawasan budidaya sayuran di lahan kering iklim basah di dataran tinggi

Table 1. Site, slope, topografi, elevation, and types of soil at the site of technical conservation research of upland horticulture farming on upland wet climate

No	Lokasi	Posisi koordinat		Kemiringan (%)	Topografi	Elevasi (m dpl)	Jenis tanah	Sumber
		S (LS)	E (BT)					
1	Segunung, Kec. Cipanas, Kab. Cianjur, Jawa Barat	6°30'	107°	9 - 22	Bergelombang - berbukit	1.100	<i>Hydric Dystrandeps</i>	Manuelpillai et al. 1984
2	Samarang, Kab. Garut, Jawa Barat	7°30'	108°	30 - 45	Bergunung	1.350	<i>Typic Tropopsament</i>	Sofijah Abujamin et al. 1989
3	Sindangkala, Desa Batulawang, Kec. Pacet, Kab. Cianjur, Jawa Barat	6°30'	107°	15 - 25	Berbukit	1.200	<i>Andisol</i>	Suganda et al. 1994
4	Pangalengan, Kab. Bandung, Jawa Barat	7°	108°	9 - 22	Bergelombang - berbukit	1.450	<i>Typic Melanudands</i>	Wiralaga, 1997
5	Batulawang, Kec. Pacet, Kab. Cianjur, Jawa Barat	6°30'	107°	9 - 22	Bergelombang - berbukit	1.100	<i>Ultic Hapludands</i>	Suganda et al. 1999
6	Cikareo, Kec. Sukaresmi, Kab. Cianjur, Jawa Barat	6°30'	107°	10 - 13	Bergelombang	800	<i>Andic Dystropepts</i>	Suganda et al. 1999
7	Desa Karangtengah, Kec. Batur, DT Dieng Kab. Banjarnegara, Jawa Tengah	7°20'	110°	20 - 30	Berbukit - bergunung	2.000	<i>Udands</i>	Haryati et al. 2000
8	Desa Pekasiran, Kec. Batur, DT Dieng. Kab. Banjarnegara, Jawa Tengah	7°20'	110°	5 - 15	Bergelombang - berbukit	2.000	<i>Udands</i>	Haryati dan Undang Kurnia, 2001
9	Rurukan, Tomohon, Sulawesi Utara	1°21,14'	124°53'	30 - 45	Bergunung	> 800	<i>Typic Hapludands</i>	Suryani et al. 2003
10	Remboken Tondano, Sulawesi Utara	-	-	25 - 40	Bergunung	> 800	<i>Alfic Hapludands</i>	Suryani et al. 2003
11	Banyuroto, Kec. Sawangan Kab. Magelang, Jawa Tengah	7°27,2' - 7°33,43'	110°16,07' - 110°26,22'	8 - 25	Datar - berbukit	1.000 - 1.800	<i>Typic Udivitrands</i>	Haryati et al. 2013
12	Ketep, Kec. Sawangan, Kab. Magelang, Jawa Tengah	7°27,2' - 7°33,43'	110°16,07' - 110°26,22'	25 - > 45	Berbukit - bergunung	800 - 1.200	<i>Andic Eutrodepts</i>	Haryati et al. 2013
13	Talun Berasap, Kec. Gunung Tujuh, Kab. Kerinci, Jambi	01°41'58,3 "	101°20'50,3 "	15 - 25	Berombak - Bergunung	1.500	<i>Andisol</i>	Haryati and Erfandi, 2014
14	Desa Pada Awas, Kec. Pasirwangi, Kab. Garut, Jawa Barat	07°12,636'	107°45,569'	15 - 20	Berombak - Bergunung	1.556	<i>Udands</i>	Dariah et al., 2013
15	Desa Cisirupan, Kec. Cisirupan, Kab. Garut, Jawa Barat	07°18,692'	107°46,414'	22 - 29	Bergunung - Berbukit	1.592	<i>Hapludands</i>	Dariah et al., 2014

Keterangan : LS = lintang selatan, BT = bujur timur, dpl = diatas permukaan laut

Barat berturut-turut 2.898 dan 3.063 mm.th⁻¹. Di dataran tinggi Dieng, Kab Wonosobo – Jawa Tengah adalah 3,917 mm th⁻¹, sedangkan di Tawangmangu, Kab. Karang anyar – Jawa Tengah sekitar 3.329 mm.th⁻¹ (Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi 2003). Curah hujan yang tinggi dengan intensitas yang tinggi merupakan penyebab utama tingginya laju erosi, dan penurunan produktivitas tanah di daerah tersebut, terlebih lagi apabila budidaya dilakukan pada lahan dengan kemiringan yang curam tanpa memperhatikan kaidah-kaidah konservasi tanah dan air.

Suhu udara rata-rata di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi relatif sejuk sekitar 22°C

sampai dingin. Suhu udara rata-rata di sentra produksi sayuran dataran tinggi di Jawa Barat berkisar antara 18,1 dan 19,9°C (Gunadi, 1998).

SIFAT FISIK TANAH

Kepadatan Jarah (*Particle Density*)

Kepadatan Jarah (*Particle Density = PD*) atau biasa disebut juga dengan berat jenis partikel (*Ps*) , adalah perbandingan massa total fase padat tanah (*Ms*) dan volume fase padat (*Vs*). Massa bahan organik dan organik diperhitungkan sebagai massa padatan tanah

dalam penentuan berat jenis partikel tanah (Agus dan Marwanto 2006). Data PD penting apabila diperlukan ketelitian pendugaan ruang pori total. PD berhubungan langsung dengan BD, volume udara tanah, serta kecepatan sedimentasi partikel di dalam zat cair. Penentuan tekstur tanah dengan metoda sedimentasi, perhitungan-perhitungan metoda pemindahan partikel oleh angin dan air memerlukan data PD.

PD tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi berkisar dari 2,04 – 2,56 g.cm⁻³ (Tabel 2). Nilai ini lebih rendah dari rata-rata PD tanah mineral pada umumnya. Untuk tanah mineral, PD sering diasumsikan sekitar 2,66 g.cm⁻³ (Hillel 1982). Berat jenis partikel tanah ini sangat bervariasi tergantung kepada komposisi mineral tanah tersebut. Blake (1986) mengemukakan nilai PD beberapa jenis mineral dari yang terendah sampai yang tertinggi adalah humus, diikuti oleh gipsum, kuarsa, mineral liat, kalsit, mika dan hematit yang nilainya berkisar dari 1,3 sampai 5,3 (Tabel 3).

Tabel 2. Kecepatan Jarak (*Particle density* = PD) tanah di beberapa lokasi penelitian pada kawasan budidaya sayuran di lahan kering iklim basah di dataran tinggi

Table 2. *Soil Particle Density at wet climate of upland horticulture farming sites research*

No	Nomor lokasi	PD (g.cm ⁻³)	Kategori	Sumber
1	11	2,56	Sedang	Haryati <i>et al.</i> 2013
2	12	2,56	Sedang	Haryati <i>et al.</i> 2013
3	13	2,04	Rendah	Haryati and Erfandi, 2014
4	14	2,20	Sedang	Dariah <i>et al.</i> 2013
5	15	2,20	Sedang	Dariah <i>et al.</i> 2014

Keterangan: Lokasi menurut nomor seperti tercantum pada Tabel 1

Tabel 3. Berat jenis partikel/PD beberapa jenis mineral

Table 3. *Particle bulk density for any types mineral*

Mineral/zat	PD/ps (g.cm ⁻³)
Humus	1,3 – 1,5
Kuarsa	2,5 – 2,8
Kalsit	2,6 – 2,8
Gipsum	2,3 – 2,4
Mika	2,7 – 3,1
Hematit	4,9 – 5,3
Mineral liat	2,2 – 2,6

Sumber : Blake (1986)

Rendahnya nilai PD tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi karena tanah tersebut mengandung bahan organik yang tinggi (>3,00 %), berbatuan induk vulkan yang banyak mengandung bahan amorf sehingga tanah lebih porus dan ringan yang akhirnya perbandingan massa padat (Ms) terhadap volume padatnya (ps) menjadi lebih kecil, sehingga PD nya lebih kecil dibandingkan tanah mineral pada umumnya.

