

Tanah-tanah dari Batuan Ultrabasik di Sulawesi: Kandungan Logam Berat dan Arahan Pengelolaan untuk Pertanian

Soils Derived from Ultrabasic Rock in Sulawesi: Heavy Metal Content and Proposed Soil Management for Agriculture

Erna Suryani*, Sofyan Ritung

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

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 24 Agustus 2018
Direview: 23 September 2018
Disetujui: 27 September 2018

Kata kunci:

Batuan ultrabasic
Logam berat
Pengelolaan tanah
Sulawesi

Keywords:

Ultrabasic rock
Heavy metal
Soil management
Sulawesi

Direview oleh:

Sukarman, Markus Anda

Abstrak. Pemetaan tanah semidetil skala 1:50.000 mengidentifikasi sekurangnya 1.628.485 ha lahan di Sulawesi tanahnya berkembang dari batuan ultrabasik. Permasalahannya adalah tanah-tanah tersebut mengandung nikel (Ni) dan kromium (Cr) serta logam berat lainnya dalam konsentrasi tinggi. Kondisi ini dapat meracuni tanaman, yang pada akhirnya membahayakan kesehatan manusia dan hewan. Oleh karena itu sangat penting mengetahui kadar logam berat, potensi toksiknya terhadap tanaman, dan sebagai dasar arahan pengelolaan lahan untuk pertanian. Sebanyak enam profil terpilih yang berasal dari Kolaka (Sulawesi Tenggara), Luwu Timur (Sulawesi Selatan) dan Morowali (Sulawesi Tengah) telah dideskripsi, dan 29 contoh tanah yang berasal dari keenam profil tersebut (HK-16, UY-16, SL-34, SL-09, RM-07 dan YY-09) telah dianalisis kandungan logam berat, komposisi mineralogi (mineral pasir dan liat), dan sifat kimia tanahnya. Hasil penelitian menunjukkan tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik (peridotit dan serpentin) telah mengalami pelapukan lanjut, ditunjukkan oleh warna tanah merah gelap/maron (hue 2,5YR -10R); mineral pasir didominasi oleh mineral resisten (opak, kuarsa, garnet, enstatit dan khlorit); mineral liat didominasi oleh kaolinit dan goetit ditunjukkan puncak difraksi $7,3^{\circ}A$ dan $4,15-4,16^{\circ}A$. Kesuburan tanah rendah sampai sangat rendah dicirikan oleh kandungan bahan organik, kadar P_2O_5 dan K_2O potensial dan P-tersedia yang umumnya rendah sampai sangat rendah. Basa-basa dapat ditukar rendah, kecuali Mg^{2+} . Kapasitas tukar kation (KTK)-tanah dan KTK-liat rendah ($< 16 \text{ cmol}(+)kg^{-1}$) sampai sangat rendah ($< 5 \text{ cmol}(+)kg^{-1}$). KTK-efektif ($\Sigma \text{ basa} + Al_{-da}$) $> 1,5 \text{ cmol}(+)kg^{-1}$, kecuali profil YY-09 dan SL-34 mempunyai KTK efektif $< 1,5 \text{ cmol}(+)kg^{-1}$ mencirikan sifat acric. Konsentrasi Ni dan Cr sangat tinggi melebihi ambang batas yang ditetapkan (70 ppm untuk Ni dan 600-1000 ppm untuk Cr), masing-masing 670-1508 ppm dan 1230-1829 ppm. Konsentrasi boron (B) dan mangan (Mn) juga sangat tinggi, terutama pada profil SL-09. pH tanah 3,9-7,0 dan muatan koloid yang umumnya negatif, menyebabkan kelarutan Si lebih tinggi dari Cr, akibatnya kation-kation Ni terikat kuat pada permukaan partikel tanah, sehingga lebih mudah terserap dan dapat meracuni tanaman. Oleh karena itu saran pengelolaan tanah untuk menekan kelarutan logam berat adalah: 1) pemberian bahan organik, 2) pemberian kapur pertanian dalam bentuk $CaCO_3$, dan 3) penanaman tanaman yang tidak dikonsumsi langsung, misal tanaman kehutanan.

Abstract. Semidetil soil mapping at 1:50,000 scale showed at least 1,628,485 ha of soil in Sulawesi developed from ultrabasic rocks. The problem is the soils contain high concentrations of nickel (Ni), chromium (Cr) and other heavy metals, lead to toxic conditions for plants, and finally endangers animal and human health. Therefore it is very important to know the levels of heavy metals, especially their toxic potential for plants, and provide proper management direction for agriculture. Six selected profiles from Kolaka (Southeast Sulawesi), East Luwu (South Sulawesi) and Morowali (Central Sulawesi) have been described, and 29 soil samples from 6 profiles (HK-16, UY-16, SL-34, SL-09, RM-07 and YY-09) have been analyzed for the content of heavy metals, mineralogy (mineral composition of sand and clay), and the chemical properties. The results showed that the soil developed from ultrabasic rocks (peridotite and serpentinite) had undergone advanced weathering stage, as indicated by dark red/maroon color (hue 2.5YR -10R). Sand fractions are dominated by resistant minerals (opaque, quartz, garnet, enstatite and chlorite); clay minerals were dominated by kaolinite and goethite as indicated by $7.3^{\circ}A$ and $4.15-4.16^{\circ}A$ diffraction peaks. Low to very low soil fertility is characterized by organic matter content, potential P_2O_5 and K_2O and P-available levels which are generally low to very low. Exchangeable bases are low, except for Mg^{++} . Soil-CEC and clay-CEC are low ($<16 \text{ cmol}(+)kg^{-1}$) to very low ($<5 \text{ cmol}(+)kg^{-1}$). Effective CEC (sum of base + exchangeable-Al) $> 1.5 \text{ cmol}(+)kg^{-1}$, except for the YY-09 and SL-34 profiles which have effective-CEC $<1.5 \text{ cmol}(+)kg^{-1}$, indicating acric properties. Very high Ni and Cr concentrations exceeded the threshold limit (70 ppm for Ni and 600-1000 ppm for Cr), 670-1508 ppm and 1230-1829 ppm, respectively. The concentration of boron (B) and manganese (Mn) is also very high, especially in the SL-09 profile. Soil pH is 3.9-7.0 and colloidal charges are generally negative, causing Si solubility to be higher than Cr, as a result Ni ion is retained on the surface of soil particles and easily absorbed and toxic to plants. Therefore, suggestions for soil management to suppress heavy metal solubility are: 1) giving organic matter, 2) planting agricultural lime in the form of $CaCO_3$, and 3) planting crops that are not consumed directly, e.g. forestry crops.

Pendahuluan

Batuan ultrabasik disebut juga batuan ultramafik termasuk batuan plutonik yang terbentuk dari pembekuan

dan kristalisasi magma yang terjadi secara perlahan pada kedalaman tertentu di dalam kulit bumi (Subagyo *et al.* 2000). Batuan ini dicirikan oleh kandungan silika rendah ($<45\%$) dan didominasi oleh mineral-mineral klemat

* Corresponding author: erna_suryani2004@yahoo.com

berkristal feromagnesia, seperti olivin, piroksen, amfibol, yang umumnya berwarna kelabu gelap sampai hitam atau kehijauan (Fox and Tan 1971). Batuan ultrabasik paling luas dijumpai sebagai peridotit dan serpentinit (Goff and Lackner 1998). Batuan ini terlapuk sangat cepat di dalam tanah (Lee *et al.* 2004 dan Wilson 2004), membebaskan Mg dalam jumlah sangat tinggi disebabkan dominansi feromagnesia sebagai penyusun batuan. Hal ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan kation di dalam tanah, konsekuensinya toksisitas Mg dan kekurangan kation lainnya (Anda 2012). Selain Mg yang berlimpah, batuan ultrabasik juga mengandung logam berat seperti Ni dan Cr dalam jumlah sangat tinggi (Graham *et al.* 1990, Lee *et al.* 2004) yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan (Shallari *et al.* 1998). Menurut Becquer *et al.* (2006) tanah dari batuan ultrabasik di daerah tropis sangat kaya Ni dan Cr, menunjukkan bahwa ketika tanah ini digunakan untuk pertanian, ada potensi risiko logam berat terhadap kesehatan manusia. Alloway (1990) melaporkan pertumbuhan tanaman yang kurang baik pada tanah-tanah dari serpentinit lebih disebabkan oleh toksisitas Ni dibandingkan tingginya konsentrasi Cr dan Co di dalam tanah.

