

Karakteristik Tanah yang Terbentuk dari Batuan Skis dan Kesesuaian Lahannya untuk Tanaman Kakao: Studi Kasus di Sulawesi Tenggara

Characteristics of Soils Formed from Schist and their Land Suitability for Cocoa: A Case Study in Southeast Sulawesi

Edi Yatno^{*1}, Sudarsono², B. Mulyanto², Iskandar²

¹ Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114, Indonesia

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 7 Oktober 2015

Direview: 12 Oktober 2015

Disetujui: 20 Desember 2015

Kata kunci:

Karakteristik tanah

Skis

Kesesuaian lahan

Kakao

Keywords:

Soil characteristics

Schist

Land suitability

Cocoa

Abstrak. Karakteristik tanah yang terbentuk dari batuan skis dan kesesuaian lahannya untuk tanaman kakao di Kabupaten Kolaka dan Kolaka Timur belum banyak diketahui. Empat profil tanah yang terbentuk dari batuan skis telah dianalisis contoh tanahnya untuk mengetahui karakteristik tanah dan kesesuaian lahannya untuk kakao. Evaluasi kesesuaian lahan dilakukan dengan cara mencocokkan antara karakteristik lahan dengan persyaratan tumbuh tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi mineral fraksi pasir didominasi oleh kuarsa, sedangkan mineral liat tersusun dari kaolinit, illit, vermikulit, dan interstratifikasi illit-vermikulit. Tanah dicirikan oleh tekstur lempung sampai liat, bobot isi sedang hingga tinggi (0,95-1,41 g cm⁻³), air tersedia rendah hingga tinggi (7-19%), dan permeabilitas lambat sampai sedang (0,22-2,74 cm jam⁻¹). Reaksi tanah masam (pH 4,60-5,41). Kandungan C organik rendah hingga sangat rendah (0,21-1,71%). Kandungan P tersedia sangat rendah (<6 mg kg⁻¹), sedangkan kandungan P₂O₅ dan K₂O potensial sedang sampai tinggi (20-84 mg 100g⁻¹ dan 15-54 mg 100g⁻¹). Kandungan Ca dapat tukar rendah (0,18-4,25 cmol_c kg⁻¹). KTK tanah dan kejenuhan basa rendah sampai sedang (7,33-20,69 cmol_c kg⁻¹ dan 13-60%), sedangkan kejenuhan Al sedang sampai sangat tinggi (11-82%). Pada tingkat famili, tanah di Samaturu dengan topografi berbukit (profil SK 1 dan SK 2) diklasifikasikan sebagai Typic Hapludults, halus, campuran, isohipertermik, sedangkan tanah di Ladongi dengan topografi bergelombang (profil SK 3 dan SK 4) diklasifikasikan sebagai Typic Paleudults, halus, campuran, isohipertermik. Tanah sesuai marginal (kelas S3) untuk tanaman kakao dengan pembatas reaksi tanah masam dan lereng curam (profil SK 1 dan SK 2), reaksi tanah masam dan C organik sangat rendah (profil SK 3 dan SK 4). Pemberian bahan organik dan kapur pertanian diperlukan untuk meningkatkan produktivitas tanah ini bagi pengembangan tanaman kakao.

Abstract. Characteristics of soils developed from schist and their land suitability for cocoa in Kolaka and East Kolaka Regencies have not been known. Four soil profiles developed from schist were sampled and analyzed to determine their soil characteristics and land suitability for cocoa. Land suitability evaluation was conducted by matching method between land characteristics and crop requirements. Results indicated that sand mineral composition was dominated by quartz, while clay minerals were composed of kaolinite, illite, vermiculite, and illite-vermiculite interstratification. The soils were characterized by loam to clay textures, medium to high bulk density (0.95 to 1.41 g cm⁻³), low to high available water (7-19%), and slow to moderate (0.22-2.74 cm hour⁻¹) permeability. The soil reaction was acid (pH 4.60-5.41). The soil organic carbon content was low to very low (0.21-1.71%). The available P content was very low (<6 mg kg⁻¹), while potential P₂O₅ and K₂O contents were medium to high (20-84 mg 100g⁻¹ and 15-54 mg 100g⁻¹, respectively). The exchangeable Ca content was low (0.18-4.25 cmol_c kg⁻¹). The soil CEC and base saturation were low to medium (7.33-20.69 cmol_c kg⁻¹ and 13-60%, respectively), while Al saturation was medium to very high (11-82%). At a family level, soils in Samaturu with hilly topography (profiles SK 1 and SK 2) were classified as fine, mixed, isohyperthermic, Typic Hapludults, while soils in Ladongi with rolling topography (profiles SK 3 and SK 4) were classified as fine, mixed, isohyperthermic, Typic Paleudults. All soils were marginally suitable (class S3) for cocoa crop with limiting factors of acid soil reaction and steep slope (profiles SK 1 and SK 2), acid soil reaction and very low organic C (profiles SK 3 and SK 4). Addition of organic matters and agricultural lime is required to increase the soil productivity for cocoa development.

* Corresponding author: edi_yatno@yahoo.com

Pendahuluan

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas andalan perkebunan yang peranannya cukup penting bagi perekonomian nasional, khususnya sebagai penyedia lapangan kerja, sumber pendapatan dan devisa negara. Selain itu, kakao juga berperan dalam mendorong pengembangan wilayah dan agroindustri (Goenadi *et al.* 2005). Nilai ekspor kakao Indonesia pada tahun 2013 mencapai USD 1,15 miliar (BPS 2014).

Kabupaten Kolaka dan Kolaka Timur merupakan salah satu daerah sentra produksi kakao di Sulawesi Tenggara. Pada tahun 2013, produksi kakao di Kabupaten Kolaka dan Kolaka Timur mencapai 38.586 ton. Namun, produktivitas rata-rata lahan kakao di Kabupaten Kolaka dan Kolaka Timur masih tergolong rendah, yaitu sebesar 753 kg ha⁻¹ (Ditjenbun 2014). Hal ini disebabkan penanaman tanaman kakao belum memperhatikan aspek biofisik atau karakteristik tanah dan kesesuaian lahannya untuk tanaman kakao, sehingga tanaman tidak dapat berproduksi secara optimal.

Di wilayah Indonesia, selain iklim dan topografi, bahan induk tanah merupakan faktor pembentuk tanah yang paling dominan pengaruhnya terhadap sifat dan ciri tanah yang terbentuk serta potensinya untuk pertanian (Buol *et al.* 1980). Keragaman bahan induk tanah memberikan keanekaragaman sifat dan jenis tanah yang terbentuk. Secara alami, keragaman bahan induk tanah dan perkembangan tanah yang terus berlanjut akan berpengaruh terhadap kualitas lahan yang terbentuk, sehingga menentukan tingkat kesesuaian lahan dan produksi komoditas pertanian tertentu (Sys 1978).