Berat Isi (*Bulk Density*)

Berat isi (*bulk density* =BD) atau sering juga disebut dengan berat volume tanah merupakan sifat fisika tanah yang sering ditetapkan. BD didefinisikan sebagai masa fase padat tanah (Ms), dibagi dengan volume total tanah (Vt). BD sangat berhubungan erat dengan kepadatan tanah, kemudahan akar menembus tanah, drainase dan aerasi tanah serta sifat fisik tanah lainnya. Nilai BD tanah, yang ditetapkan pada tegangan air pF 2,54, di kawasan budidaya sayuran di lahan kering iklim basah di dataran tinggi umumnya <0,90 g cm⁻³ (Tabel 4). Variasi BD yang terukur berkisar antara 0,55 – 0,93 g cm⁻³ dengan kriteria rendah. Nilai BD yang rendah ini mengindikasikan tanah bersifat porus, dan merupakan salah satu ciri tanah dari bahan vulkan yang banyak mengandung bahan amorf (Buol *et al.* 1973 dalam Hikmatullah *et al.* 1999). Kehadiran mineral amorf (alofan) menjadikan tanah lebih porus (Shoji *et al.* 1993), sehingga porositas tinggi sebagai akibat proses agregasi yang baik dengan kehadiran mineral amorf (Nanzyo 2002). Nilai BD tersebut memenuhi salah satu persyaratan sifat-sifat andik tanah, yaitu BD <0,90 g cm⁻³ (*Soil Survey Staf* 1996). Komposisi mineral tanah, seperti dominannya mineral dengan berat jenis partikel tinggi di dalam tanah, menyebabkan BD tanah menjadi tinggi pula (Grossman dan Reinsch 2002).

Seperti sifat tanah yang lainnya, BD mempunyai variabilitas spasial (ruang) dan temporal (waktu). Nilai BD, bervariasi antara satu titik dengan titik yang lain disebabkan oleh variasi kandungan bahan organik, tekstur tanah, kedalaman perakaran, struktur tanah, jenis fauna dan lain-lain. BD tanah mineral berkisar antara 0,6 – 1,4 g cm⁻³, tanah Andisol mempunyai BD yang rendah (0,6 – 0,9) g cm⁻³, sedangkan tanah mineral lainnya mempunyai BD antara 0,8 – 1,4 g cm⁻³ dan tanah gambut mempunyai kisaran BD yang lebih rendah (0,1 – 0,4 g cm⁻³ (Agus *et al.* 2006).

Tabel 4. BD tanah-tanah di beberapa lokasi penelitian pada kawasan budidaya sayuran di lahan kering iklim basah dataran tinggi

Table 4. Soil Bulk Density of upland horticulture farming research regions of wet climate

No	Lokasi	BD(g.cm ⁻³)	Kategori	Sumber
1	1	0,85	rendah	Manuelpillai <i>et al.</i> 1984
2	3	0,75	rendah	Suganda <i>et al.</i> 1994
3	4	0,70	rendah	Wiralaga, 1997
4	5	0,80	rendah	Suganda <i>et al.</i> 1999
5	6	0,83	rendah	Suganda <i>et al.</i> 1999
6	7	0,55	Rendah	Haryati <i>et al.</i> 2000
7	8	0,72	rendah	Haryati dan Undang Kurnia, 2001
8	11	0,93	rendah	Haryati <i>et al.</i> 2013
9	12	0,83	rendah	Haryati <i>et al.</i> 2013
10	13	0,64	rendah	Haryati and Erfandi, 2014
11	14	0,70	rendah	Dariah <i>et al.</i> 2013
12	15	0,80	rendah	Dariah <i>et al.</i> 2014

Keterangan: Lokasi menurut nomor seperti tercantum pada Tabel 1

Rendahnya BD tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi ini, selain disebabkan oleh adanya bahan induk vulkan yang banyak mengandung bahan mineral amorf juga karena kandungan bahan organik yang relatif tinggi (rata-rata >3,0%). Tingginya bahan organik ini juga menyebabkan tanah menjadi lebih porus, sehingga BD menjadi lebih rendah. Tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi mempunyai BD yang relatif rendah (Agus *et al.* 2006).

BD tanah sangat erat kaitannya dengan kemudahan penetrasi akar ke dalam tanah, drainase dan aerasi tanah dengan sifat tanah yang lainnya seperti ruang pori total dan distribusi ruang pori. Tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran di lahan kering beriklim basah di dataran tinggi mempunyai BD yang rendah. Hal ini berarti tanah-tanah tersebut bersifat porus sehingga akar tanaman mudah penetrasi ke dalam tanah. Namun demikian ada hal yang harus diwaspadai dari porusnya tanah-tanah ini yaitu yang berkaitan dengan pergerakan air di dalam profil tanah. Tanah-tanah yang bersifat porus akan lebih cepat melalukan air sehingga air akan lebih cepat lolos ke lapisan tanah yang lebih dalam. Hal ini menimbulkan konsekuensi logis untuk implementasi teknologi agar air lebih lama berada di zona perakaran dan tidak cepat meninggalkan zona perakaran.

Nilai BD juga sangat dipengaruhi oleh pengelolaan tanah. Nilai BD terendah biasanya didapatkan di permukaan tanah sesudah pengolahan tanah. Bagian tanah di bawah lintasan traktor akan jauh lebih tinggi BDnya dibandingkan dengan bagian tanah lainnya (Agus *et al.* 2006).

Ruang Pori Total (RPT) dan Distribusi Ruang Pori

RPT adalah persentase volume ruang selain volume ruang yang ditempati oleh bahan padat tanah. Soepardi (1983) menyatakan porositas total tanah adalah persentase volume total pori tanah terhadap volume total tanah atau dengan kata lain porositas adalah bagian dari volume tanah (dalam persen) yang tidak ditempati oleh padatan tanah. Jumlah ruang pori ditentukan oleh cara tersusunnya jarak tanah. RPT dan distribusi ruang pori di dalam tanah sangat erat kaitannya dengan BD. Tanah dengan RPT yang tinggi cenderung mempunyai BD yang rendah. Tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi mempunyai RPT yang berkisar dari 39,9 – 79,1 % vol (Tabel 5) dengan kategori dari sedang sampai tinggi dengan rata-rata 65,3 % vol. Ini berarti lebih dari separuh volume tanah ditempati oleh air dan udara, yang proporsi antara air dan udara tergantung dari tekanan dan kadar air tanah. Persentase volume tanah yang ditempati bahan padat dan persentase yang ditempati ruang pori menentukan kemampuan tanah menyimpan air (Hanks dan Ashcroft 1986).