Penelitian tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik di Indonesia telah dipelopori oleh beberapa peneliti terdahulu. Buurman dan Soeprahardjo (1980) telah meneliti genesis dan klasifikasi tanah dari batuan ultrabasik di Sulawesi Tenggara, dan mendapatkan tanah-tanah telah mengalami perkembangan lanjut termasuk kedalam Oxisols, Alfisols dan Ultisols. Sudihardjo dan Dai (1989) mendapatkan hal yang serupa, tanah-tanah dari batuan ultrabasik pada suatu toposekuen di daerah Puriala, Sulawesi Tenggara termasuk Oxisols, Ultisols dan Inceptisols. Sementara itu, Prasetyo *et al.* (1988) meneliti

komposisi mineral batuan ultrabasik dari daerah Tompira, Sulawesi Tengah, dan menemukan komposisi jenis batuan terdiri atas peridotit dan serpentinit. Suhardjo (1988) mempelajari sekuen tanah di daerah batuan ultrabasik (peridotit) di Sulawesi Tenggara, dan mendapatkan tanah Oxisols dan Ultisols menempati posisi *upland*, dan Vertisols pada posisi *lowland*. Sudihardjo dan Siswanto (1991) melaporkan genesis tanah-tanah dari batuan ultrabasik (peridotit) di daerah Trobulu, Sulawesi Tenggara pada suatu sekuen, dan mendapatkan tanah-tanah Oxisols dan Inceptisols di lereng atas dan Vertisols di lereng bawah/kaki lereng.

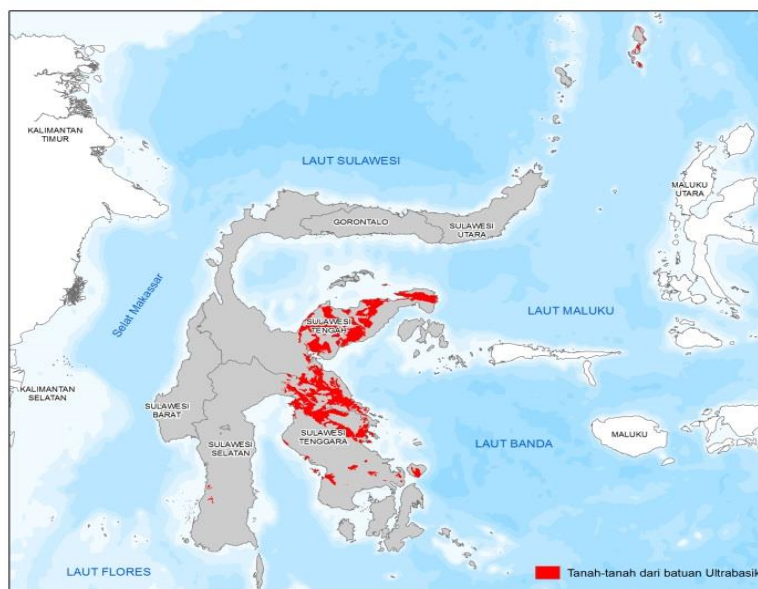
Penelitian mengenai pemanfaatan tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik telah pula dilakukan oleh beberapa peneliti. Tufaila *et al.* (2011) meneliti karakteristik tanah dari batuan ultrabasik dan kesesuaiannya untuk kelapa sawit di daerah Langgikima, Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. Tanah-tanah yang diteliti bereaksi agak masam sampai netral, kandungan bahan organik dan hara (terutama NPK), basa-basa dapat ditukar, dan KTK liat semuanya tergolong rendah sampai sangat rendah, dan komposisi mineral liat didominasi oksida besi hidroksida (goetit dan magnetit). Kesesuaian lahannya dibatasi oleh retensi hara (nr) dan rendahnya ketersediaan hara (na), sehingga direkomendasikan pemupukan dan pemberian bahan organik. Suharta *et al.* (1995) telah pula meneliti karakteristik tanah dari batuan volkan basis (Oxisols) dan pengelolaannya untuk pertanian di daerah Sanggau Ledo, Kalimantan Barat.

Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa penelitian tentang karakteristik dan klasifikasi tanah-tanah dari batuan ultrabasik di Indonesia telah banyak dilakukan, bahkan kesesuaian dan pembatasnya untuk pertanian telah pula dilaporkan. Tetapi masih sedikit publikasi yang

Tabel 1. Luas dan sebaran tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik di Sulawesi.
 Table 1. Area and distribution of soils derived from ultrabasic rock in Sulawesi.

No.	Provinsi	Kabupaten	Luas ha
1.	Sulawesi Utara	Kepulauan Talaud	16.868
2.	Sulawesi Tengah	Morowali Utara	341.411
3.	Sulawesi Tengah	Morowali	111.945
4.	Sulawesi Tengah	Banggai	328.256
5.	Sulawesi Tengah	Tojo Una Una	201.259
6.	Sulawesi Tenggara	Konawe	118.115
7.	Sulawesi Tenggara	Konawe Kepulauan	21.604
8.	Sulawesi Tenggara	Konawe Selatan	17.161
9.	Sulawesi Tenggara	Konawe Utara	132.927
10.	Sulawesi Tenggara	Kolaka	32.804
11.	Sulawesi Tenggara	Kolaka Utara	62.210
12.	Sulawesi Selatan	Barru	6.482
13.	Sulawesi Selatan	Luwu Timur	237.062
14.	Sulawesi Selatan	Pangkep	381
Total			1.628.485

Sumber: Peta Tanah semidetil skala 1:50.000 Kabupaten Konawe, Konawe Kepulauan, Konawe Selatan, Konawe Utara, Kolaka, Kolaka Utara, Kepulauan Talaud, Barru, Luwu Timur, Banggai dan Tojo Una Una versi *update* (BBSDI.P 2016, 2017).



Gambar 1. Sebaran tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik di Sulawesi.

Figure 1. Distribution of soils derived from ultrabasic rock in Sulawesi.

menginformasikan tentang kandungan logam berat dan potensi toksik logam berat tersebut terhadap tanaman.

Inventarisasi dan karakterisasi tanah-tanah di Indonesia skala 1:250.000 telah selesai tahun 2014, dan semidetil (skala 1:50.000) sebagian besar wilayah Indonesia telah pula diselesaikan. Khusus wilayah Sulawesi, hingga tahun 2017 hampir 90% telah diselesaikan. Hasilnya terdapat 1.628.485 ha lahan yang tanahnya berkembang dari batuan ultrabasik, menyebar di 14 kabupaten (Tabel 1), secara spasial disajikan pada Gambar 1. Saat ini, sebagian tanah-tanah tersebut telah digunakan masyarakat untuk kegiatan pertanian. Oleh karena itu, sangat penting mengetahui kadar logam berat, terlebih potensi toksiknya terhadap tanaman, disamping tingkat kesuburan tanah. Diharapkan kajian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam mengelola tanah-tanah dari batuan ultrabasik, khususnya batuan ultrabasik dari Sulawesi.

Bahan dan Metode

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di empat kabupaten, yaitu Kabupaten Kolaka dan Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara; Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan; dan Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Koordinat dan kondisi lingkungan lokasi penelitian disajikan pada Tabel 2.

Curah hujan daerah penelitian yang diwakili oleh stasiun Kolaka, Malili, Soroako dan Bungku tercatat lokasi

penelitian tergolong beriklim basah dicirikan oleh curah hujan rata-rata tahunan > 2.000 mm ($2.000-3.000$ mm), dengan bulan basah (curah hujan ≥ 200 mm bln^{-1}) terjadi selama 5-7 bulan, dan tanpa bulan kering (curah hujan < 100 mm bln^{-1}). Suhu udara rata-rata tahunan $27-29$ °C. Hasil pendugaan neraca air bahwa daerah penelitian mempunyai rejim kelembaban tanah udik, dan rejim suhu isohipertermik (BBSDLP 2011, 2012, 2014).