Evaluasi lahan merupakan proses pendugaan potensi penggunaan lahan berdasarkan sifat-sifat lahannya (Rossiter 1996). Evaluasi kesesuaian lahan sangat diperlukan dalam perencanaan penggunaan lahan agar lahan dapat digunakan secara optimal, produktif dan berkelanjutan (Zhang *et al.* 2004). Potensi dan kendala penggunaan lahan dapat diidentifikasi sejak awal sehingga pengelolaan lahan dapat dilakukan lebih baik dan terarah sesuai dengan komoditas yang akan dikembangkan (FAO 1976).

Skis merupakan batuan metamorfik dengan struktur berlapis dan kaya mika, dengan jumlah kuarsa beragam dan jumlah mineral mudah lapuk sedikit. Tanah yang terbentuk dari batuan skis, cenderung memiliki cadangan K tinggi dengan mineral liat didominasi oleh ilit dan vermikulit (Hardjowigeno 2003; Rachim 2007). Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kolaka (Simandjuntak

et al. 1993) dan Peta Tanah Tingkat Tinjau Provinsi Sulawesi Tenggara (Hikmatullah *et al.* 2011), bahan induk batuan skis tersebar cukup luas di wilayah Kolaka dan Kolaka Timur pada *landform* dataran tektonik dengan relief datar hingga bergelombang dan perbukitan hingga pegunungan tektonik.

Penelitian karakteristik tanah terbentuk dari bahan induk batuan skis dan kesesuaian lahannya untuk tanaman kakao belum banyak dilakukan. Dai *et al.* (1980) melaporkan bahwa tanah terbentuk dari batuan skis di Sulawesi Tenggara dicirikan oleh bobot isi tanah sedang, air tersedia rendah, permeabilitas lambat, reaksi tanah masam, C organik dan KTK tanah rendah. Mineral liat didominasi oleh kaolinit, ilit, dan interstratifikasi ilit-vermikulit.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mineralogi, fisika, dan kimia tanah yang terbentuk dari batuan skis, dan untuk menentukan kesesuaian lahannya bagi pengembangan tanaman kakao di Kabupaten Kolaka dan Kolaka Timur, Provinsi Sulawesi Tenggara.

Bahan dan Metode

Deskripsi area

Lokasi penelitian terletak di sentra kebun kakao yang dikelola dengan input rendah (pemberian pupuk dan pengendalian hama penyakit tanaman kakao dilakukan dengan dosis rendah) di Kabupaten Kolaka dan Kolaka Timur, Provinsi Sulawesi Tenggara. Sebanyak 4 profil tanah perwakilan yang terbentuk dari bahan induk batuan skis mika (Simandjuntak *et al.* 1993) dipilih untuk penelitian ini. Profil SK 1 dan SK 2 terdapat pada *landform* perbukitan tektonik dengan relief berbukit (lereng 25%), sedangkan profil SK 3 dan SK 4 dijumpai pada *landform* dataran tektonik dengan relief bergelombang (lereng 10%) (Tabel 1).

Daerah penelitian memiliki curah hujan rata-rata tahunan sebesar 2.041 mm (Stasiun Pomalaa) dan 1.901 mm (Stasiun Ladongi). Curah hujan rata-rata bulanan tertinggi (281 dan 306 mm) terjadi pada bulan April dan Mei, sedangkan terendah terjadi pada bulan Agustus (65 dan 81 mm). Suhu udara rata-rata tahunan sebesar 27,9 °C, sedangkan kelembaban rata-rata tahunan sebesar 75,6%. Menurut Schmidt dan Ferguson (1951), daerah penelitian mempunyai tipe hujan B (lembab). Tingkat kebasahan ini dicerminkan oleh bulan basah (>100 mm bulan⁻¹) yang terjadi selama 10 bulan dan tanpa bulan kering (< 60 mm bulan⁻¹).

Tabel 1. Lokasi dan deskripsi profil tanah yang diteliti

Table 1. Location and description of the studied soil profiles

Profil	Lokasi	Koordinat		Elevasi	Landform	Relief	Lereng
				m dpl			%
SK 1	Awa, Samaturu, Kolaka	03°56'18,4" LS	121°22'57,7" BT	288	Perbukitan tektonik	Berbukit	25
SK 2	Awa, Samaturu, Kolaka	03°56'19,2" LS	121°22'58,5" BT	274	Perbukitan tektonik	Berbukit	25
SK 3	Atula, Ladongi, Kolaka Timur	04°08'55,1" LS	121°53'35,1" BT	70	Dataran tektonik	Bergelombang	10
SK 4	Atula, Ladongi, Kolaka Timur	04°08'55,3" LS	121°53'36,1" BT	93	Dataran tektonik	Bergelombang	10

Metode

Profil tanah perwakilan dideskripsi mengikuti petunjuk Deskripsi Profil Tanah (FAO 1990; Soil Survey Division Staff 1993). Tanah-tanah yang diteliti di klasifikasikan sampai tingkat famili menurut Kunci Taksonomi Tanah (Soil Survey Staff 2014).

Prosedur analisis contoh tanah mengikuti metode standar yang digunakan pada Soil Survey Laboratory Methods Manual (Burt dan Soil Survey Staff 2014) dan laboratorium Balai Penelitian Tanah (Eviati dan Sulaeman 2012). Analisis tanah terdiri dari analisis sifat fisika, kimia dan mineralogi tanah. Analisis tekstur ditetapkan dengan metode pipet. Bobot isi tanah diukur dengan metode gravimetrik pada contoh tanah utuh/ring. Retensi air pada tekanan 33 kPa (pF 2,54) dan 1.500 kPa (pF 4,2) ditetapkan dengan metode *pressure plate/membrane apparatus*, sedangkan permeabilitas tanah ditetapkan dengan metode tinggi air konstan. pH tanah diukur dengan gelas elektroda dalam larutan air dan KCl 1M dengan perbandingan tanah : larutan sebesar 1:5. Karbon organik ditetapkan dengan metode *wet combustion* (Walkley dan Black), sedangkan N total ditentukan dengan cara destilasi (metode Kjeldahl). P₂O₅ dan K₂O potensial diukur dengan metode ekstraksi HCl 25%, sedangkan P₂O₅ tersedia ditetapkan dengan metode ekstraksi Bray 1. Kation dapat dipertukarkan (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, dan Na⁺) diekstrak dengan 1M NH₄OAc pH 7,0 dan diukur dengan *atomic absorption spectrometry* (AAS), sedangkan kapasitas tukar kation ditetapkan melalui penjuhan dengan 1M NH₄OAc pH 7,0 dan diukur dengan cara detilasi langsung. Kemasaman dapat dipertukarkan (Al dan H) diekstrak dengan KCl 1M dan diukur dengan cara titrasi.

Komposisi mineral fraksi pasir total (50-500 µm) diidentifikasi menggunakan mikroskop polarisasi, selanjutnya jenis dan jumlah mineral ditetapkan berdasarkan metode perhitungan garis atau benang silang (*line counting method*) (Buurman 1990). Mineral fraksi liat (< 2µm) ditetapkan dengan menggunakan difraktometer sinar X (XRD) setelah perlakuan penjuhan kation dengan Mg²⁺, Mg²⁺ dan gliserol, dan K⁺

yang dipanaskan pada suhu 550 °C. Identifikasi mineral liat didasarkan pada jarak basalnya (*d spacing*) dari masing-masing puncak difraksi (van Reeuwijk 1993).