Tingginya ruang pori total tanah ini bisa bernilai positif atau negatif tergantung distribusi ruang porinya. Apabila ruang pori tersebut didominasi oleh pori drainase cepat, maka tanah akan lebih cepat meloloskan air, karena air yang dapat ditahan pada pori tersebut mudah lepas/lolos pada hisapan matrik tanah yang rendah. Sebaliknya apabila distribusi ruang pori tersebut didominasi oleh pori mikro, maka tanah tidak mudah meloloskan air. Pengetahuan tentang ukuran

Tabel 5. Ruang pori total (RPT) dan distribusi ruang pori tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi

Table 5. Total pore space and distribution of porues space for upland horticulture soils region

No	Nomor Lokasi	RPT (% vol)	Distribusi ruang pori (% vol)			Sumber
			PDC	PDL	AT	
1	3	71,7	30,8	3,3	10,8	Suganda <i>et al.</i> 1994
2	4	68,5	tad	tad	tad	Wiralaga, 1997
3	5	62,1	26,1	tad	10,1	Suganda <i>et al.</i> 1999
4	6	63,1	25,8	tad	10,2	Suganda <i>et al.</i> 1999
5	7	79,1	50,2	3,3	11,8	Haryati <i>et al.</i> 2000
6	8	72,9	27,7	4,7	22,2	Haryati dan Undang Kurnia 2001
7	11	63,6	25,7	7,8	22,2	Haryati <i>et al.</i> 2013
8	12	68,3	26,8	6,7	25,1	Haryati <i>et al.</i> , 2013
9	13	68,7	19,9	5,8	24,2	Haryati and Erfandi, 2014
10	14	36,9	10,4	10,4	10,4	Dariah <i>et al.</i> 2013
11	15	63,2	24,4	4,4	13,9	Dariah <i>et al.</i> 2014
Rata-rata		65,3	26,8 (40,3)	5,8 (10,1)	16,1 (25,0)	

Keterangan:

Lokasi menurut nomor seperti tercantum pada Tabel 1, RPT = ruang pori total. PDC = pori drainase cepat, PDL = pori drainase lambat, AT = air tersedia, angka dalam kurung adalah persentase terhadap RPT, tad = tak ada data

pori lebih bermanfaat dibandingkan dengan hanya pori total. Dengan mengetahui ukuran pori tanah dapat dilakukan pengelompokan pori-pori tanah dalam hubungannya dengan kemampuan tanah memegang air yang dapat tersedia bagi tanaman. Menurut De Boodt (1972) pori-pori yang berukuran <0,2 mikron adalah pori tidak berguna karena akar tanaman tidak dapat mengambil air dari dalam tanah dengan ukuran pori <0,2 mikron tersebut. Air dari dalam pori-pori tanah berukuran <0,2 mikron hanya dapat dikeluarkan dengan kekuatan atau tekanan hisap >15 atmosfer (pF 4,2). Hubungan antara ukuran pori pori tanah dan tekanan yang diperlukan untuk mengeluarkan air dari dalam pori tersebut, yang disetarakan dengan cm kolom air, serta nilai pF untuk masing-masing hisapan matriks potensial penting untuk diketahui (Tabel 6).

Tabel 6. Hubungan antara ukuran pori di dalam tanah dengan tekanan yang diperlukan untuk mengeluarkannya

Table 6. Relation of soil pore size and its pressure to remove

No	Ukuran/penampang pori (mikron)	Tekanan yang diperlukan untuk mengeluarkan		
		atm	cm kolom air	pF
1	296,0	0,01	10	1,00
2	28,8	0,10	100	2,00
3	8,6	0,33	344	2,54
4	5,8	0,50	516	2,73
5	2,8	1,00	1.033	3,01
6	1,4	2,00	2.066	3,33
7	0,2	15,00	15.495	4,20

Sumber: Sudirman *et al.* 2006

Tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi mempunyai distribusi ruang pori yang didominasi oleh pori drainase cepat yang berkisar dari 10,4 sampai 50,2 % vol dengan rata-rata 26,8 % vol (Tabel 5). Pori drainase cepat ini menempati 40 % dari RPT. Ini berarti tanah tersebut agak susah memegang air. Kemampuan tanah memegang air perlu diperhitungkan, karena pemberian air diatas kemampuan tanah memegang air, menyebabkan air akan dialirkan sebagai air aliran permukaan atau bergerak ke lapisan tanah yang lebih dalam melalui perkolasi.

Hal yang tidak kalah penting adalah distribusi pori air tersedia. Dimana pada pori inilah air dapat ditahan dan diekstrak oleh tanaman. Pori air tersedia berkisar dari 10,4 sampai 25,1 % vol dengan rata-rata 16,1 % vol atau 25 % dari RPT. Menurut Agus *et al.* (2005) tanah yang ideal untuk penyediaan air adalah yang selisih pori pada kondisi kapasitas lapang dan titik layu permanen (pori air tersedia) cukup besar (18 – 23%). Ini berarti distribusi ruang pori air tersedia pada tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi mendekati optimum bagi pertumbuhan tanaman karena mempunyai rata-rata distribusi ruang pori air tersedia 16%, sehingga kondisi ini mendekati ideal untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Daya hisap maksimum akar tanaman untuk mengambil air dari dalam tanah adalah 15 atm. Jika pada suatu saat dalam tanah terdapat dalam pori-pori berdiameter <0,2 mikron, maka tanaman akan layu dan akhirnya mati. Kandungan air pada tekanan 15 atm atau pF 4,2 disebut titik layu permanen (*permanent wilting point*).

Pori tanah yang ukuran diameternya >0.2 mikron disebut pori berguna, dan secara umum pori-pori terbagi atas 3 kelompok, terdiri atas (Sudirman *et al.* 2006):

- Pori pemegang air, yaitu pori yang berdiameter antara 0,2 – 8,6 mikron (pF 4,2 – 2,54).
- Pori drainase lambat, yaitu pori yang berdiameter antara 8,6 – 28,8 mikron (pF 2,54 – 2,0).
- Pori drainase cepat, yaitu pori yang berdiameter $>28,8$ mikron (pF 2,0).

Air yang berada dalam pori pemegang air disebut air tersedia bagi tanaman, berada antara titik layu (pF 4,2) dan kapasitas lapang (pF 2,54). Pada umumnya kapasitas lapang ditetapkan pada tekanan 0,33 atm atau pF 2,54, jika air tanah lebih dalam dari 1 m. Jika air tanah <1 m, maka kapasitas lapang ditetapkan pada tekanan 100 cm kolom air atau pF 2,0.

Jumlah air yang melebihi kapasitas lapang, yaitu pada pF 2,54 atau pF 2,0 (jika air tanah dalamnya <1 m), maka air akan turun ke lapisan tanah lebih dalam karena gaya gravitasi. Untuk pertumbuhan yang baik, tanaman memerlukan oksigen dan aerasi yang cukup, sehingga pori drainase lambat jangan terlalu lama diisi oleh air.

Tekstur Tanah

Tekstur adalah perbandingan relatif antara fraksi pasir, debu dan liat yaitu partikel tanah yang diameter efektifnya <2 mm. Di dalam analisis tekstur, fraksi bahan organik tidak diperhitungkan. Bahan organik

terlebih dahulu didestruksi dengan hidrogen peroksida (H_2O_2). Tekstur tanah dapat dinilai secara kuantitatif dan kualitatif. Cara kualitatif biasa digunakan oleh surveyor tanah dalam menetapkan kelas tekstur tanah di lapangan.

Tekstur tanah termasuk salah satu sifat tanah yang paling sering ditetapkan. Hal ini disebabkan karena tekstur tanah berhubungan erat dengan pergerakan air dan zat terlarut, udara, pergerakan panas, berat volume tanah, luas permukaan spesifik (*specific surface*), kemudahan tanah memadat (*compressibility*) dan lain-lain (Hillel 1982).