Geologi

Menurut formasi geologi, daerah penelitian merupakan blok perbukitan dan pegunungan sangat luas yang bersusunan Formasi Komplek Ultramafik (Ku; MTosu) dan berumur Kapur (Simandjuntak *et al.* 1991, 1993), Rusmana *et al.* (1993), terdiri atas hazburgit, peridotit, serpentinit, dunit, diabas, gabro, basal, dolerit, dan amfibolit. Di sekitar Pomala (Kolaka, Sulawesi Tenggara) dan Soroako (Luwu Timur, Sulawesi Selatan) dieksploitasi untuk tambang nikel.

Pengambilan dan Analisis Contoh Tanah

Sebanyak enam profil perwakilan telah dipilih dari hasil pemetaan tanah semidetil (skala 1:50.000) di Kabupaten Kolaka, Luwu Timur dan Morowali. Contoh tanah profil perwakilan dianalisis di Laboratorium Kimia Balai Penelitian Tanah Bogor, meliputi : kandungan logam berat, komposisi mineralogi (pasir dan liat), serta sifat fisika dan kimia tanah. Logam berat dan unsur mikro (Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cr, Mo) ditetapkan dengan metode pengabuan basah menggunakan campuran asam pekat HNO_3 dan

Tabel 2. Lokasi profil tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik di Sulawesi.

Table 2. Location of soil profiles derived from ultrabasic rock in Sulawesi.

Profil	Koordinat geografis	Elevasi /Relief		Penggunaan Lahan	Curah hujan tahunan	Lokasi
		m dpl	% lereng			
HK-16	02°34'30"LS- 120° 52' 30"BT	85	Bergelombang (10)	Kebun campuran	Malili, 2953	Angkona, Luwu Timur, Sulawesi Selatan
UY-16	02° 38' 17" LS-121° 12' 06" BT	174	Berbukit (25)	Semak belukar	Soroako, 2737	Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan
SL-34	02° 36' 24" LS-121° 05' 53" BT	40	Berombak (8)	Tegalan	Malili, 2953	Malili, Luwu Timur, Sulawesi Selatan
SL-09	04° 12' 08" LS-121° 35' 22" BT	40	Bergelombang (8)	Semak belukar	Kolaka, 2027	Pomala, Kolaka, Sulawesi Tenggara
RM-07	02° 55' 54" LS-121° 06' 18" BT	52	Berombak (5)	Semak belukar	Kolaka, 2027	Tolala, Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara
YY-09	02° 04'20"LS-121°29'30" BT	267	Berbukit (20)	Hutan akasia	Bungku, 2585	Bahodopi, Morowali, Sulawesi Tengah

HClO₄, diukur dengan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Komposisi mineral fraksi pasir total ditetapkan dengan metode line counting menggunakan mikroskop polarisasi (Buurman 1990, Pramuji dan Bastaman 2009), sedangkan tipe mineral liat ditetapkan menggunakan X-Ray Diffractometer dengan penjenjuran Mg²⁺.

Analisis sifat fisika dan kimia tanah meliputi: tekstur tiga fraksi (pasir, debu, liat) dengan metode pipet, pH-H₂O dan pH-KCl (rasio 1:2,5), kandungan C organik (metode Walkley dan Black) dan N total (metode Kjeldahl), kandungan P₂O₅ dan K₂O potensial (ekstraksi HCl 25%), P-tersedia dengan ekstrak Olsen untuk tanah pH >5,0 dan ekstrak Bray 1 untuk pH <5,0. Retensi fosfat ditetapkan melalui metode Blackmore (1987). Kandungan basa-basa dapat ditukar (Ca, Mg, K, dan Na) dan kapasitas tukar kation (KTK) tanah ditetapkan dalam ekstraksi ammonium asetat pH 7,0. Kandungan Al dan H dapat ditukar ditetapkan dalam ekstraksi KCl 1N. KTK-liat diduga menurut formula: [(KTK-tanah x 100) : %liat] (Buurman 1980). Prosedur analisis mengacu pada Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk (Eviati dan Sulaeman 2012). Klasifikasi tanah ditetapkan menurut sistem Soil Taxonomy (Soil Surveys Staff 2014) sampai tingkat famili, dan diberikan padanannya menurut sistem Klasifikasi Tanah Nasional (Subardja *et al.* 2016).

Hasil dan Pembahasan

Sifat Morfologi dan Fisik Tanah

Sifat morfologi dan fisik tanah yang menonjol pada tanah-tanah dari batuan ultrabasik adalah warna tanah merah gelap/maron (hue 2,5YR -10R) dengan value 3-4 dan khroma 3-6, dan relatif homogen mulai dari permukaan sampai kedalaman dasar profil (Tabel 3). Warna horison A sedikit lebih gelap dibandingkan dengan horison B, disebabkan kandungan bahan organik pada

lebih tinggi pada horison tersebut. Merahnya warna tanah sebagai indikasi bahwa tanah telah mengalami pelapukan lanjut (Herbillon 1980). Menurut Hardjowigeno (1993), dalam proses pelapukan tanah, ion-ion mudah larut seperti Ca dan Mg akan mudah tercuci, sedangkan ion yang sukar larut seperti Fe dan Al akan tinggal di dalam tanah membentuk oksida Fe dan Al. Schwertmann (1988) menjelaskan warna merah pada tanah berhubungan dengan kandungan oksida besi, goetit dan hematit adalah mineral oksida besi yang sering dijumpai pada tanah-tanah merah (Hebillon 1980).

Solum tanah (horizon A dan B) sangat tebal, struktur granular sampai gumpal membulat, konsistensi gembur, dan batas antar horison umumnya baur. Ketebalan horison A bervariasi antara 7-20 cm dan horison B-oksik antara 100-185 cm. Tekstur tanah umumnya liat berdebu sampai liat mulai dari lapisan atas sampai lapisan bawah, dan tidak memperlihatkan adanya kenaikan/iluviasi liat pada semua profil yang diteliti. Kandungan liat berkisar antara 34-73% dan kandungan pasir 4-38%. Sifat-sifat morfologi dan fisik tanah demikian cukup menguntungkan untuk pertanian, karena tanah mudah diolah dan perakaran tanaman dapat berkembang dengan baik.

Mineralogi

Komposisi mineral fraksi pasir

Data komposisi mineral fraksi pasir dapat dimanfaatkan untuk menduga jenis atau sumber bahan induk, serta cadangan mineral mudah lapuk sebagai sumber hara di dalam tanah. Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa susunan mineral fraksi pasir pada semua profil didominasi oleh mineral resisten terutama opak, kuarsa dan garnet. Terdapat enstatit dan klorit yang relatif sukar lapuk dalam jumlah sangat sedikit, terutama pada profil UY-16. Enstatit adalah mineral penyusun batuan peridotit.

Tabel 3. Karakteristik morfologi tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik di Sulawesi

Table 3. The morphological characteristics of soil derived from ultrabasic rock in Sulawesi.