Evaluasi kesesuaian lahan pada prinsipnya dilakukan dengan cara "*matching*", yaitu dengan cara mencocokkan antara kualitas dan karakteristik lahan dengan persyaratan tumbuh tanaman. Karakteristik lahan adalah sifat lahan yang dapat diukur atau diestimasi, sedangkan kualitas lahan merupakan sifat-sifat pengenal dari sebidang lahan dan biasanya terdiri atas satu atau lebih karakteristik lahan. Kriteria persyaratan tumbuh tanaman yang digunakan berpedoman kepada Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian (BBSDLP 2011).

Hasil dan Pembahasan

Sifat morfologi tanah

Semua profil tanah yang diteliti bersolum tebal (100 cm) (Tabel 2). Tanah lapisan atas berwarna coklat (7,5YR 4/4) hingga coklat kuat (7,5YR 4/6). Lapisan bawah profil SK 1 dan SK 2 berwarna coklat kuat (7,5YR 4/6-5/8), sedangkan lapisan bawah profil SK 3 dan SK 4 berwarna merah kekuningan (5YR 4/6-5/6). Warna tanah horison A lebih gelap dibandingkan horison B. Hal ini disebabkan kandungan bahan organik di horison A lebih tinggi dibandingkan horison B.

Tekstur tanah lapisan atas lempung hingga lempung berliat, sedangkan lapisan bawah bertekstur lempung berliat hingga liat. Struktur tanah gumpal bersudut, sedangkan konsistensi umumnya teguh, lekat dan plastis. Adanya tekstur tanah yang halus dan konsistensi lekat menyebabkan tanah ini memiliki kemudahan pengolahan tanah pada tingkat sedang.

Sifat mineralogi tanah

Komposisi mineral pasir didominasi oleh kuarsa (57-93%), diikuti oleh muskovit (5-14%), sanidin (5-9%), epidot (3-4%), glaukofan (1-6%), limonit (3-5%) dan opak (1-5%) (Tabel 3).

Tabel 2. Sifat morfologi dari profil tanah yang di teliti

Table 2. Morphological properties of the studied soil profiles

Horison	Kedalaman	Warna matrik	Tekstur	Struktur	Konsistensi	Batas horison
cm						
Profil SK 1						
Ap	0-15	7,5YR 4/4	CL	sb	t; s, p	g, s
Bt1	15-55	7,5YR 5/6	CL	sb	t; s, p	d, s
Bt2	55-86	7,5YR 4/6	CL	sb	t; s, p	d, s
Bt3	86-130	7,5YR 5/6	CL	sb	t; s, p	c, s
BC	130-160	7,5YR 4/6-8/1	SiCL	sb	t; s, p	
Profil SK 2						
Ap	0-12	7,5YR 4/6	L	sb	t; s, p	g, s
Bt1	12-34	7,5YR 4/6	CL	sb	t; s, p	g, s
Bt2	34-82	7,5YR 5/6	CL	sb	t; s, p	d, s
Bt3	82-133	7,5YR 5/8	CL	sb	t; s, p	c, s
BC	133-160	7,5YR 4/6-8/1	SiCL	sb	t; s, p	
Profil SK 3						
Ap	0-13	7,5YR 4/6	L	sb	t; s, sp	g, s
Bt1	13-42	7,5YR 5/6	CL	sb	t; s, p	g, s
Bt2	42-94	7,5YR 5/6	C	sb	t; s, p	g, s
Bt3	94-123	5YR 4/6	C	sb	g-t; s, p	d, s
Bt4	123-160	5YR 5/6	C	sb	g-t; s, p	
Profil SK 4						
Ap	0-15	7,5YR 4/4	L	sb	t; ss, sp	g, s
Bt1	15-54	7,5YR 4/6	CL	sb	t; s, p	g, s
Bt2	54-83	5YR 4/6	C	sb	g-t; s, p	g, s
Bt3	83-122	5YR 5/6	C	sb	g-t; s, p	d, s
Bt4	122-160	5YR 4/6	C	sb	g-t; s, p	

Keterangan: Tekstur : L = lempung, CL = lempung berliat, SiCL = lempung liat berdebu, C = liat
 Struktur: sb = gumpal bersudut
 Konsistensi: g = gembur, t = teguh, ss = agak lekat, s = lekat, sp = agak plastis, p = plastis
 Batas horison: c = jelas, g = berangsur, d = baur, s = rata

Tabel 3. Komposisi mineral fraksi pasir dari profil tanah yang di teliti

Table 3. Mineral composition of sand fraction of the studied soil profiles

Kode profil	Horison	Kedalaman	Jenis mineral fraksi pasir total												
			Op	Ku	Ln	Lm	Fb	Sn	Mk	Bt	Hb	Gr	Ep	Gk	En
cm			%												
SK 1	Ap	0-15	1	75	4	2	sp	9	5	-	sp	-	3	1	sp
	Bt1	15-55	2	70	5	3	sp	7	8	-	sp	-	4	1	sp
	Bt2	55-86	2	67	4	4	1	6	10	-	sp	-	3	3	sp
	Bt3	86-130	3	63	4	3	1	5	12	-	1	sp	4	4	-
	BC	130-160	3	57	3	6	sp	5	14	-	2	sp	4	6	-
SK 4	Ap	0-15	3	91	4	sp	2	sp	-	-	-	-	-	-	-
	Bt1	15-54	5	92	3	sp	sp	-	-	sp	-	-	sp	sp	-
	Bt2	54-83	4	92	4	sp	sp	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bt3	83-122	3	93	3	sp	1	-	sp	sp	-	-	-	-	-
	Bt4	122-160	4	90	5	sp	1	-	sp	sp	-	-	-	-	-

Keterangan: Op = opak, Ku = kuarsa, Ln = limonit, Lm = lapukan mineral, Fb = fragmen batuan, Sn = sanidin, Mk = muskovit, Bt = biotit, Hb = hornblende, Gr = garnet, Ep = epidot, Gk = Glaukofan, En = enstatit, sp = sporadis (<1%)