Tanah di beberapa lokasi penelitian di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi mempunyai tekstur yang cukup bervariasi yang berkisar dari liat sampai pasir berlempung (Tabel 7). Rata-rata tekstur tanah tersebut berkisar pada kelas lempung yaitu mulai dari lempung sampai dengan lempung berpasir. Hal ini berarti tanah-tanah di lokasi penelitian di kawasan budidaya sayuran tersebut rata-rata mempunyai komposisi yang relatif seimbang antara partikel pasir, debu dan liat. Komposisi tersebut merupakan komposisi yang ideal untuk kelas tekstur tanah, sehingga dapat memberikan kondisi yang optimum untuk menunjang pertumbuhan tanaman ditinjau dari sudut pandang sifat fisik tanah yang menyangkut tekstur tanah. Keseimbangan komposisi partikel pasir, debu dan liat tersebut menyebabkan tanah mempunyai konsistensi gembur pada saat lembab, sehingga akar tanaman lebih mudah penetrasi ke dalam tanah. Hal ini selanjutnya mempermudah akar untuk mengekstrak air

Tabel 7 Tekstur tanah beberapa lokasi penelitian di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi

Table 7. Soil texture at upland horticulture research regions

No	Nomor Lokasi	Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)	Tekstur	Sumber
1	1	44	37	19	Lempung	Manuelpillai <i>et al.</i> 1984
2	2	89	10	1	Pasir berlempung	Sofijah Abujamin <i>et al.</i> 1989
3	3	190	47,0	34,0	Lempung liat berdebu	Suganda <i>et al.</i> 1994
4	4	27	54	19	Lempung berdebu	Wiralaga, 1997
5	5	23,4	47,8	28,8	Lempung berliat	Suganda <i>et al.</i> 1999
6	6	5	25	70	Liat	Suganda <i>et al.</i> 1999
7	7	53,7	39,7	6,6	Lempung berpasir	Haryati <i>et al.</i> 2000
8	8	47,9	44,1	7,0	Lempung	Haryati dan Undang Kurnia 2001
9	11	9	85	6	Debu	Haryati <i>et al.</i> 2013
10	12	71	27	2	Lempung berpasir	Haryati <i>et al.</i> 2013
11	14	50	48	2	Lempung	Dariah <i>et al.</i> 2013
12	15	33	49	19	Lempung	Dariah <i>et al.</i> 2014
13	9	64	32	4	Lempung berpasir	Suryani <i>et al.</i> 2003
14	10	41	24	35	Lempung berliat	Suryani <i>et al.</i> 2003
15	13	47,11	44,33	8,57	Lempung	Haryati and Erfandi 2014

Keterangan: Lokasi menurut nomor seperti tercantum pada Tabel 1

dan unsur hara dari dalam tanah. Dengan demikian tanaman akan tumbuh dengan lebih baik.

Stabilitas Agregat

Stabilitas agregat atau kemantapan agregat tanah didefinisikan sebagai kemampuan tanah untuk bertahan terhadap gaya-gaya yang akan merusaknya. Gaya-gaya tersebut dapat berupa kikisan angin, pukulan hujan, daya urai air pengairan, dan beban pengolahan tanah. Agregat tanah terbentuk jika partikel-partikel tanah menyatu membentuk unit-unit yang lebih besar (Rachman dan Adimihardja 2006). Peneliti lain mendefinisikan agregat tanah sebagai kesatuan partikel tanah yang melekat satu dengan yang lainnya lebih kuat dibandingkan dengan partikel sekitarnya (Kemper dan Koch 1986). Dua proses awal dari pembentukan agregat tanah yaitu flokulasi dan fragmentasi. Flokulasi terjadi jika partikel tanah yang pada awalnya dalam keadaan terdispersi, kemudian bergabung membentuk agregat. Sedangkan fragmentasi terjadi jika tanah dalam keadaan masif, kemudian terpecah-pecah membentuk agregat yang lebih kecil (Martin *et al.* 1955).

Tanah yang teragregasi lebih baik biasanya dicirikan oleh tingkat infiltrasi, permeabilitas, dan ketersediaan air. Sifat lain adalah tanah tersebut mudah diolah, aerasi baik, menyediakan media respirasi akar dan aktivitas mikroba tanah yang baik (Russel 1971). Agregat tanah yang mantap akan mempertahankan sifat-sifat tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman, seperti porositas, dan ketersediaan air lebih lama dibandingkan dengan agregat tanah tidak mantap. Atas dasar itu, maka Kemper dan Koch (1986) mengembangkan temuan bahwa makin mantap suatu agregat tanah, makin rendah kepekaannya terhadap erosi (erodibilitas tanah).

Stabilitas agregat tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi berkisar dari sangat buruk sampai sangat baik dengan persentase agregat rata-rata dibawah 40 % dan indeks kestabilan agregat >80% (Tabel 8). Tidak banyak data tentang stabilitas agregat untuk tanah-tanah di kawasan ini. Kebanyakan tanah-tanah di kawasan ini sangat gembur sehingga persentase agregasinya tidak dapat ditetapkan. Ini berarti agregasi tanah tersebut kurang bagus. Stabilitas agregat ini sangat erat kaitannya dengan kapasitas tanah memegang air serta ketahanan penetrasi tanah. Semakin stabil tanah tersebut kemampuan tanah memegang airnya semakin baik. Sebaliknya semakin gembur, ketahanan penetrasi tanahnya semakin rendah, sehingga akar tanaman lebih mudah menembus tanah.

Tabel 8. Stabilitas agregat beberapa lokasi penelitian di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi

Table 8. *Agregrat stability for upland horticulture research regions*

No	Nomor lokasi	Stabilitas agregat			Sumber
		%	index	Kategori	
1.	7	<40	>80	sangat baik	Haryati <i>et al.</i> 2000
2.	8	32	143	sangat baik	Haryati dan Undang Kurnia 2001
3.	14	tdd	tdd	-	Dariah <i>et al.</i> 2013
4.	7	tdd	tdd	-	Dariah <i>et al.</i> 2014
5.	13	46,5	96,6	sangat baik	Haryati and Erfandi 2014

Keterangan: Lokasi menurut nomor seperti tercantum pada Tabel 1, tdd = tidak dapat ditetapkan

Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah melalukan air dalam keadaan jenuh. De Boodt (1972) menyatakan bahwa permeabilitas adalah laju atau kemampuan suatu bahan porus yang melewatkan air atau bahan cair lainnya pada keadaan standar. Permeabilitas tanah beberapa lokasi penelitian di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi berkisar dari 5,2 sampai 93,0 cm/jam dengan kategori sedang sampai sangat cepat yang didominasi pada kategori cepat (Tabel 9). Hal ini berarti bahwa tanah-tanah tersebut mempunyai distribusi ukuran pori yang didominasi oleh pori makro yang tidak dapat menahan air. Pori makro tersebut yaitu pori yang berukuran >28,8 mikron yang akan kehilangan air pada hisapan matrik pF 2,0. Pori tersebut adalah pori drainase cepat.

Permeabilitas tanah sangat erat hubungannya dengan distribusi ukuran pori pada tanah tersebut. Distribusi ukuran pori tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi didominasi oleh pori drainase cepat, yaitu menempati 40% dari RPT (Tabel 5). Dengan demikian dapat dimengerti apabila tanah-tanah di kawasan lahan budidaya sayuran ini mempunyai kategori permeabilitas dari cepat sampai sangat cepat. Hal ini akan berimplikasi pada jenis teknologi yang harus diaplikasikan, sedemikian sehingga sifat tanah dengan permeabilitas yang cepat ini dapat dieksploitir sesuai dengan kondisi yang diinginkan pada saat sistem usahatani tertentu sedang dilakukan.