Profil	Horison	Kedalaman cm	Warna	Tekstur				Struktur	Konsistensi	Batas horison
				Pasir	Debu	Liat	Kelas			
				----- % -----						
<i>HK-16: Angkona, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>										
A	0-20	2,5YR3/2	7	41	52	SiC	Granular	Gembur	Jelas rata	
Bo1	20-55	2,5YR3/3	6	50	44	SiC	Granular	Gembur	Berangsur	
Bo2	55-60	2,5YR4/3	9	37	54	C	Granular	Gembur	Baur	
Bo3	60-100	2,5YR4/3	11	33	56	C	Gumpal membulat	Gembur	Baur	
Bo4	100-150	2,5YR4/4	10	42	48	SiC	Gumpal membulat	Gembur	-	
<i>UY-16: Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>										
A	0-15	5YR3/4	22	16	62	C	Gumpal membulat	Gembur	Jelas	
Bw1	15-41	5YR3/4	38	20	42	C	Gumpal membulat	Gembur	Baur	
Bw2	41-69	5YR3/4	14	24	62	C	Gumpal membulat	Gembur	Baur	
Bo1	69-99	2,5YR3/3	14	24	62	C	Gumpal membulat	Gembur	Baur	
Bo2	99-140	2,5YR3/3	10	28	62	C	Gumpal membulat	Gembur	Baur	
Bo3	140-200	2,5YR3/4	6	32	62	C	Gumpal membulat	Gembur	-	
<i>SL-34: Malili, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>										
A	0-16	10R 4/2	9	73	18	Si	Granular	Gembur	Jelas	
Bo1	16-49	10R 4/3	7	50	43	SiC	Granular	Gembur	Baur	
Bo2	49-81	10R 4/3	5	67	28	SiC	Granular	Gembur	Baur	
Bo3	81-105	10 R 4/4	11	70	19	Si	Granular	Gembur	Baur	
<i>SL-09: Pomala, Kolaka, Sulawesi Tenggara</i>										
A	0-10	10R 3/4	8	40	52	SiC	Granular	Gembur	Jelas	
Bo1	10-45	10R 4/4	8	45	47	SiC	Granular	Gembur	Baur	
Bo2	45-83	10R 3/4	7	45	48	SiC	Granular	Gembur	Baur	
Bo3	83-110	10R 3/6	10	24	66	C	Granular	Gembur	Baur	
Bo4	110-120	10R3/4	-	-	-	C	Granular	Gembur	-	
<i>RM-07: Tolala, Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara</i>										
A	0-7	2,5YR 3/4	6	44	50	SiC	Gumpal membulat	Gembur	Jelas	
Bo1	7-32	2,5YR 4/4	4	59	37	SiC	Gumpal membulat	Gembur	Baur	
Bo2	32-66	2,5YR 4/6	7	59	34	SiC	Gumpal membulat	Gembur	Baur	
Bo3	66-92	2,5YR 4/4	6	60	34	SiC	Gumpal membulat	Gembur	-	
<i>YY-09: Bahodopi, Morowali, Sulawesi Tengah</i>										
A	0-20	5YR5/8	17	25	58	C	Granular	Gembur	Jelas	
Bo1	20-43	2,5YR4/6	10	36	54	C	Granular	Gembur	Baur	
Bo2	43-95	2,5YR4/8	6	31	63	C	Granular	Gembur	Baur	
Bo3	95-120	2,5YR5/8	6	21	73	C	Granular	Gembur	-	

Keterangan: 2,5YR3/2 = merah kehitaman, 2,5YR3/3-3/4 = coklat kelap kemerahan, 2,5YR4/3-4/4 = coklat kemerahan, 2,5YR4/6-5/8 = merah; 5YR3/4 = coklat gelap kemerahan, 5YR5/8 = merah kekuningan, 10R3/4 = merah kehitaman, 10R3/6 = merah tua, 10R4/2-4/4 = merah lembut; Si = debu, SiC = Liat berdebu, C = Liat

Mineral mudah lapuk, seperti olivin sudah habis, kecuali sedikit pada lapisan atas profil SL-34; bitowntit, anortit dan hiperstin pada profil HK-16. Hal ini mencerminkan cadangan mineral mudah lapuk sudah habis karena pelapukan yang terjadi sangat intensif. Menurut Bonifacio *et al.* (1997), Lee *et al.* (2004), Wilson (2004), batuan ultrabasik sangat mudah melapuk di dalam tanah,

menyumbangkan Ni, Cr, Mg dan Fe dalam jumlah tinggi. Diantara keenam profil perwakilan tersebut, profil YY-09 dan SL-09 adalah profil yang paling lapuk dan paling miskin cadangan mineral mudah lapuknya. Hal ini sebagai indikasi tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik di Sulawesi berada pada fase akhir pelapukan atau *final stage of weathering* (Buurman 1990).

Tabel 4. Komposisi mineral fraksi pasir tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik Sulawesi
 Table 4. Mineral composition of sand fraction of soils derived from ultrabasic rock in Sulawesi

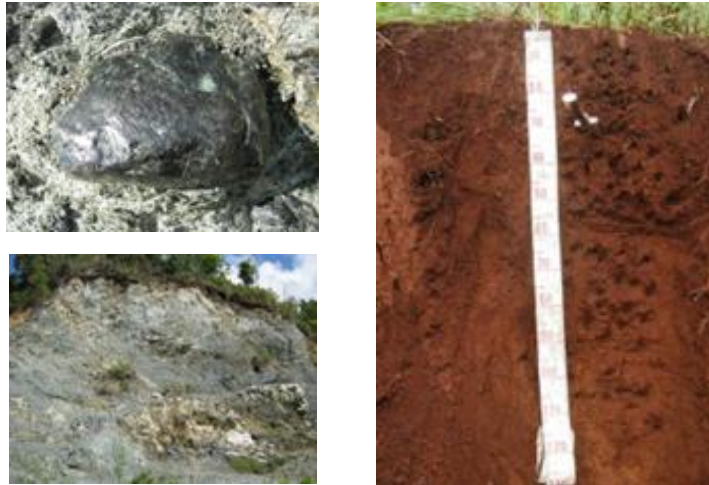
Profil	Kedalaman (cm)	%										Fragmen batuan							
		Opak	Zirkon	Kuarsa keruh	Kuarsa jernih	Konkresi besi	Limonit	SiO ₂ organik	Hidragilit	Lapukan mineral	Labradorit	Bitownit	Anorit	Hiperstin	Olivin	Garnet	Enstatit	Klorit	
<i>HK-16: Angkona, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>																			
	0-20	73	sp	5	3	sp	-	3	-	12	-	-	1	2	1	-	-	-	
	20-55	71	-	4	3	1	sp	5	-	12	sp	-	sp	3	1	-	-	-	
	55-60	72	sp	4	3	sp	1	3	-	12	-	-	1	4	sp	-	-	-	
	60-100	75	sp	4	2	-	-	4	-	10	-	-	sp	4	1	-	-	-	
	100-150	74	sp	5	3	-	-	3	-	10	-	-	sp	4	1	-	-	-	
<i>UY-16: Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>																			
	0-15	51	-	1	2	-	1	1	-	1	2	-	-	-	-	-	29	11	1
	15-41	40	-	2	3	-	-	sp	-	1	3	-	-	-	-	-	26	24	1
	41-69	57	-	1	3	-	-	sp	-	sp	sp	-	-	-	-	-	28	10	1
	69-99	64	-	3	6	-	1	sp	-	sp	1	-	-	-	-	-	17	7	1
<i>SL-34: Malili, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>																			
	0-16	73	-	2	3	-	5	-	-	2	2	2	2	-	-	2	-	9	-
	16-49	79	-	2	2	-	7	-	-	1	1	sp	sp	-	-	sp	-	8	-
	49-81	79	-	1	4	-	7	-	-	2	sp	sp	sp	-	-	sp	-	7	-
	81-105	62	-	6	4	-	15	-	-	3	sp	sp	sp	-	-	sp	-	10	-
<i>SL-09: Pomala, Kolaka, Sulawesi Tenggara</i>																			
	0-10	76	-	10	8	-	5	-	sp	-	sp	-	-	-	-	-	-	1	-
	10-45	74	-	12	9	-	5	-	sp	sp	sp	-	-	-	-	-	-	sp	-
	45-83	61	-	17	12	-	3	sp	2	1	2	-	-	-	-	-	-	2	-
	83-110	70	-	15	10	-	3	sp	1	sp	sp	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>RM-07: Tolala, Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara</i>																			
	0-7	71	sp	12	13	-	sp	-	-	sp	sp	-	sp	-	sp	-	-	4	-
	7-32	71	-	11	12	-	1	sp	-	-	sp	-	-	-	-	-	-	5	-
	32-66	69	-	11	12	-	2	-	-	sp	sp	-	sp	-	-	-	-	6	-
	66-92	74	-	10	11	-	4	-	-	sp	sp	-	-	-	-	-	-	1	-
<i>YY-09: Bahodopi, Morowali, Sulawesi Tengah</i>																			
	0-20	85	-	10	-	3	-	sp	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20-43	85	-	10	-	3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keterangan sp = sporadic