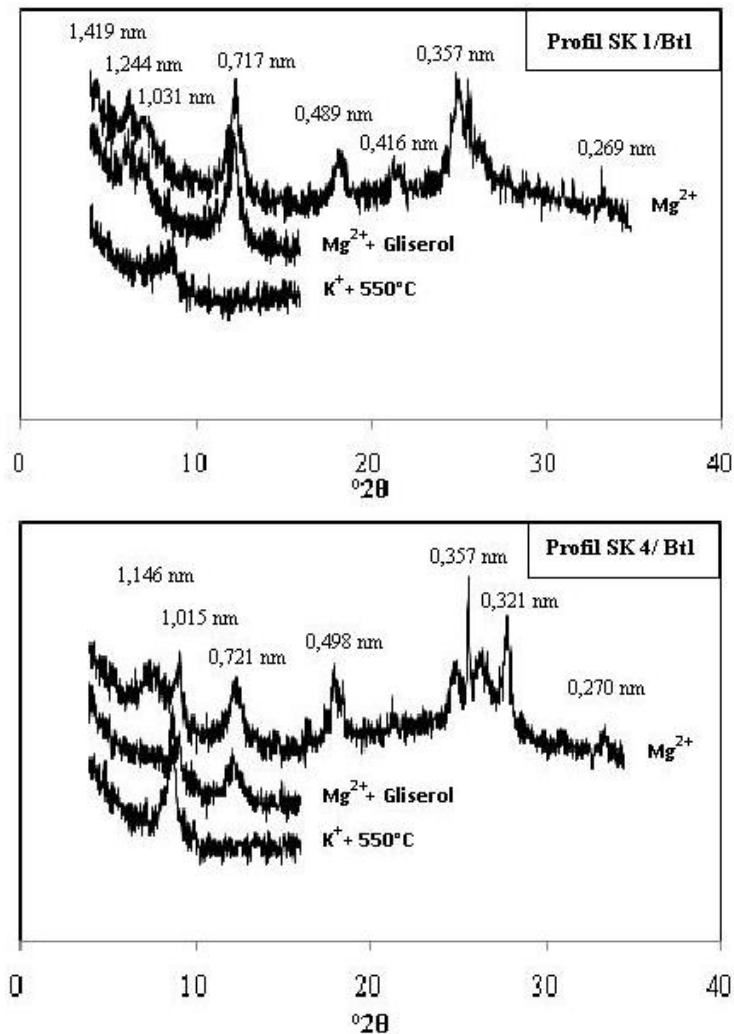
Mineral dari kelompok feldspar (sanidin), kelompok mika (muskovit dan biotit), dan mineral kelayan yang mudah lapuk (epidot, hornblende, dan glaukofan) hanya dijumpai dalam jumlah sangat sedikit. Profil SK 1 memiliki potensi kesuburan tanah lebih baik dibandingkan dengan profil SK 4. Hal ini disebabkan jumlah cadangan mineral mudah lapuk profil SK 1 masih lebih baik/tinggi dari profil SK 4.

Komposisi mineral fraksi liat dari profil tanah yang diteliti tersusun dari kaolinit (0,717-0,721 nm dan 0,357 nm), ilit (1,015-1,031 nm dan 0,489-0,498 nm), vermikulit (1,419 nm), dan interstratifikasi ilit-vermikulit (1,146-1,244 nm) (Gambar 1). Mineral lainnya seperti feldspar (0,321 nm), goetit (0,416 nm) dan hematit (0,269-0,270 nm) hanya dijumpai dalam jumlah sedikit. Adanya mineral kaolinit dalam jumlah sedang hingga banyak dan oksida-oksida besi (goetit dan hematit) menunjukkan bahwa tanah yang diteliti telah mengalami pelapukan intensif. Adanya mineral ilit menunjukkan bahwa tanah yang diteliti berkembang dari bahan induk batuan skis.

nm) hanya dijumpai dalam jumlah sedikit. Adanya mineral kaolinit dalam jumlah sedang hingga banyak dan oksida-oksida besi (goetit dan hematit) menunjukkan bahwa tanah yang diteliti telah mengalami pelapukan intensif. Adanya mineral ilit menunjukkan bahwa tanah yang diteliti berkembang dari bahan induk batuan skis.

Sifat fisika tanah

Tekstur tanah horison Ap dari profil SK 1 dan SK 2 berkisar dari lempung hingga lempung berliat, sedangkan horison Bt bertekstur lempung berliat hingga liat berdebu. Lapisan bawah profil SK 3 dan SK 4 bertekstur lebih halus dibandingkan profil SK 1 dan SK 2 yang ditunjukkan oleh kandungan liatnya lebih tinggi (Tabel 4).



Gambar 1. Difraktogram sinar X dari horison bawah profil tanah yang diteliti dengan perlakuan Mg^{2+} , $Mg^{2+} + gliserol$, dan K^+ pemanasan $550^{\circ}C$

Figure 1. X-ray diffractogram of lower horizons of the studied soil profiles with Mg^{2+} , $Mg^{2+} + glycerol$, and K^+ heating $550^{\circ}C$ treatments

Tabel 4. Sifat fisika dari profil tanah yang di teliti
 Table 4. Physical properties of the studied soil profiles

Horison	Kedalaman cm	Tekstur			BI g cm ⁻³	RPT % vol	Retensi air		AT	Permeabilitas cm jam ⁻¹
		Pasir %	Debu	Liat			33 kPa	1.500 kPa		
Profil SK 1										
Ap	0-15	27	44	29	1,13	55,9	40,6	27,2	13,3	1,06
Bt1	15-55	23	41	36	0,97	59,3	39,9	21,8	18,1	2,67
Bt2	55-86	20	42	38						
Bt3	86-130	21	40	39						
BC	130-160	18	45	37						
Profil SK 2										
Ap	0-12	33	42	25	0,96	61,7	37,5	18,9	18,6	0,22
Bt1	12-34	30	40	30						
Bt2	34-82	26	40	34	0,95	50,9	36,8	19,7	17,1	10,06
Bt3	82-133	22	41	37						
BC	133-160	18	46	36						
Profil SK 3										
Ap	0-13	43	30	27	1,40	45,8	28,7	15,9	12,4	0,41
Bt1	13-42	38	27	35						
Bt2	42-94	34	24	42	1,37	46,5	28,0	18,0	9,8	10,30
Bt3	94-123	31	25	44						
Bt4	123-160	29	26	45						
Profil SK 4										
Ap	0-15	40	35	25	1,37	46,2	28,1	14,2	13,9	2,74
Bt1	15-54	40	30	30	1,41	45,3	23,3	16,7	6,6	2,67
Bt2	54-83	29	29	42						
Bt3	83-122	26	26	48						
Bt4	122-160	27	31	42						