Tabel 9. Permeabilitas tanah beberapa lokasi penelitian di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi

Table 9. Soil permeability for upland horticulture research regions

No	Nomor Lokasi	Permeabilitas (cm jam ⁻¹)	Kategori	Sumber
1	3	7,89	agak cepat	Suganda <i>et al.</i> 1994
2	4	19,6	cepat	Wiralaga 1997
3	5	17,43	cepat	Suganda <i>et al.</i> 1999
4	6	6,90	agak cepat	Suganda <i>et al.</i> 1999
5	7	33,5	sangat cepat	Haryati <i>et al.</i> 2000
6	8	22,5	cepat	Haryati dan Undang Kurnia 2001
7	9	17,91	cepat	Haryati <i>et al.</i> 2013
8	12	29,89	sangat cepat	Haryati <i>et al.</i> 2013
9	13	5,22	sedang	Haryati and Erfandi 2014
10	14	93,0	sangat cepat	Dariah <i>et al.</i> 2013
11	15	16,3	cepat	Dariah <i>et al.</i> 2014

Keterangan : Lokasi menurut nomor seperti tercantum pada Tabel 1

KANDUNGAN BAHAN ORGANIK TANAH

Bahan organik mempunyai fungsi yang sangat penting di dalam tanah. Oleh karena itu, bahan organik sering dikatakan merupakan kunci kesuburan tanah baik kesuburan sifat fisik tanah maupun kimia tanah. Fungsi bahan organik di dalam tanah adalah sebagai agen pengikat (*cementing agent*) partikel-partikel tanah dalam membentuk agregat. Selain itu dapat sebagai sumber unsur hara. Secara umum peranan bahan organik terhadap sifat fisik, kimia dan biologi tanah adalah sebagai berikut (Madjid 2007):

Peranan bahan organik terhadap perubahan sifat fisik tanah, meliputi: (1) stimulan terhadap granulasi tanah, (2) memperbaiki struktur tanah menjadi lebih remah, (3) menurunkan plastisitas dan kohesi tanah, (4) meningkatkan daya tanah menahan air sehingga drainase tidak berlebihan, kelembaban dan temperatur tanah menjadi stabil, (5) mempengaruhi warna tanah menjadi coklat sampai hitam, (6) menetralkan daya rusak butir-butir hujan, (7) menghambat erosi, dan (8) mengurangi pelindian (*pencucian/leaching*).

Peranan bahan organik terhadap perubahan sifat kimia tanah, meliputi: (1) meningkatkan hara tersedia dari proses mineralisasi bagian bahan organik yang mudah terurai, (2) menghasilkan humus tanah yang berperan secara koloidal dari senyawa sisa mineralisasi dan senyawa sulit terurai dalam proses humifikasi, (3) meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah 30 kali lebih besar ketimbang koloid anorganik, (4) menurunkan muatan positif tanah melalui proses pengkelatan terhadap mineral oksida dan kation Al dan Fe yang reaktif, sehingga menurunkan fiksasi P tanah, dan (5) meningkatkan ketersediaan dan efisiensi pemupukan serta melalui

peningkatan pelarutan P oleh asam-asam organik hasil dekomposisi bahan organik.

Peranan bahan organik terhadap perubahan sifat biologi tanah, meliputi: (1) meningkatkan keragaman organisme yang dapat hidup dalam tanah (makrobia dan mikrobia tanah), dan (2) meningkatkan populasi organisme tanah (makrobia dan mikrobia tanah).

Kandungan bahan organik tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran berkisar dari <1 % - 8,2 % dengan kategori sangat rendah sampai sangat tinggi (Tabel 10). Kandungan bahan organik ini dominan pada kategori tinggi dan sangat tinggi. Variasi kadar bahan organik di lapang sangat tergantung kepada beberapa faktor yang mempengaruhinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kandungan bahan organik di dalam tanah diantaranya adalah: jenis komoditas yang dikelola dalam sistem usahatani, sistem pola tanam, pengelolaan *by product/* biomassa dalam sistem usahatani, keberadaan mikroba atau agen hayati dalam tanah, suhu dan variabel iklim yang lain yang berpengaruh terhadap kecepatan dekomposisi materi organik yang berada di lingkungan lahan tersebut.

Selain hal tersebut diatas, faktor penting lain yang berpengaruh terhadap kandungan bahan organik di dalam tanah adalah faktor erosi dan aliran permukaan yang terjadi pada lahan yang bersangkutan. Kejadian erosi akan membawa hanyut sebagian unsur hara termasuk bahan organik. Proses ini akan membuat kandungan bahan organik dan unsur hara yang lain menjadi rendah. Beberapa peneliti (Suganda *et al.* 1994; Kurnia *et al.* 2000; Haryati *et al.* 2013) menunjukkan bahwa usahatani sayuran di lahan berlereng di dataran tinggi, tanpa tindakan konservasi tanah dan air yang tepat menyebabkan kehilangan sejumlah hara (termasuk C-organik), sehingga pemupukan menjadi

Tabel 10. Kandungan bahan organik tanah beberapa lokasi penelitian di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi
 Table 10. Soil organic content for upland horticulture research regions

No	Nomor Lokasi	Bahan Organik			Kategori (C, N, C/N)	Sumber
		C (%)	N (%)	C/N		
1	1	5,72	0,68	8,41	Sangat tinggi, tinggi, rendah	Manuelpillai <i>et al.</i> 1984
2	2	0,53	0,07	7,57	Sangat rendah, sangat rendah, rendah	Sofijah Abujamin <i>et al.</i> 1989
3	3	3,40	0,33	10,30	Tinggi, sedang, rendah	Suganda <i>et al.</i> 1994
4	4	8,20	0,5	16,40	Sangat tinggi, sedang, tinggi	Wiralaga 1997
5	5	4,20	0,40	10,50	Tinggi, sedang, sedang	Suganda <i>et al.</i> 1999
6	6	2,59	0,24	10,80	Sedang, sedang, sedang	Suganda <i>et al.</i> 1999
7	7	7,98	0,70	11,33	Sangat tinggi, tinggi, sedang	Haryati <i>et al.</i> 2000
8	8	5,59	0,56	10,00	Sangat tinggi, tinggi, rendah	Haryati dan Undang Kurnia 2001
9	11	2,00	0,17	12,00	Sedang, sedang, sedang	Haryati <i>et al.</i> 2013
10	12	1,39	0,11	13,00	Rendah, rendah, sedang	Haryati <i>et al.</i> 2013
11	13	5,12	0,69	7,54	Sangat tinggi, tinggi, rendah	Haryati and Erfandi 2014
12	14	3,63	-	-	Tinggi	Dariah <i>et al.</i> 2013
13	15	3,12	0,35	0,35	Tinggi, sedang, rendah	Dariah <i>et al.</i> 2014

Keterangan: Lokasi menurut nomor seperti tercantum pada Tabel 1

tidak efisien (sebagian hara hilang melalui pencucian, aliran permukaan dan erosi).

Kadar bahan organik tanah sangat berhubungan erat dengan sifat-sifat fisik tanah. Penurunan kadar bahan organik di dalam tanah dapat berakibat buruk bagi sifat-sifat fisik tanah tersebut, sehingga kadar bahan organik dapat dijadikan sebagai salah satu parameter penting dalam kaitannya dengan tingkat kesuburan tanah (Sombroek dan Nacktergaele 1993). Rendahnya bahan organik, berkorelasi dengan buruknya sifat fisik dan kimia tanah lainnya seperti berat isi (*bulk density* = BD), ruang pori total, pori aerasi dan K tersedia (Nurida 2006).