Komposisi Mineral Fraksi Liat

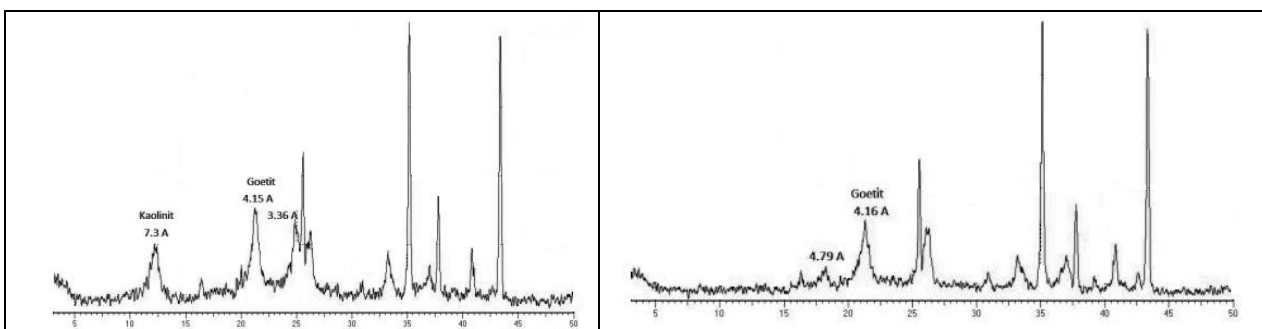
Komposisi mineral fraksi liat tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik pada profil terpilih SL-09 dan RM-07, menunjukkan mineral liat didominasi oleh kaolinit dan goetit masing-masing mempunyai puncak difraksi 7,3°A dan 4,15-4,16°A pada perlakuan penjujukan menggunakan Mg²⁺ (Gambar 3). Mineral kaolinit dan goetit merupakan hasil pelapukan mineral primer. Kaolinit mengalami alterasi dan pencucian kation-kation Ca dan

Mg, meninggalkan kation Fe, melalui proses reduksi kation Fe membentuk hidroksida besi yang ditunjukkan oleh dominasi goetit (Sudihardjo dan Siswanto 1991). Mineral ini membuat warna tanah menjadi merah (Herbillon 1980). Dominasi mineral kaolinit menyebabkan tanah mempunyai daya pertukaran kation rendah. Bolt *et al.* (1976) mengemukakan kaolinit mempunyai KTK 3-15 cmol(+)kg⁻¹. Disamping kaolinit dan goetit dijumpai kuarsa dalam jumlah sedikit ditunjukkan oleh puncak



Gambar 2. Singkapan batuan ultrabasik (peridotit, serpentinit) dan profil tanah yang terbentuk di daerah Soroako, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan.

Figure 2. Ultrabasic rock outcrop (peridotite, serpentinite) and soil profile in Soroako, Luwu Timur Regency, South Sulawesi.



Gambar 3. Difraktogram sinar-X perlakuan penjujukan Mg^{2+} profil terpilih: (a) Profil SL-09 (10-45 cm) dan (b) profil RM-07 (7-32 cm).

Figure 3. Difraktogram sinar-X perlakuan penjujukan Mg^{2+} profil terpilih: (a) Profil SL-09 (10-45 cm) dan (b) profil RM-07 (7-32 cm).

difraksi 3,36 °A. Mineral kuarsa berupa kuarsa halus sering dijumpai pada fraksi mineral liat pada tanah-tanah yang mengalami pelapukan lanjut.

Kaolinit pada profil SL-09 tampaknya mempunyai pola difraksi agak melebar mengindikasikan proses kristalisasi belum sempurna, berbeda dengan bentuk yang lancip atau tajam yang menunjukkan kristalinisasi sudah sempurna. Dominasi mineral oksida besi goetit yang bermuatan positif pada profil tersebut dapat menyebabkan fiksasi P yang kuat (Mohr *et al.* 1972).

Sifat Kimia Tanah

Sifat kimia tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik di Sulawesi disajikan pada Tabel 5 dan 6. Pada tabel tersebut terlihat reaksi tanah (pH-H₂O) umumnya

tergolong masam (pH < 5,5), kecuali profil SL-34 dan UY-16 termasuk agak masam sampai netral (pH 6,2-7,0). Delta pH ($\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$) umumnya negatif, kecuali profil YY-09 yang mempunyai ΔpH positif. ΔpH negatif menunjukkan muatan koloid tanah didominasi oleh muatan negatif, sehingga masih mampu melakukan pertukaran kation. Sebaliknya ΔpH positif, muatan koloid tanah tidak mampu lagi melakukan pertukaran kation (Tan 1992), yang dicerminkan oleh KTK-liat dan KTK-efektif yang sangat rendah.

Kandungan bahan organik (C, N organik) umumnya rendah di lapisan atas dan sangat rendah di lapisan bawah, yang menurun secara teratur dengan bertambahnya kedalaman tanah. Kandungan P₂O₅ dan K₂O potensial umumnya rendah sampai sangat rendah. Demikian pula P-

tersedia termasuk rendah sampai sangat rendah. Retensi P pada profil HK-16 tergolong sedang (> 25%) dan pada UY-16 tergolong tinggi (> 50%). Menurut McGroddy *et al.* (2008), Fox and Kamprath (1970) tanah-tanah dengan retensi P tinggi dapat menahan/meretensi senyawa P yang diberikan ke tanah, sehingga menjadi kurang tersedia bagi tanaman.

Kandungan basa-basa dapat ditukar umumnya rendah. Dari data tersebut tampak bahwa kandungan Mg^{2+} lebih tinggi daripada Ca^{2+} , K^+ dan Na^+ , yang memperkuat bukti bahwa tanah berasal dari batuan ultrabasik yang kaya akan Mg. Hal ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan kation

di dalam tanah, konsekuensinya toksisitas Mg dan kekurangan kation lainnya (Anda 2012). KTK-tanah dan KTK-liat umumnya rendah (<16 $cmol(+)kg^{-1}$) sampai sangat rendah (<5 $cmol(+)kg^{-1}$). KTK-efektif (jumlah basa+ Al_{dd}) >1,5 $cmol(+)kg^{-1}$, kecuali profil YY-09 dan SL-34 mempunyai KTK efektif <1,5 $cmol(+)kg^{-1}$, yang mencirikan sifat acric (Soil Survey Staff 2014). Kejenuhan basa umumnya sedang (>35%) sampai tinggi (>50%), meskipun kandungan basa-basa dapat-tukarnya rendah. Kandungan Al-dapat tukar juga rendah sampai tak terdeteksi, sehingga kemungkinan tidak terjadi keracunan Al.

Tabel 5. pH, bahan organik, kandungan P_2O_5 dan K_2O serta retensi P pada tanah-tanah dari batuan ultrabasik di Sulawesi

Table 5. pH, organic matter, P_2O_5 , K_2O contents, and P-retention of soil derived from ultrabasic rock in Sulawesi

Profil	Kedalaman cm	pH		Bahan organik		HCl 25%		P_2O_5		Retensi P --%--
		H_2O	KCl	C	N	P_2O_5	K_2O	Olsen	Brayl	
				----- % -----		----mg/100g----		-----ppm-----		
<i>HK-16: Angkona, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>										
	0-20	5.2	4.8	2.00	0.22	31	16	-	3	23
	20-35	4.9	4.5	1.50	0.16	21	10	-	2	27
	35-60	5.0	4.8	0.78	0.08	22	9	-	1	27
	60-100	5.0	4.9	0.44	0.04	20	4	-	1	-
	100-150	5.0	4.3	0.38	0.03	13	7	-	1	-
<i>UY-16: Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>										
	0-15	6.7	5.9	1.26	0.15	14	14	5	-	58
	15-41	6.4	5.6	1.25	0.04	23	8	16	-	64
	41-69	6.4	5.6	1.30	0.24	14	14	3	-	52
	69-99	6.3	5.5	2.68	0.14	3	7	2	-	74
	99-140	6.2	5.4	0.48	0.09	3	7	12	-	82
	140-200	6.3	5.5	0.54	0.11	4	8	3	-	92
<i>SL-34: Malili, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>										
	0-16	6,6	4,1	2,96	0,23	13	7	10	-	-
	16-49	6,6	5,1	0,85	0,07	11	1	8	-	-
	49-81	6,8	5,5	0,61	0,06	11	4	8	-	-
	81-105	7,0	5,8	0,58	0,05	10	2	7	-	-
<i>SL-09: Pomala, Kolaka, Sulawesi Tenggara</i>										
	0-10	4,5	4,3	1,90	0,19	13	10	-	19,5	-
	10-45	4,8	4,4	1,15	0,09	10	5	-	9,1	-
	45-83	4,5	4,3	1,46	0,11	12	4	-	11,2	-
	83-110	4,4	4,0	0,59	0,05	11	2	-	9,1	-
<i>RM-07: Tolala, Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara</i>										
	0-7	4,0	3,6	2,31	0,21	48	2	-	10,0	-
	7-32	3,9	3,1	1,29	0,11	40	1	-	6,4	-
	32-66	4,1	3,8	0,95	0,08	31	1	-	5,5	-
	66-92	4,2	3,7	0,83	0,08	28	2	-	3,8	-
<i>YY-09: Bahodopi, Morowali, Sulawesi Tengah</i>										
	0-21	5.3	5.4	1.70	0.13	3	6	16.6	-	-
	21-43	5.5	6.0	0.88	0.07	2	4	9.1	-	-
	43-95	5.4	6.1	0.59	0.05	2	4	19.0	-	-
	95-120	5.4	6.1	0.50	0.05	2	4	8.0	-	-