Keterangan : BI = Bobot isi, RPT = Ruang pori total, AT = Air tersedia

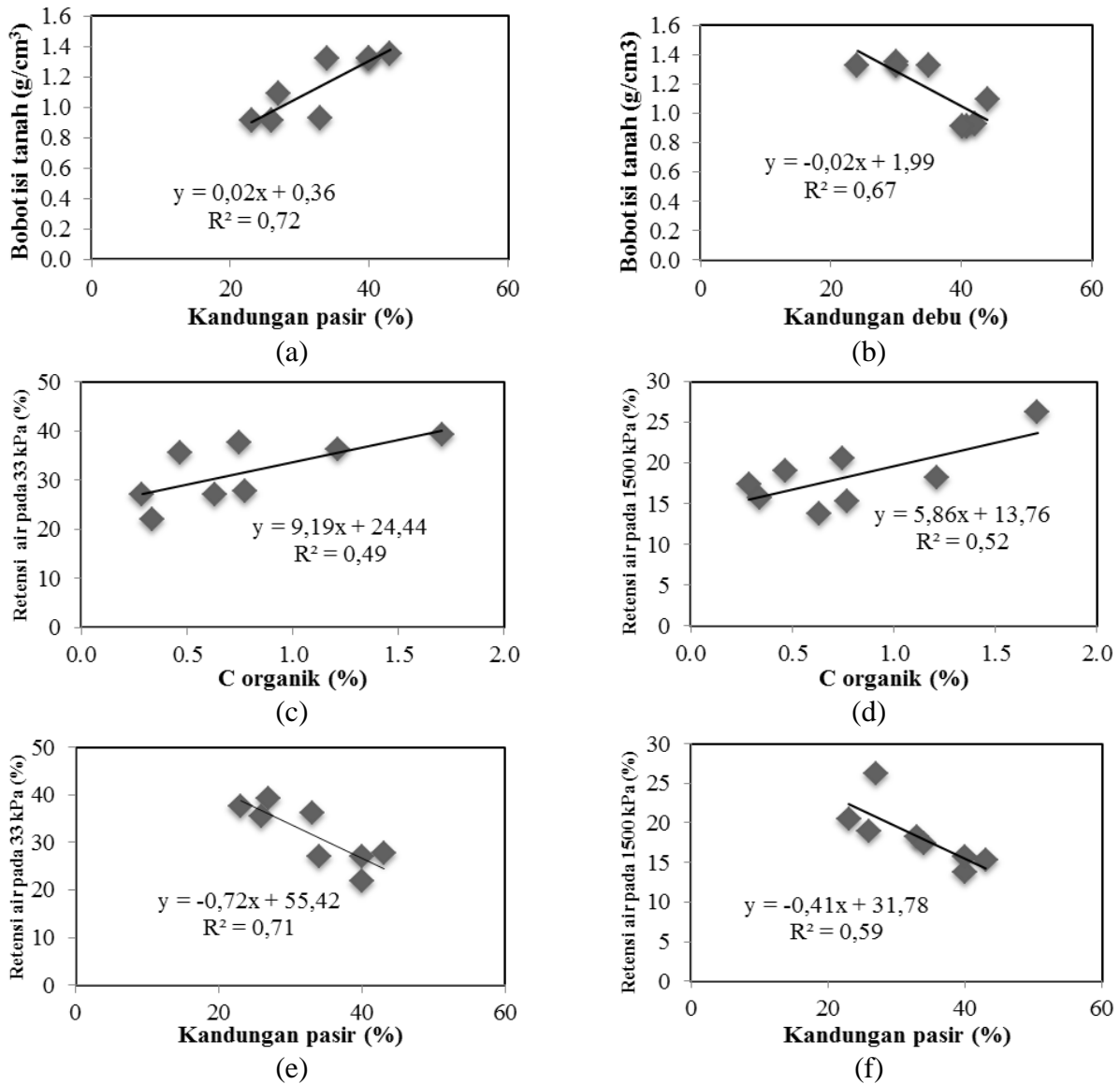
Bobot isi tanah berkisar dari 0,95 hingga 1,41 g cm⁻³, sedangkan ruang pori total berkisar dari 45,3 hingga 61,7% (Tabel 4). Profil SK 1 dan SK 2 memiliki bobot isi tanah lebih rendah dan ruang pori total lebih tinggi dibandingkan profil SK 3 dan 4. Bobot isi tanah dari profil tanah yang diteliti tidak dipengaruhi oleh kandungan liatnya, tetapi berhubungan erat dengan kandungan pasir dan debunya. Nilai bobot isi tanah berkorelasi positif dengan kandungan pasir ($R^2 = 0,72$) (Gambar 2a), namun berkorelasi negatif dengan kandungan debu ($R^2 = 0,67$) (Gambar 2b).

Retensi air pada kapasitas lapang (33 kPa) berkisar dari 28 hingga 41%, sedangkan retensi air pada titik layu permanen (1.500 kPa) berkisar dari 14 hingga 27% (Tabel 4). Retensi air pada tekanan 33 kPa dan 1.500 kPa dari profil SK 1 dan SK 2 lebih tinggi dibandingkan profil SK 3 dan SK 4. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan C organik dan kandungan pasirnya. Retensi air pada tekanan 33 kPa dan 1.500 kPa berkorelasi positif dengan kandungan C organik ($R^2 = 0,49$ dan $R^2 = 0,52$) (Gambar 2c dan 2d),

namun berkorelasi negatif dengan kandungan pasir ($R^2 = 0,71$ dan $R^2 = 0,69$) (Gambar 2e dan 2f). Karbon organik berperan dalam mempertahankan kondisi tanah tetap lembab, sedangkan kandungan pasir yang tinggi menyebabkan daya pegang tanah terhadap air menjadi lebih rendah. Untuk tanah dengan kandungan pasir lebih tinggi, maka jumlah air yang dipegang tanah pada kondisi kapasitas lapang dan titik layu permanen cenderung lebih rendah (Brady dan Weil 2000).

Air tersedia dari tanah-tanah yang diteliti bervariasi dari rendah hingga tinggi (7-19%). Profil SK 1 dan SK 2 memiliki air tersedia lebih tinggi dibandingkan profil SK 3 dan SK 4. Hal ini disebabkan oleh kandungan C organik pada profil SK 1 dan SK 2 lebih tinggi dibandingkan profil SK 3 dan SK 4.

Tanah-tanah yang diteliti memiliki permeabilitas lambat sampai sedang (0,22-2,74 cm jam⁻¹). Tanah lapisan atas umumnya memiliki permeabilitas lebih rendah dibandingkan lapisan bawah. Hal ini disebabkan lapisan atas tanah memiliki tingkat kepadatan lebih tinggi dibandingkan lapisan bawah.



Gambar 2. Hubungan antara (a) Pasir vs Bobot isi, (b) Debu vs Bobot isi, (c) C organik vs Retensi air pada 33 kPa, (d) C organik vs Retensi air pada 1500 kPa, (e) Pasir vs Retensi air pada 33 kPa, (f) Pasir vs Retensi air pada 1500 kPa dari tanah yang diteliti

Figure 2. Relationship between (a) Sand vs Bulk density, (b) Silt vs Bulk density, (c) Organic C vs Water retention at 33 kPa, (d) Organic C vs Water retention at 1500 kPa, (e) Sand vs Water retention at 33 kPa, (f) Sand vs Water retention at 1500 kPa of the studied soils

Sifat kimia tanah

Reaksi tanah yang diteliti dalam larutan air tergolong masam (pH 4,60-5,41) (Tabel 5). Rendahnya nilai pH tanah tersebut disebabkan rendahnya kandungan basa-basa dapat dipertukarkan (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^+). Nilai pH tanah dalam larutan KCl lebih rendah sekitar 1-1,5 unit dibandingkan pH tanah dalam larutan air. Hal ini menunjukkan bahwa tanah-tanah yang diteliti memiliki muatan permukaan negatif tinggi disebabkan tingginya kandungan Al dapat dipertukarkan (Uehara dan Gillman 1981).

Kandungan C organik dan N total dari profil tanah yang diteliti tergolong sangat rendah (<1% dan <0,1%), kecuali horison A dari profil SK 1 dan SK 2 yang memiliki kandungan C organik dan N total rendah (1,21-1,71% dan 0,11-0,19%) (Tabel 5). Kandungan C organik dan N total cenderung menurun menurut kedalaman. Rendahnya kandungan C organik dan N total disebabkan rendahnya akumulasi bahan organik dan dekomposisi bahan organik berlangsung intensif yang ditunjukkan oleh nilai rasio C/N rendah hingga sedang (5-12).