Bahan organik tanah erat kaitannya dengan kondisi ideal tanah baik secara fisik, kimia dan biologi dan selanjutnya menentukan produktivitas suatu tanah (Wander *et al.* 1994). Tanah memiliki produktivitas yang baik apabila kadar bahan organiknya berkisar antara 8 – 16% atau kadar karbon organiknya 4,56% sampai 9,12% (Lal 1994). Peneliti lain melaporkan bahwa standar kualitas tanah bagi kandungan C-organik untuk mempertahankan sifat fisika dan kimia tanah, serta produksi jagung dalam kondisi optimum berada pada kisaran 1,7 – 2,3% atau setara dengan kandungan bahan organik tanah sebesar 2,9 – 4,0% (Sutono dan Undang Kurnia 2012). Dengan demikian kandungan bahan organik dalam tanah perlu dioptimalkan sampai mencapai konsentrasi tertentu. Kandungan Karbon berbagai jenis tanah mineral perlu dipertahankan antara 2-5%, pada Andisol 5 – 10% dan Histosol (tanah gambut) antara 30 – 60%. Kuncinya adalah dengan menerapkan daur ulang bahan organik

dan berbagai metode konservasi, terutama konservasi vegetatif (Agus dan Rachman 2006).

Hasil penelitian yang lain menunjukkan bahwa pemberian bahan organik meningkatkan persentase partikel tanah yang berbentuk agregat (Suwardjo *et al.* 1989), meningkatkan persentase agregat mantap yang berukuran besar dan menurunkan persentase agregat yang berukuran yang lebih kecil, serta menurunkan berat isi atau BD (Oades 1990; Undang Kurnia 1996; Zhang *et al.* 1997), meningkatkan stabilitas agregat (Undang Kurnia 1996; Lu *et al.* 1998; Obi 1999) dan menurunkan ketahanan penetrasi tanah (Purnomo *et al.* 1992).

Kandungan bahan organik tanah erat kaitannya juga dengan kandungan unsur hara yang lain diantaranya kandungan N dan ratio C/N yang mempunyai andil terhadap kecepatan pelapukan materi organik di dalam tanah. Semakin tinggi nilai C/N, maka semakin sulit untuk dilapuk. Kecepatan pelapukan, menentukan status unsur hara/kesuburan tanah tersebut juga menentukan kecepatan pembentukan agregasi tanah.

IMPLIKASI TEKNIS DAN STRATEGI PENGELOLAAN LAHAN

Agar tanah berproduksi secara optimal dan dapat dipergunakan secara berkelanjutan, maka penggunaannya harus sesuai dengan kelas kemampuan lahannya. Untuk itu, sebelum suatu lahan akan dipergunakan untuk keperluan tertentu, lahan tersebut harus diketahui kelas kemampuan lahannya

berdasarkan klasifikasi kemampuan lahan. Klasifikasi kemampuan lahan (*Land capability classification*) adalah penilaian lahan (komponen-komponen lahan) secara sistematis dan pengelompokannya ke dalam beberapa kategori berdasarkan atas sifat-sifat yang merupakan potensi dan kendala dalam penggunaannya secara lestari (Arsyad 2010). Kriteria Klasifikasi Kemampuan Lahan seperti tercantum pada Tabel 11.

Dalam penentuan kelas kemampuan lahan, 5 hal pertama yang menjadi pertimbangan adalah: 1) kemiringan lahan (lereng permukaan), 2) kepekaan erosi, 3) tingkat erosi, 4) kedalaman tanah/solum dan 5) tekstur lapisan atas (Tabel 11). Kawasan lahan budidaya sayuran banyak tersebar di dataran tinggi dengan kemiringan yang curam. Hal ini berpengaruh terhadap implikasi teknis dan strategi pengelolaan lahannya. Dalam pengelolaan lahan hal pertama yang paling penting untuk dipertimbangkan adalah kemiringan lahan. Kedalaman solum adalah sifat fisik yang harus dipertimbangkan kemudian setelah kemiringan lahan. Hal berikutnya adalah kepekaan tanah terhadap erosi. Ketiga faktor tersebut

(kemiringan lahan, kedalaman solum dan kepekaan tanah terhadap erosi) sangat berpengaruh terhadap pilihan teknik konservasi tanah dan air yang harus diimplementasikan di suatu kawasan (Tabel 12).

Selain itu, kendala agroekosistem dan sifat fisik tanah akan berpengaruh terhadap implikasi teknis dan strategi pengelolaan lahan di kawasan budidaya sayuran dataran tinggi. Kendala agroekosistem dan sifat fisik tanah tertentu akan mempunyai implikasi secara teknis tertentu yang memerlukan strategi pengelolaan khusus dengan inovasi teknologi yang tepat yang masing-masing dihadapkan kepada masalah-masalah implementasi yang ditimbulkannya (Tabel 13).

KESIMPULAN

Kawasan budidaya hortikultura sayuran dataran tinggi umumnya terletak pada ketinggian diatas 700 m dpl dengan curah hujan rata-rata 2800 – 3300 mm.th⁻¹, suhu udara rata-rata 16 - 22°C serta topografi lahan berombak sampai berbukit (9 - >45 %).

Tabel 11. Kriteria klasifikasi kemampuan lahan

Table 11. *Criteria of land capability classification*

No	Faktor penghambat/ Penghambat	Kelas Kemampuan Lahan							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Lereng permukaan	A	B	C	D	A	E	F	G
2	Kepekaan erosi	KE ₁ , KE ₂	KE ₃	KE ₄ , KE ₅	KE ₆	(1)	(1)	(1)	(1)
3	Tingkat erosi	e ₀	e ₁	e ₂	e ₃	(2)	e ₄	e ₅	(1)
4	Kedalaman tanah	k ₀	k ₁	k ₂	k ₃	(1)	(1)	(1)	(1)
5	Tekstur lapisan atas	t ₁ , t ₂ , t ₃	t ₁ , t ₂ , t ₃	t ₁ , t ₂ , t ₃ , t ₄	t ₁ , t ₂ , t ₃ , t ₄	(1)	t ₁ , t ₂ , t ₃ , t ₄	t ₁ , t ₂ , t ₃ , t ₄	t ₅
6	Tekstur lapisan bawah	sda	sda	sda	sda	(1)	sda	sda	sda
7	Permeabilitas	P ₂ P ₃	P ₂ P ₃	P ₂ P ₃	P ₂ P ₃	P ₁	(1)	(1)	P ₅
8	Drainase	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	(2)	(2)	d ₀
9	Kerikil/batuan	b ₀	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	(1)	(1)	b ₄
10	Ancaman banjir	O ₀	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	(2)	(2)	(1)
11	Garam/salinitas	g ₀	g ₁	g ₂	g ₃	(2)	g ₃	(1)	(1)

Sumber : Arsyad (2010)

Tabel 12. Alternatif teknik konservasi tanah dan air menurut kemiringan lahan, kedalaman solum (D), dan kepekaan tanah terhadap erosi (E)

Table 12. *Technical soil and water conservation alternatives based on slope, soil effective depth and soil erodibility*

Kemiringan (%)	D > 90 cm		D = 40 – 90 cm		D < 40 cm	
	E.Kurang	E.Tinggi	E.Kurang	E.Tinggi	E.Kurang	E.Tinggi
<15	B/G	B/G	B/G	B/G	G	G
15 - 30	B/G	B/G	B/G	G	G	G
30 – 45	B/G	G	G	G	G/I	I
> 45	G/I	I	I	I	I	I

Keterangan: B = teras bangku + rumput/legum penguat teras , G = Teras gulud + rumput/legum penguat teras, I=Teras individu + rumput/legum penutup tanah. Sumber : (Sukmana *et al.* 1990)

Tabel 13. Implikasi teknis dan strategi pengelolaan lahan berdasarkan kendala agroekosistem dan sifat fisik tanah di kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi

Table 13. Technical implication and strategy for land management based on agroecosystem constraints and soil physics characteristics of upland horticulture regions