Tabel 6. Basa-basa dapat tukar, kapasitas tukar kation, kejenuhan basa dan kemasaman dapat tukar pada tanah-tanah dari batuan ultrabasik di Sulawesi

Table 6. Exchangeable bases, CEC, base saturation and exchangeable acidity of soil derived from ultrabasic rock in Sulawesi

Profil	Kedalaman	Nilai Tukar Kation (NH_4 -asetat 1N, pH 7)							KCI 1N		
		Ca	Mg	K	Na	Jumlah	KTK-t	KTK-l	KB	Al 3+	H +
		----- $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ -----							%	$\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$	
<i>HK-16: Angkona, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>											
	0-20	3.00	2.92	0.31	0.24	6.47	12.81	25	51	0.12	0.21
	20-35	1.05	0.17	0.20	0.10	1.52	4.06	9	37	0.09	0.18
	35-60	1.16	1.77	0.17	0.74	3.84	7.82	14	49	0.10	0.16
	60-100	0.77	1.54	0.07	0.36	2.74	5.16	9	53	-	-
	100-150	0.68	2.84	0.13	0.13	3.78	7.33	15	52	-	-
<i>UY-16: Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>											
	0-15	3.69	6.26	0.50	0.14	10.59	15.86	26	67	0.12	0.12
	15-41	3.60	6.38	0.14	0.18	10.30	15.67	37	66	0.12	0.07
	41-69	7.66	5.26	0.23	0.06	13.21	16.28	26	81	0.12	0.12
	69-99	0.99	1.44	0.12	0.06	2.61	6.10	10	43	0.11	0.11
	99-140	1.05	1.42	0.15	0.10	2.72	6.84	11	40	0.12	0.12
	140-200	2.10	1.09	0.18	0.12	3.49	6.33	10	55	0.09	0.09
<i>SL-34: Malili, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>											
	0-16	0,47	0,76	0,13	0,28	1,64	7,79	43	21	-	-
	16-49	0,53	0,64	0,02	1,60	2,79	2,43	6	>100	-	-
	49-81	0,52	0,40	0,08	0,17	1,17	0,38	1	>100	-	-
	81-105	0,44	0,37	0,03	0,37	1,21	0,34	2	>100	-	-
<i>SL-09: Pomala, Kolaka, Sulawesi Tenggara</i>											
	0-10	0,66	1,16	0,21	0,16	2,19	4,67	9	47	-	-
	10-45	0,34	1,21	0,12	0,11	1,78	3,60	8	49	-	-
	45-83	0,31	0,91	0,08	0,11	1,41	3,53	7	40	-	-
	83-110	0,36	0,50	0,04	0,18	1,08	2,23	3	48	-	-
<i>RM-07: Tolala, Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara</i>											
	0-7	0,33	0,33	0,03	0,08	0,77	1,76	4	44	0,19	0,17
	7-32	0,26	0,21	0,01	0,05	0,53	1,58	4	34	0,00	0,04
	32-66	0,28	0,25	0,02	0,05	0,60	1,34	4	45	0,00	0,02
	66-92	0,31	0,25	0,03	0,07	0,66	1,39	4	47	0,00	0,00
<i>YY-09: Bahodopi, Morowali, Sulawesi Tengah</i>											
YY9/I	0-21	0.53	0.50	0.09	0.11	1.23	3	6	36	0.00	0.00
II	21-43	0.49	0.12	0.05	0.25	0.91	1	3	63	0.00	0.00
III	43-95	0.54	0.17	0.05	0.04	0.80	1	1	100	0.00	0.00
IV	95-120	0.38	0.18	0.05	0.05	0.66	1	1	77	0.00	0.00

Kandungan Logam Berat dan unsur mikro

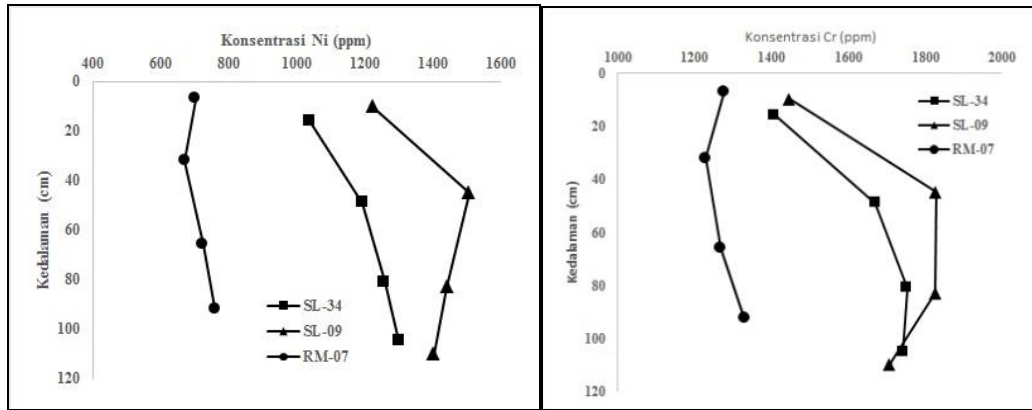
Kandungan logam berat dan unsur mikro pada profil terpilih dari batuan ultrabasik di Sulawesi disajikan pada Tabel 7. Pada tabel tersebut terlihat kandungan logam berat seperti nikel (Ni) dan kromium (Cr) sangat tinggi di ketiga profil, masing-masing 670-1508 ppm dan 1230-1829 ppm. Tingginya konsentrasi Ni dan Cr pada profil tanah tersebut disebabkan batuan ultrabasik mengandung

logam Ni dan Cr dalam konsentrasi tinggi (Graham *et al.* 1990, Rowell 1994, Lee *et al.* 2004), yang mungkin terakumulasi selama proses pedogenesis, bahkan dalam Musta and Tan (1996) dinyatakan kandungan Cr dapat dua kali lebih tinggi di dalam tanah dibandingkan di dalam batuan. Kandungan Ni dan Cr lebih rendah di lapisan atas, dan meningkat dengan bertambahnya kedalaman tanah (Gambar 4). Hal ini kemungkinan berhubungan dengan kandungan bahan organik tanah.

Kandungan logam Ni tertinggi terdapat pada profil SL-09 (1223-1508 ppm), diikuti profil SL-34 (1038-1301 ppm), dan profil RM-07 (670-760 ppm), demikian juga logam Cr, kandungan tertinggi terdapat pada profil SL-09 (1449-1829 ppm), diikuti profil SL-34 (1409-1754 ppm), dan profil RM-07 (1230-1330 ppm). Kandungan Ni tinggi juga dijumpai Anda (2012) pada tanah-tanah dari batuan ultrabasik (serpentinit) dari Kolaka (Provinsi Sulawesi Tenggara), bahkan

kandungan logam Cr mencapai 4695 ppm.

Selain Ni dan Cr, konsentrasi boron (B) dan mangan (Mn) juga sangat tinggi, terutama pada profil SL-09, kandungan B dan Mn masing-masing 1836-2129 ppm dan 4011-4914 ppm; diikuti profil RM-07 masing-masing 1680-2227 ppm dan 247-502 ppm; dan profil SL-34 masing-masing 484-672 ppm dan 15-34 ppm. Terdapat Zn sekitar 72-191 ppm; Cu 44-79 ppm; dan Fe 7-29 ppm.