Tabel 5. Sifat kimia dari profil tanah yang diteliti

Table 5. Chemical properties of the studied soil profiles

Horison	Kedalaman cm	pH (1:5)		Bahan organik			P ₂ O ₅ tersedia mg kg ⁻¹	HCl 25 %		NH ₄ OAc 1 M, pH 7						KCl 1 M		KB %	K-Al %	
		H ₂ O	KCl	C	N	C/N		P ₂ O ₅	K ₂ O	K	Ca	Mg	Na	Jumlah	KTKt	KTKl	Al			H
Profil SK 1																				
Ap	0-15	5,36	4,50	1,71	0,19	9	12	79	36	0,11	4,25	3,71	0,36	8,42	20,69	47,79	1,02	0,10	41	11
Bt1	15-55	5,22	3,40	0,75	0,08	9	3	71	25	0,09	2,21	1,10	0,29	3,69	19,08	44,62	7,23	0,56	19	66
Bt2	55-86	5,01	3,33	0,49	0,04	12	1	68	29	0,10	1,65	1,87	0,44	4,06	17,01	39,61	6,73	0,29	24	62
Bt3	86-130	4,81	3,33	0,42	0,04	10	1	74	29	0,09	1,69	1,52	0,34	3,65	17,15	39,62	6,96	0,18	21	66
BC	130-160	4,99	3,42	0,27	0,03	10	1	84	32	0,10	0,86	2,43	0,41	3,81	14,96	37,53	4,46	0,31	25	54
Profil SK 2																				
Ap	0-12	4,65	3,46	1,21	0,11	11	5	59	53	0,14	3,39	2,58	0,31	6,41	16,47	46,49	3,41	0,52	39	35
Bt1	12-34	4,62	3,19	0,77	0,08	10	1	53	42	0,06	1,73	1,80	0,30	3,90	17,08	46,54	6,11	0,45	23	61
Bt2	34-82	4,60	3,20	0,46	0,04	11	1	49	39	0,04	0,70	1,90	0,24	2,87	16,63	43,45	7,18	0,69	17	71
Bt3	82-133	4,62	3,30	0,30	0,03	11	1	47	38	0,03	0,58	1,95	0,36	2,92	16,14	40,42	6,61	0,19	18	69
BC	133-160	4,67	3,29	0,24	0,03	9	1	58	37	0,04	0,99	1,84	0,27	3,15	15,14	39,40	4,70	0,47	21	60
Profil SK 3																				
Ap	0-13	5,12	4,48	0,77	0,11	7	1	19	25	0,18	2,11	1,31	0,01	3,62	7,74	17,23	1,26	0,10	47	26
Bt1	13-42	5,41	4,01	0,40	0,08	5	1	20	39	0,55	2,34	1,85	0,01	4,75	7,88	17,88	1,32	0,23	60	22
Bt2	42-94	5,25	3,85	0,29	0,05	6	4	44	54	0,88	0,54	0,73	0,08	2,23	7,87	16,01	3,51	0,42	28	61
Bt3	94-123	5,17	3,78	0,24	0,03	8	8	46	37	0,52	0,18	0,56	0,03	1,29	8,15	16,37	4,77	0,47	16	79
Bt4	123-160	5,06	3,81	0,21	0,03	8	4	41	27	0,37	0,20	0,49	0,03	1,09	8,20	16,36	5,10	0,38	13	82
Profil SK 4																				
Ap	0-15	4,79	3,86	0,63	0,06	11	1	21	20	0,20	1,13	0,68	0,02	2,04	7,33	19,20	1,43	0,47	28	41
Bt1	15-54	4,93	3,84	0,34	0,06	5	2	21	24	0,11	1,48	1,08	0,01	2,68	9,34	26,65	1,43	0,40	29	35
Bt2	54-83	5,05	3,80	0,31	0,03	11	2	36	17	0,16	1,84	1,67	0,03	3,69	10,85	22,87	2,40	0,63	34	39
Bt3	83-122	5,32	3,80	0,28	0,03	10	4	49	15	0,14	1,50	1,47	0,01	3,13	10,36	19,28	3,48	0,60	30	53
Bt4	122-160	5,03	3,82	0,29	0,03	10	2	40	15	0,14	1,97	0,98	0,08	3,17	9,96	20,99	3,02	0,60	32	49

Keterangan : KTKt = KTK tanah, KTKl = KTK liat, KB = Kejenuhan Basa, K-Al = Kejenuhan Al

Kandungan P_2O_5 tersedia tergolong sangat rendah hingga rendah ($1-12 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabel 5). Rendahnya kandungan P_2O_5 diduga disebabkan oleh tingginya kandungan Al^{3+} . Fosfat dalam bentuk P_2O_5 yang bermuatan negatif dapat terfiksasi oleh Al^{3+} sehingga ketersediaannya dalam larutan tanah menjadi rendah. Rendahnya P_2O_5 tersedia tidak berbanding lurus dengan P_2O_5 potensial. Kandungan P_2O_5 potensial dari profil SK 1 dan SK 2 tergolong tinggi hingga sangat tinggi ($47-84 \text{ mg } 100g^{-1}$), sedangkan profil SK 3 dan 4 memiliki kandungan P_2O_5 potensial sedang hingga tinggi ($19-49 \text{ mg } 100g^{-1}$).

Kandungan K_2O potensial dari profil tanah yang diteliti umumnya sedang hingga tinggi ($19-84 \text{ mg } 100g^{-1}$), kecuali horison bawah (Bt2 hingga Bt4) dari profil SK 4 yang memiliki kandungan K_2O potensial rendah ($15-17 \text{ mg } 100g^{-1}$). Tingginya kandungan K_2O potensial disebabkan oleh adanya mineral muskovit dan illit. Muskovit dan illit merupakan mineral kelompok mika yang kaya akan sumber K. Pelapukan mineral-mineral tersebut akan melepaskan K yang bermanfaat sebagai sumber hara bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Basa-basa dapat dipertukarkan dari tanah yang diteliti didominasi oleh Ca^{2+} dan Mg^{2+} , lalu diikuti oleh K^+ atau Na^+ (Tabel 5). Kandungan Ca^{2+} tergolong rendah pada semua profil yang diteliti, berkisar antara $1,13-4,25 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ di horison A dan $0,18-2,34 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ di horison B. Kandungan Mg^{2+} tergolong sedang hingga tinggi ($1,10-3,71 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) pada profil SK 1 dan SK 2, dan rendah hingga sedang ($0,31-1,85 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) pada profil SK 3 dan SK 4. Kandungan K^+ dan Na^+ tergolong rendah, kecuali lapisan bawah dari profil SK 3 yang memiliki kandungan K^+ sedang hingga tinggi ($0,52-0,88 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Profil SK 1 dan SK 2 umumnya memiliki jumlah basa-basa lebih tinggi dibandingkan profil SK 3 dan SK 4. Kejenuhan basa dari profil tanah yang diteliti tergolong rendah hingga sedang ($13-60\%$), dan cenderung meningkat dengan meningkatnya kandungan Ca^{2+} .