Kendala Agroeko-sistem/ sifat fisik tanah	Implikasi teknis	Strategi pengelolaan lahan	Inovasi teknologi	kendala Implementasi
Iklim (curah hujan tinggi)	Erosi tinggi, pencemaran tinggi	Penutupan lahan sepanjang tahun, pengendalian pencemaran dg penanaman tanaman yang bisa mengikat B3	Teknik konservasi tanah dan air : mekanik dan atau vegetatif (SUTK)	Status pemilikan lahan, modal, kekurangan tenaga kerja
Kemiringan lahan (curam)	Erosi tinggi	Penurunan erosi sampai <TSL	Manipulasi faktor CP, memperpendek panjang lereng, OTK	Status pemilikan lahan, modal, kekurangan tenaga kerja
Kedalaman solum (dangkal)	Hambatan perakaran	Pemilihan komoditas dalam sistem usahatani	Jenis varietas berakar dangkal, tahan kekeringan	Petani tidak suka jenis tanamannya, tidak ekonomis
Erodibilitas tinggi	Erosi tinggi	Pengelolaan bahan organik <i>in situ</i> , CEF (<i>karbon efisien farming</i>)	Peningkatan (kandungan BO, struktur tanah), penurunan permeabilitas tanah	Sumber bahan organik kurang tersedia di lapang
BD rendah	Porositas tinggi	Pengembalian sisa hasil panen, <i>zero waste</i>	Peningkatan agregasi tanah	Petani membakar sisa hasil panen, sisa hasil panen diangkut keluar
Porositas (PDC tinggi)	Tanah cepat meloloskan air	Pengelolaan bahan organik	Peningkatan WHC, agregasi tanah KTA-vegetatif	Sumber bahan organik kurang tersedia Petani tidak bersedia
Permeabilitas tinggi	Pencucian hara/ <i>leaching</i>	Pengelolaan bahan organik	Peningkatan WHC, agregasi tanah	Sumber bahan organik kurang tersedia

Keterangan :

B3 = bahan beracun berbahaya, SUTK = sistem usahatani konservasi, TSL = *tolerable soil loss*, CP = faktor tanaman dan teknik konservasi dalam persamaan prediksi erosi USLE, OTK = olah tanah konservasi, BD = bulk density, PDC = pori drainase cepat, WHC = *water holding capacity*, KTA = konservasi tanah dan air

Tanah-tanah di kawasan budidaya sayuran dataran tinggi didominasi oleh ordo Andisol dengan kandungan C-organik yang tinggi, BD yang rendah, porositas tinggi, distribusi pori drainase cepat tinggi serta permeabilitas tanah tinggi.

Terdapat beberapa kendala baik dari segi agroekosistemnya maupun kendala sifat fisik tanahnya yang berakibat terhadap implikasi teknis yang memerlukan strategi pengelolaan lahan spesifik yang dihadapkan pada kendala implementasi yang spesifik pula.

Strategi pengelolaan lahan di lahan kering kawasan budidaya sayuran di dataran tinggi adalah sistem usahatani yang berwawasan konservasi tanah dan air yang dapat mengendalikan erosi sampai dibawah ambang batas erosi -TSL, pengelolaan bahan organik *in situ*, usahatani efisien karbon (*carbon efisien farming*) dan usahatani nir limbah (*zero waste*).

DAFTAR PUSTAKA

Agus, F., E. Surmaini dan N. Sutrisno. 2005. Teknologi Hemat Air dan Irigasi Suplemen *dalam* Adimihardja dan Mappaona (Eds.). Teknologi Pengelolaan Lahan

Kering. Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Hlm : 223 – 245. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.

Agus, F., R.D. Yustika, dan Umi Haryati. 2006. Penetapan Berat Volume Tanah *dalam* Undang Kurnia *et al.* (Eds.). Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Hlm: 25 – 34. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.

Agus, F. dan Setari Marwanto. 2006. Penetapan Berat Jenis Partikel Tanah *dalam* Undang Kurnia *et al.* (Eds.). Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Hlm: 25 – 34. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.

Agus, F. dan A. Rachman. 2006. Kesimpulan Umum *dalam* Agus *et al.* (Eds.). Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim. Hlm: 263 – 268. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.

Arsyad, S. 2010. Konservasi Tanah dan Air. Edisi ke 2. IPB Press. Bogor. 472 p.

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. 2003. Atlas Sumberdaya Iklim Pertanian skala 1 ; 1.000.000. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Pusat Penelitian Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.

- Blake, G.R. 1986. Particle density. P 377 – 382. In Methods of Soil Analysis. Part 1. Second ed. Agron. Am. Soc. Of Agron., Madison, WI.
- Dariah, A., Neneng L.N. dan Umi Haryati. 2013. Penelitian Pengembangan Teknologi Pengelolaan Lahan Kering untuk Peningkatan Produktivitas Tanaman Pangan dan Hortikultura. Laporan Akhir. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. (unpublished).
- Dariah, A., Neneng, L. N., Umi Haryati, Sukristyonubowo, D. Setyorini, I G.M. Subikse dan Kasno. 2014. Penelitian Pengembangan Teknologi Pengelolaan Lahan Sawah dan Lahan Kering Mendukung Program Strategis Kementan. Laporan Akhir. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. (unpublished).
- De Boodt, M. 1971. Soil Structure. Handout. Rijksuniversiteit Gent. Belgia.
- Grossman, R.B. and T.G. Reinsch. 2002. The soil phase. P. 201-228. In J. H. Dane and G.C. Topp (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 4- Physical Methods. Soil Sci. Soc. Amer., Inc. Madison, Wisconsin.
- Gunadi, N. 1998. Pertumbuhan dan hasil kentang asal biji botani di beberapa tempat di musim kemarau. J. Hort.8 (1) : 969 – 982.
- Hanks, R.J. and G.L. Ashcroft. 1986. Applied Soil Physics. Springer – Verlag. Berlin.
- Haryati, U., N.L. Nurida, H. Suganda, dan U. Kurnia. 2000. Pengaruh arah Bedengan dan Tanaman Penguat Teras Terhadap Erosi dan Hasil Kubis (*Brassica oleracea*) di Dataran Tinggi Dieng. dalam Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Tanah, Iklim dan Pupuk. Lido- Bogor, 6-8 Desember 1999. Buku II. Hlm : 411-428. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Haryati, U. dan Undang Kurnia. 2001. Pengaruh Teknik Konservasi terhadap Erosi dan Hasil kentang (*Solanum tuberosum*) pada Lahan Budidaya Sayuran di Dataran Tinggi Dieng. dalam Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk. C-payung- Bogor, 31 Oktober – 2 November 2000. Buku I. Hlm 438 – 460. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Haryati, U., Tati Budiarti dan Afra D. Makalew. 2013. Konservasi Lanskap Pertanian Lahan Kering Berbasis Sayuran Mendukung Pengembangan Agrowisata di Dataran Tinggi Merbabu. Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Produktivitas Sayuran Dataran Tinggi. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Kementan. Hlm : 60 – 87.
- Haryati, U., D. Erfandi, dan Yoyo Soelaeman. 2013. Alternatif Teknik Konservasi Tanah Untuk Pengendalian Erosi dan Kehilangan Hara pada Pertanaman Kentang di Dataran Tinggi Kerinci. Prosiding Seminar Nasional Inovasi Pertanian Lahan Kering, Kupang 4 – 5 September 2012. Buku I. Hlm : 528 – 539. Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Haryati, U. and D. Erfandi. 2014. The Effectiveness of Erosion and Run-off Control On Several Soil conservation Techniques In Horticultural Area In Kerinci Highland Of Indonesia. Proceeding Of 11th International Conference The East and Southeast Asia Federation Of Soil Sciens Societies. Land For Sustaining Food and Energy Scurity, 21 – 24 October 2013. IPB International Convention Center-Bogor, Indonesia. Indonesian Society Of Soil Science. P: 196 – 201.
- Hillel, D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press, New York.
- Hikmatullah, Subagio H., Sukarman, dan B.H. Prasetyo. 1999. Karakteristik Andisol Berkembang dari Abu Vulkanik di Pulau Flores, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Jurnal Tanah dan Iklim (17) : 1-13. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Kemper, W.D, and E. J. Koch. 1986. Agregate stability and size distrution. P. 424 – 461. In A. Klute (Ed.) Methode of soil Analysis Part 1. 2nd ed. ASA. Madison. Wisconsin.
- Lal, R. 1994. Method and Guidelines for Assessing Sustainable Use fer Soil and Water Resources in The Tropics. SMSS Tech. Monograph no. 21. USDA. 78 p.
- Lu, G., K. Sakagami, H. Tanaka, and R. Hamada. 1998. Role of organic matter in stabilization of water stable aggregates in soil under different types of land use. Soil Sci. Plant Nutr. 44 (22): 147- 155.
- Martin, J.P., W.P. Martin, J.B. Page, W.A. Raney, and D.J. De Men. 1955. Soil Agregation. Adv. Agron. 7:1 – 38.
- Manuelpillai, R.G., M. Supartini, dan M. Sudjadi. 1984. Response of wheat to P application on a Hydric Dystrandeps high in residual P. Pembr. Penel. Tanah dan Pupuk 3 : 37 – 41.
- Madjid, A. 2007. Bahan Organik Tanah. Dasar-dasar Ilmu Tanah. <http://dasar2ilmutanah.blogspot.com/2007/11/bahan-organik-tanah.html>. (1 Desember 2014).
- Nanzyo, M. 2002. Unique Properties of Volcanic Ash Soils. <http://www.airies.or.jp/publication/ger/pdf/06-2-11.pdf>. 26 Juli 2007.
- Nurida, L.N. 2006. Peningkatan Kualitas Ultisol Jasinga Terdegradasi dengan Pengolahan tanah dan Pemberian Bahan Organik. Disertasi Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 145 hlm.
- Nurida, L.N. dan Jubaedah. 2006. Teknologi Peningkatan Cadangan Karbon Lahan Kering dan Potensinya pada Skala Nasional dalam Agus et al. (Eds). Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim. Hlm : 263 – 268. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Oades, J.M. 1990. Association of colloids in soil agregates. P 463 – 483. In De Boodt M. F., Hayes M. H. D., and