(A) (B)

Gambar 4. Konsentrasi Ni (A) dan Cr (B) pada tanah-tanah dari batuan ultrabasik di Sulawesi
 Figure 4. Ni (A) and Cr (B) concentration of soil derived from ultrabasic rocks in Sulawesi

Tabel 7. Kandungan logam berat pada profil tanah terpilih dari batuan ultrabasik di Sulawesi

Table 7. Heavy metal content of selected soil profile derived from ultrabasic rock in Sulawesi

Profil	Kedalaman cm	Terhadap contoh kering 105 °C							
		Fe	Mn	Cu	Zn	B	Ni	Cr	Mo
<i>SL-34: Malili, Luwu Timur, Sulawesi Selatan</i>									
	0-16	6,52	15	52	151	484	1038	1409	td
	16-49	7,35	20	54	169	609	1195	1671	td
	49-81	7,44	30	62	191	629	1260	1754	td
	81-105	7,62	34	64	184	672	1301	1743	td
<i>SL-09: Pomala, Kolaka, Sulawesi Tenggara</i>									
	0-10	22,43	4132	79	140	1855	1223	1449	td
	10-45	27,49	4914	73	132	1836	1508	1829	td
	45-83	26,08	4547	71	135	2051	1443	1827	td
	83-110	26,22	4011	77	137	2129	1404	1707	td
<i>RM-07: Tolala, Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara</i>									
	0-7	26,06	247	44	73	1680	702	1278	td
	7-32	26,10	317	45	72	2227	670	1230	td
	32-66	28,15	502	53	78	2188	725	1269	td
	66-92	29,43	410	55	81	2227	760	1330	td

Keterangan: td =tidak ditemukan

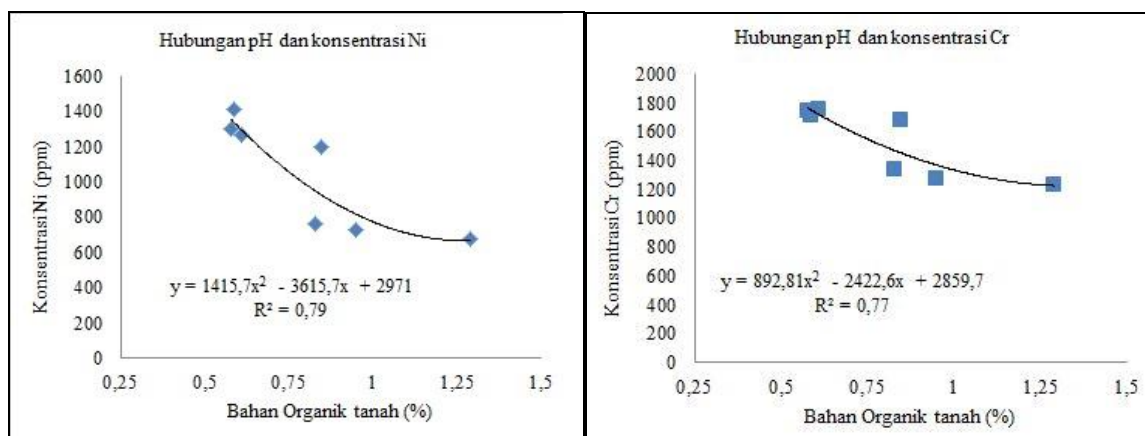
ICRCL (1987) dan Wild (1993) menetapkan batas aman konsentrasi beberapa logam berat di negara Eropa, untuk Ni 70 ppm, Cr 600-1000 ppm, B 3 ppm, Cu 130 ppm dan Zn 300 ppm. Sementara Chen (1998) pada banyak negara (AS, Inggris, Jerman, Perancis, Australia, Kanada, Jepang dan Taiwan) untuk Cr dan Ni masing-masing 50-600 mgkg⁻¹ dan 31-120 mgkg⁻¹. Mengacu pada nilai ambang batas tersebut, maka konsentrasi logam berat Ni dan Cr pada tanah-tanah dari batuan ultrabasik di Sulawesi jauh melebihi batas aman yang ditetapkan, demikian juga dengan B; logam Zn pada profil SL-34 dan SL-09, dan Mn pada profil SL-09.

Menurut Rowell (1994) unsur-unsur seperti Zn, Cu, Pb, Cd, Hg, As, Ni, Cr, dan F pada konsentrasi tinggi umumnya beracun bagi tanaman, dimana Zn, Cu, Ni dan B mempengaruhi secara langsung terhadap tanaman, sedangkan Cd, Pb, Hg, Mo, As, Se, Cr dan F tidak secara langsung mempengaruhi tanaman, akan tetapi membahayakan kesehatan manusia dan hewan yang mengkonsumsinya. Berdasarkan hal tersebut, konsentrasi Ni, Cr, B, Zn dan Mn dapat menimbulkan masalah terhadap tanaman pertanian. Konsentrasi logam berat (Zn, Cu, Ni dan B) yang tinggi mengakibatkan keracunan pada tanaman, sedangkan logam Cr membahayakan kesehatan hewan dan manusia yang mengkonsumsinya. Jika dihubungkan konsentrasi Ni dan Cr dengan kandungan bahan organik di dalam tanah, terdapat *trend* bahwa konsentrasi logam berat Ni dan Cr menurun dengan meningkatnya bahan organik tanah (Gambar 5). Fox and Tan (1971), Musta (1995) mengemukakan bahwa keberadaan bahan organik tanah, oksida dan hidroksida pada tanah-tanah dari batuan ultrabasik (serpentinit) Sabah-Malaysia mengakibatkan kation Cr dan Ni terikat kuat dalam partikel tanah. Hal ini mengindikasikan bahwa

penambahan bahan organik dapat menjadi salah satu solusi untuk mengurangi kelarutan Ni dan Cr pada tanah-tanah dari batuan ultrabasik, termasuk tanah dari batuan ultrabasik di Sulawesi.

Banyak peneliti melaporkan kelarutan Ni dan Cr sangat tergantung pada pH, diantaranya McGrath (1995) mengemukakan kelarutan Ni tinggi pada pH < 6,0 dan KTK rendah, sedangkan kelarutan Cr rendah pada pH 4,0 dan mengendap pada pH > 5,5. Berdasarkan hal tersebut dapat dikemukakan bahwa kelarutan logam Ni dan Cr menurun dengan meningkatnya pH tanah. Oleh karena itu pemberian kapur dalam bentuk CaCO₃ untuk meningkatkan pH tanah menjadi solusi berikutnya guna mengurangi kelarutan Ni dan Cr di dalam tanah.

pH pada tanah-tanah yang berkembang dari batuan ultrabasik di Sulawesi berkisar antara 3,9-7,0. Pada kisaran pH tersebut, kelarutan logam Ni lebih tinggi dari logam Cr. Nilai $\Delta\text{pH} = (\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}})$ yang masih negatif sebagai indikasi permukaan koloid bermuatan negatif menyebabkan kation-kation Ni terikat kuat pada permukaan partikel tanah, sehingga menjadi lebih mudah terserap dan meracuni tanaman. Untuk itu, selain dua saran pengelolaan di atas, pengelolaan tanaman yaitu dengan menanam tanaman yang tidak dikonsumsi langsung, seperti tanaman kehutanan dapat diusulkan. Anda (2012) mengusulkan dua solusi untuk menekan risiko logam berat pada tanah dari batuan ultrabasik, yaitu: (i) perencanaan selektif berdasarkan kebijakan dengan mengalokasikan penggunaan tanah untuk tanaman yang tidak dimakan langsung (misalnya agroforestry untuk pabrik pulp, perkebunan karet atau tanaman hias), dan (ii) praktek manajemen khusus (misalnya meningkatkan pH tanah) untuk menekan ketersediaan logam berat.



Gambar 5. Hubungan konsentrasi Ni (A) dan Cr (B) dengan bahan organik tanah.

Figure 5. Relation of Ni (A) and Cr (B) concentration with soil organic matter

Tabel 8. Klasifikasi tanah-tanah dari batuan ultrabasik di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Tengah
 Table 8. Classifications of soils derived from ultrabasic rock in South Sulawesi, Southeast Sulawesi and Center Sulawesi.