Nilai kapasitas tukar kation (KTK) tanah dan KTK liat dari profil SK 1 dan SK 2 lebih tinggi dibandingkan KTK tanah dan KTK liat dari profil SK 3 dan SK 4 (Tabel 5). Profil SK 1 dan SK 2 memiliki KTK tanah sedang ($14,96-20,69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), sedangkan KTK tanah dari profil SK 3 dan SK 4 tergolong rendah ($7,33-10,85 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). KTK liat tergolong tinggi ($37,53-47,79 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) pada profil SK 1 dan SK 2, dan sedang ($16,01-26,65 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) pada profil SK 3 dan SK 4. Tingginya nilai KTK tanah dan KTK liat pada profil SK 1 dan SK 2 disebabkan adanya mineral vermikulit dalam jumlah sedang (Gambar 1) sehingga berimplikasi pada kemampuan dari profil SK 1 dan SK 2 dalam mempertukarkan kation yang lebih baik dibandingkan profil SK 3 dan SK 4.

Kandungan Al^{3+} tergolong sedang hingga sangat tinggi ($1,02-7,23 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), sedangkan kandungan H^+ tergolong rendah untuk semua profil, berkisar antara $0,10$ dan $0,69 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa kemasaman dari tanah-tanah yang diteliti lebih disebabkan karena tingginya Al^{3+} . Semua profil yang diteliti memiliki kejenuhan Al sedang hingga sangat tinggi ($11-82\%$). Nilai kejenuhan Al meningkat dengan meningkatnya kandungan Al^{3+} . Tingginya Al^{3+} dan kejenuhan Al pada profil tanah yang diteliti belum berimplikasi buruk bagi perkembangan tanaman disebabkan kandungan Al^{3+} masih belum melebihi 60% KTK tanah. Aluminium dapat dipertukarkan (Al^{3+}) dapat meracuni tanaman apabila keberadaannya dalam larutan tanah melebihi 60% KTK tanah (Hardjowigeno 2003; Rachim 2007).

Klasifikasi tanah

Semua profil tanah yang diteliti diklasifikasikan pada tingkat ordo sebagai Ultisols. Hal ini disebabkan tanah memiliki horison penciri bawah argilik dan kejenuhan basa kurang dari 35% pada sebagian besar horisonnya. Horison argilik dicirikan oleh adanya selaput liat dan peningkatan liat secara nyata dari horison atas ke horison di bawahnya. Pada tanah yang diteliti, kandungan liat di horison B meningkat lebih dari $1,2$ kali kandungan liat di horison A.

Pada tingkat famili, profil SK 1 dan SK 2 diklasifikasikan sebagai Typic Hapludults, halus, campuran, isohipertermik, sedangkan profil SK 3 dan SK 4 diklasifikasikan sebagai Typic Paleudults, halus, campuran, isohipertermik. Hal ini disebabkan tanah tidak memiliki penurunan liat sebesar 20% atau lebih dari liat maksimum. Kelas besar butir halus karena tanah memiliki kandungan liat antara $30-48\%$ pada sebagian besar penampang kontrolnya. Kelas mineralogi campuran karena tanah ini tersusun dari mineral liat kaolinit, illit, dan vermikulit. Suhu tanah tahunan rata-rata 22°C atau lebih sehingga tergolong kelas temperatur tanah isohipertermik.

Kesesuaian lahan tanaman kakao

Karakteristik tanah yang digunakan untuk evaluasi kesesuaian lahan tanaman kakao dipilih pada selang kedalaman tanah $0-30 \text{ cm}$ karena perakaran tanaman tahunan seperti kakao umumnya terpusat pada kedalaman tersebut. Karakteristik lahan dari profil tanah yang diteliti disajikan pada Tabel 6, sedangkan hasil evaluasi kesesuaian lahan untuk tanaman kakao disajikan pada Tabel 7. Hasil evaluasi kesesuaian lahan menunjukkan bahwa tanah-tanah yang diteliti sesuai marginal (kelas S3) untuk pengembangan tanaman kakao dengan faktor pembatas reaksi tanah masam ($\text{pH} < 5,5$) dan lereng curam

Tabel 6. Karakteristik lahan dari profil tanah yang diteliti

Table 6. Land characteristics of the studied soil profile

Persyaratan penggunaan/ karakteristik lahan	Profil SK 1	Profil SK 2	Profil SK 3	Profil SK 4
Temperatur (tc)				
Temperatur udara/tahun (°C)	27,9	27,9	27,9	27,9
Ketersediaan air (wa)				
Curah hujan/tahun (mm)	2.041	2.041	1.901	1.901
Bulan kering (CH < 60 mm)	0	0	0	0
Kelembaban udara (%)	75,6	75,6	75,6	75,6
Ketersediaan oksigen (oa)				
Drainase	baik	baik	baik	baik
Media perakaran (rc)				
Tekstur	halus	halus	halus	halus
Kedalaman efektif tanah (cm)	> 100	> 100	> 100	> 100
Retensi hara (nr)				
KTK tanah (cmol _c kg ⁻¹)	19,88	16,84	7,82	8,34
Kejuhan basa (%)	30	26	54	28
pH H ₂ O	5,29	4,63	5,28	4,86
C organik (%)	1,23	0,95	0,56	0,48
Hara tersedia (na)				
N total (%)	0,14	0,09	0,10	0,06
P ₂ O ₅ (mg 100g ⁻¹)	75	55	19	21
K ₂ O (mg 100g ⁻¹)	31	46	33	22
Bahaya erosi (eh)				
Lereng (%)	25	25	10	10

Tabel 7. Kesesuaian lahan dari profil tanah yang diteliti

Table 7. Land suitability of the studied soil profiles

Profil	Kelas kesesuaian lahan (BBSDL P 2011)	Faktor pembatas
SK 1	S3nr, eh	Reaksi tanah Masam (pH < 5,5), lereng curam (lereng >20%)
SK 2	S3nr, eh	Reaksi tanah Masam (pH < 5,5), lereng curam (lereng >20%)
SK 3	S3nr	Reaksi tanah Masam (pH < 5,5), C-organik sangat rendah (<0,8%)
SK 4	S3nr	Reaksi tanah Masam (pH < 5,5), C-organik sangat rendah (<0,8%)

(>20%) pada profil SK 1 dan SK 2, sedangkan profil SK 3 dan SK 4 memiliki faktor pembatas reaksi tanah masam dan C organik sangat rendah (<0,8%).

Potensi cadangan hara dari mineral mudah lapuk cukup rendah, terutama profil SK 4, namun kesuburan tanah saat ini masih tergolong baik untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman kakao disebabkan tanah memiliki drainase baik, tekstur halus, kedalaman efektif > 100 cm, KTK tanah 8-20 cmol_c kg⁻¹, kejuhan basa sedang hingga tinggi (26-54%), kandungan P₂O₅ potensial sedang sampai sangat tinggi (19-75 mg 100g⁻¹), dan K₂O potensial umumnya sedang hingga tinggi (22-46 mg 100g⁻¹). Karakteristik lahan lainnya seperti suhu udara dan curah hujan rata-rata tahunan, lamanya bulan kering, dan

kelembaban udara juga masih cukup baik untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman kakao (Tabel 6).