- Herbillon A (Eds.). Soil Colloids and Their Association in Agregates. Plenum Press, New York.
- Obi. 1999. The physical and chemical responses of a degraded sandy clay loam soil to cover crop in Southern Nigeria. *Plant Soil* 211: 165 – 172.
- Purnomo, J., M. Mulyadi, I. Amien, dan H. Suwardjo. 1992. Pengaruh bahan hijauan tanaman kacang-kacangan terhadap produktivitas tanah rusak. *Pemb. Tanah dan Pupuk* 10 : 61 – 65.
- Rachman, A. dan Abdurachman Adimihardja. 2006. Penetapan Kemantapan Agregat Tanah dalam Undang Kurnia *et al.* (Eds.). Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Hlm : 25 – 34. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Russel, E.W. 1971. Soil Conditions and Plant Growth. 10th Ed. Longmans, London. P. 479 – 513.
- Shoji, S., M. Nanzyo, R. Dahlgreen, 1993. Volcanic Ash Soil Genesis. Properties And Utilization. *Development In Soil Science* 21. Elsevier. Amsterdam.
- Sofijah Abujamin, S. Sukmana, N. Sutrisno, dan Enjang Suyitno. 1989. Rehabilitasi tanah Regosol di samarang – garut. Hlm 133 – 142 dalam *Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah. Bidang Konservasi Tanah dan Air. Bogor, 22 – 24 Agustus 1989. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.*
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. IPB Press. Bogor.
- Soil Survey Staf. 1996. Key to Soil Taxonomy. 7th dition. Natural Resources Conservation Service. USDA, Washington DC.
- Sombroek, W.G. and F.O. Nacktergaele. 1993. Identification and Management of Problem Soils in Tropics and Subtropics (with emphasis on the Asia Fasifics Region). In. Report of the expert Consultation of the Asian Network on Problem Soils, 25 – 29 Oct. 1993. Bangkok. Thailand. P. 61 – 68.
- Suwardjo, H., A. Abdurachman, and S. Abujamin. 1989. The use of crop residu mulch to minimize tilage frequency. *Pemb. Tanah dan Pupuk* 8: 30 – 37.
- Sudirman, S. Sutono, dan Ishak Juarsah. 2006. Penetapan Retensi Air Tanah di Laboratorium. dalam Undang Kurnia *et al.* (Eds.). Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Hlm: 167- 185. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Suganda, H., S. Abujamin, A. Dariah, dan S. Sukmana. 1994. Pengkajian Teknik Konservasi Tanah dalam Usahatani Tanaman Sayuran pada Andisols di Batulawang, Pacet. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk No 12, 1994. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian. Hlm 47 – 57.*
- Suganda, H., H. Kusnadi, dan Undang Kurnia. 1999. Pengaruh Arah Barisan Tanaman dan Bedengan dalam Pengendalian Erosi pada Budidaya Sayuran Dataran Tinggi. *Jurnal Tanah dan Iklim No 17, 1999. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian. Hlm 55 – 64.*
- Sukmana, S., M. Syam, dan A. Adimihardja. 1990. Petunjuk Teknis Usahatani Konservasi Daerah Aliran Sungai. Proyek Penelitian Penyelamatan Hutan Tanah dan Air (P3HTA). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. 84 p.
- Suryani, E., Hikmatullah, Sudirman dan D. Subardja. 2003. Evaluasi Lahan untuk Kentang (*Solanum tuberosum*) dan Wortel (*Daucus carota*), Kendala serta Erosi Akibat Penggunaannya di Daerah Sentra Sayur Rurukan, Tondano, Sulawesi Utara. *Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan. Cisarua- Bogor, 6 – 7 Agustus 2002. Buku I. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Hlm : 439 – 454.*
- Sutono, S. dan Undang Kurnia. 2012. Baku Mutu Tanah pada lahan Terdegradasi di Daerah Aliran Sungai Citanduy, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Tanah dan Iklim No 36, Desember 2012. Hlm : 70 – 93. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Kementrian Pertanian.*
- Undang Kurnia. 1996. Kajian metode rehabilitasi lahan untuk meningkatkan dan melestarikan produktivitas tanah. *Disertasi Fakultas Pasca Sarjana, IPB. Bogor.*
- Undang Kurnia, Yoyo Soelaeman, dan A. Muti K. 2000. Potensi dan Pengelolaan Lahan Kering Dataran Tinggi dalam Adimihardja *et al.* (Eds). Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Undang Kurnia, Husein Suganda, Deddy Erfandi dan Harry Kusnadi. 2004. Teknologi Konservasi Tanah pada Budi daya Sayuran Dataran Tinggi dalam Undang Kurnia *et al.* (Eds). Teknologi Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Wander, M.M., S.J. Traina, B.R. Stinner, and S.E. Peters. 1994. urganic and conventional management effects on biologically active soil organic maatter pools. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 58: 1130 – 1139.
- Wiralaga, A.Y.A. 1997. Pengaruh Teknik Konservasi Tanah pada Tanaman Sayuran terhadap Erosi, Kualitas Air, dan Produktivitas Lahan di Daerah Tangkapan Citere, Pangalengan. *Disertasi Program Pasca Sarjana. IPB. Bogor. 190 p.*
- Zhang H., K.H. Hartge, and H. Ringe. 1997. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 61 : 239 – 245.