Kendala utama pengelolaan lahan ini untuk kakao adalah reaksi tanah masam (pH <5,5) dan kandungan C organik relatif rendah. Pemberian kapur pertanian seperti dolomit dan penambahan bahan organik baik melalui pemberian kompos/pupuk organik maupun penanaman tanaman penutup tanah dapat dilakukan untuk memperbaiki struktur tanah yang padat, mempertahankan kelembaban tanah, dan meningkatkan pH tanah dan kandungan basa-basa seperti Ca dan Mg agar produksi kakao lebih optimal. Pemberian 4,5 kg kompos/pohon/tahun nyata meningkatkan produksi kakao (Maulina

2013). Pupuk anorganik masih tetap diperlukan untuk mendapatkan hasil kakao yang tinggi. Dosis pupuk anorganik yang dianjurkan untuk tanaman kakao dengan umur > 4 tahun masing-masing sebesar 220 g Urea, 240 g TSP, 170 g KCl, dan 180 g dolomit/pohon/tahun (Pujiyanto dan Abdoellah 2013).

Secara umum, profil SK 1 dan SK 2 memiliki kesuburan tanah lebih baik dari profil SK 3 dan SK 4 yang ditunjukkan oleh kandungan C organik, P₂O₅ dan K₂O potensial, Ca dan Mg, dan KTK lebih tinggi pada profil SK 1 dan SK 2 dibandingkan profil SK 3 dan SK 4. Namun, pengelolaan lahan pada profil SK 1 dan SK 2, perlu memperhatikan aspek konservasi tanah disebabkan lahan terletak pada lereng yang curam sehingga potensi terjadinya erosi tanah cukup tinggi. Pembuatan teras dan penanaman tanaman penutup tanah dapat dilakukan untuk mengurangi erosi, kehilangan hara, dan degradasi tanah.

Kesimpulan dan Saran

Komposisi mineral fraksi pasir dari tanah yang terbentuk dari bahan induk batuan skis di sentra produksi kakao Kolaka dan Kolaka Timur didominasi oleh kuarsa, sedangkan mineral liat tersusun dari kaolinit, illit, vermikulit, dan interstratifikasi illit-vermikulit. Tanah dicirikan oleh tekstur lempung sampai liat, bobot isi sedang hingga tinggi, reaksi tanah masam, C organik dan N total rendah hingga sangat rendah, P tersedia sangat rendah, P₂O₅ dan K₂O potensial sedang sampai sangat tinggi, Ca dapat tukar rendah, KTK tanah dan kejenuhan basa rendah sampai sedang, dan kejenuhan Al sedang sampai sangat tinggi.

Pada tingkat famili, profil SK 1 dan SK 2 diklasifikasikan sebagai Typic Hapludults, halus, campuran, isohipertermik, sedangkan profil SK 3 dan SK 4 diklasifikasikan sebagai Typic Paleudults, halus, campuran, isohipertermik.

Tanah sesuai marginal (kelas S3) untuk tanaman kakao dengan pembatas reaksi tanah masam dan lereng curam (profil SK 1 dan SK 2), reaksi tanah masam dan C organik sangat rendah (profil SK 3 dan SK 4). Pemberian bahan organik dan kapur pertanian diperlukan untuk meningkatkan daya dukung tanah ini bagi pengembangan tanaman kakao.

Daftar Pustaka

BBSDLP (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian). 2011. Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian. Edisi Revisi. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.

- BPS (Badan Pusat Statistik). 2014. Statistik Indonesia 2014. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Brady, N.C. dan R.R. Weil. 2000. Elements of Nature and Properties of Soils. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 559p.
- Buol, S.W., F.D. Hole, dan R.J. McCracken. 1980. Soil Genesis and Classification. The Iowa State University Press.
- Burt, R. dan Soil Survey Staff. 2014. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report 42, Version 5.0. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Washington DC.
- Buurman, P. 1990. Chemical, physical, and mineralogical characteristics for the soil data base. Tech. Report No.7, Version 2.1. LREPP Part 2, Soil Data Base Management. CSAR. Bogor.
- Dai, J., P. Soedewo, dan P. Buurman. 1980. Soils on acid metamorphic and sedimentary rocks in Southeast Sulawesi. In P. Buurman (ed). Red Soils in Indonesia. Agricultural Research Reports 889. Bulletin No.5. Soil Research Institute, Bogor. p121-140.
- Ditjenbun (Direktorat Jenderal Perkebunan). 2014. Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kakao 2013-2015. Direktorat Jenderal Perkebunan. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1976. A Framework for Land Evaluation. FAO Soil Bull. No. 32. Rome, Italy.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1990. Guidelines for Soil Profile Description. 3rd ed. Land and Water Development Division. Rome, Italy.
- Goenadi, D.H., J.B. Baon, dan P.A. Herman. 2005. Prospek dan Arah Pengembangan Agribisnis Kakao di Indonesia. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Hardjowigeno, S. 2003. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hikmatullah, Wahyunto, Wahyu Supriatna, Asep Iskandar, Sri Retno Murdiati, Sucianto Tanjung. 2011. Peta Tanah Tinjau Provinsi Sulawesi Tenggara. Skala 1:250.000. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Maulina, D. 2013. Pengaruh kombinasi pupuk organik dan anorganik terhadap hasil kakao (*Theobroma cacao* L.) di Kecamatan Padang Tiji Kabupaten Pidie. Skripsi. Program Studi Agroteknologi. Fakultas Pertanian. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Pujiyanto dan S. Abdoellah. 2013. Pemupukan tanaman kakao. Hal 134-137. Dalam Wahyudi T., Panggabean T.R., Pujiyanto (eds). Panduan Lengkap Kakao. Cetakan ke 3. Penebar Swadaya, Jakarta. 363p.
- Rachim, D.A. 2007. Dasar-Dasar Genesis Tanah. Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rossiter, D.G. 1996. A theoretical framework for land evaluation. Discussion Paper. Geoderma, 72 : 165-190.
- Schmidt, F.H. dan J.H.A. Ferguson. 1951. Rainfall types based on wet and dry period ratios for Indonesia and Western New Guinea. Verh. 42. Jaw. Meteo. dan Geofisik. Jakarta.

- Simandjuntak, T.O, Suro, dan Sukido. 1993. Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi. Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. USDA Handbook No.18. United States Department of Agriculture, Washington DC.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th ed. Natural Resources Conservation Service. USDA. Washington DC.
- Eviati dan Sulaeman. 2012. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Edisi 2. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Sys, C. 1978. Evaluation of land limitations in the humid tropics. *Pedologie*, XXVIII-3:307-335.
- Uehara, G. dan G. Gillman. 1981. *The Mineralogy, Chemistry, and Physics of Tropical Soils with Variable Charge Clays*. Westview Press, Inc. Colorado, USA.
- van Reeuwijk, L.P. 1993. *Procedures for Soil Analysis*. Four Edition. ISRIC, Wageningen. Netherlands.
- Zhang, B., Y. Zhang, D. Chen, R.E. White, dan Y. Li. 2004. A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma*, 123 : 319-331.