Profil	Karakteristik/horison penciri	Sistem Klasifikasi Tanah	
		Kunci Taksonomi Tanah (Survey Staff, 2014)	Klasifikasi Tanah Nasional (Subardja et al., 2016)
HK-16: Angkona, Luwu Timur, Sulawesi Selatan	Horison penciri oksik, warna hue 2,5YR, KB >35%, KTK liat <16 cmol(+)/kg ⁻¹ , rejim kelembaban tanah udik, kelas mineralogi kaolinitik.	Rhodic Eutrudox, halus, kaolinitik, isohipertermik	Oksisol Eutrik
UY-16: Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan	Horison penciri oksik, warna hue 2,5YR, KB >35%, KTK efektif <12 cmol/kg ⁻¹ , pH-KCl >5,0, rejim kelembaban tanah udik, kelas mineralogi kaolinitik.	Rhodic Eutrudox, halus, kaolinitik, isohipertermik	Oksisol Eutrik
SL-34: Malili, Luwu Timur, Sulawesi Selatan	Horison penciri oksik, warna hue 10R, KB >35%, KTK liat <10 cmol(+)/kg ⁻¹ , KTK-efektif <1,5 cmol(+)/kg ⁻¹ , pH-KCl >5,0, rejim kelembaban tanah udik, kelas mineralogi kaolinitik.	Eutric Acrudox, halus, kaolinitik, isohipertermik	Oksisol Akrik
SL-09: Pomala, Kolaka, Sulawesi Tenggara	Horison penciri oksik, warna hue 10R, KB >35%, KTK liat <10 cmol(+)/kg ⁻¹ , rejim kelembaban tanah udik, kelas mineralogi kaolinitik.	Rhodic Eutrudox, halus, kaolinitik, isohipertermik	Oksisol Eutrik
RM-07: Tolala, Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara	Horison penciri oksik, warna hue 2,5YR, KB >35%, KTK liat <5 cmol(+)/kg ⁻¹ , rejim kelembaban tanah udik, kelas mineralogi kaolinitik.	Inceptic Eutrudox, halus, kaolinitik, isohipertermik	Oksisol Eutrik
YY-09: Bahodopi, Morowali, Sulawesi Tengah	Horison penciri oksik, warna hue 2,5YR, KB >35%, KTK liat <5 cmol(+)/kg ⁻¹ , KTK efektif <1,5 cmol(+)/kg ⁻¹ , pH-KCl >5,0, ΔpH (pH _{KCl} -pH _{H2O}) positif, rejim kelembaban tanah udik, kelas mineralogi kaolinitik.	Anionic Acrudox, halus, kaolinitik, isohipertermik	Oksisol Akrik

Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah ditetapkan menurut sistem Taksonomi Tanah (Soil Survey Staff 2014), dan padanannya menurut sistem Klasifikasi Tanah Nasional (Subardja et al. 2016) seperti pada Tabel 8. Tanah-tanah dari batuan ultrabasik di Sulawesi mempunyai Kejenuhan Basa > 35%, sehingga pada tingkat grup diklasifikasikan sebagai Eutrudox. Pada tingkat subgrup dibedakan atas Rhodic Eutrudox dan Inceptic Eutrudox. Tanah lain yang mempunyai Kejenuhan Basa > 35% dan KTK-efektif < 1,5 cmol/kg⁻¹, namun masih mempunyai ΔpH negatif, diklasifikasikan sebagai Eutric Acrudox, sedangkan tanah-tanah yang sudah memiliki ΔpH positif diklasifikasikan sebagai Anionic Acrudox.

Kesimpulan dan Saran

Tanah-tanah dari batuan ultrabasik (peridotit dan serpentinit) di Sulawesi telah mengalami pelapukan lanjut atau memasuki fase akhir pelapukan tanah (final stage of

weathering) ditunjukkan oleh warna tanah merah maron/merah gelap (hue 2,5YR-10YR), mineral pasir didominasi oleh mineral resisten, seperti opak, kuarsa, garnet, enstatit dan khlorit; dan mineral liat didominasi kaolinit dan goetit pada puncak difraksi 7,3°A dan 4,15-4,16°A.

Kesuburan tanah rendah sampai sangat rendah dicirikan oleh kandungan bahan organik, kadar P₂O₅ dan K₂O potensial dan P-tersedia rendah sampai sangat rendah. Basa-basa dapat ditukar rendah, kecuali Mg²⁺. KTK-tanah dan KTK-liat rendah (< 16 cmol(+)/kg⁻¹) sampai sangat rendah (< 5 cmol(+)/kg⁻¹). KTK-efektif (Σbasa+Al_{dd}) > 1,5 cmol(+)/kg⁻¹, kecuali profil YY-09 dan SL-34 mempunyai KTK efektif < 1,5 cmol(+)/kg⁻¹ mencirikan sifat acric. Tanah-tanah diklasifikasikan sebagai Rhodic Eutrudox, Inceptic Eutrudox, Eutric Acrudox dan Anionic Acrudox.

Konsentrasi Ni dan Cr sangat tinggi melebihi ambang batas (70 ppm untuk Ni dan 600-1000 ppm untuk Cr), masing-masing 670-1508 ppm dan 1230-1829 ppm. Konsentrasi boron (B) dan mangan (Mn) juga sangat tinggi, terutama pada profil SL-09. Kondisi ini dapat

menimbulkan masalah pada tanaman pertanian yang ditanam pada tanah-tanah dari batuan ultrabasik di Sulawesi.

Nilai pH berkisar 3,9-7,0 dan muatan koloid umumnya negatif, menyebabkan kelarutan logam Si lebih tinggi dari Cr, akibatnya kation-kation Ni terikat kuat pada permukaan partikel tanah, sehingga lebih mudah terserap dan meracuni tanaman. Oleh karena itu saran pengelolaan tanah untuk menekan kelarutan logam berat, terutama Si adalah: 1) pemberian bahan organik, 2) pemberian kapur pertanian dalam bentuk CaCO_3 , dan 3) penanaman tanaman yang tidak dikonsumsi langsung, misal tanaman kehutanan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan yang telah memfasilitasi penelitian melalui DIPA, juga kepada Bapak Ir. Hikmatullah, M.Sc yang banyak membantu dalam penulisan makalah ini.

Daftar Pustaka

- Alloway BJ. 1990. Heavy metals in Soil. Blackie. Glasgow.
- Anda M. 2012. Cation imbalance and heavy metal content of seven Indonesian soils as affected by elemental composition of parent rocks. *Geoderma* 189-190, 388-396.
- BBSDLP (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian). 2011. Laporan akhir tahun evaluasi potensi dan aktualisasi lahan mendukung ketahanan pangan danantisipasi perubahan iklim di Provinsi Maluku, Maluku Utara, Sulteng, Sultra, Sulsel dan Sulbar. Dok. No. 39/LA/BBSDLP/2011. Balai Besar Litbang SDL Pertanian, Bogor.
- BBSDLP (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian). 2012. Laporan akhir identifikasi dan evaluasi potensi SDL untuk pengembangan pertanian mendukung kawasan pengembangan komoditas tanaman pangan dan kakao di Sulawesi. Dok. No. 31/LA/BBSDLP/2012. Buku I: Naskah. Badan Litbang Pertanian, Bogor.
- BBSDLP (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian). 2014. Laporan akhir identifikasi dan evaluasi potensi SDL pengembangan pertanian di Nusa Tenggara, Kalimantan, Sulawesi, dan Maluku. Dok. No. 24/LA/BBSDLP/2014. Badan Litbang Pertanian, Bogor.
- Becquer T, Quantin C, Rotte-Capet S, Chanbaja J, Mustin C, Hebillon AJ. 2006. Sources of trace metals in Ferrasols in New Caledonia. *European Journal of Soil Science* 57, 200-213.
- Bolt GH, Bruggenwert MGM, Komphorst A. 1976. Adsorption of cation by soil. In: Bolt GH, Bruggenwert MGM (Ed.), *Soil Chemistry. A. Basic Elements*, Elsevier Sci., Amsterdam, pp. 54-95.
- Bonifacio E, Zanini E, Boero V, Franchini-Angela M. 1997. Pedogenesis in a soil catena on serpentinite in north-western Italy. *Geoderma* 75, 33-51.
- Buurman P. 1990. Chemical, physical, and mineralogical characteristics for the soil data base. Technical Report No.7, Version 2.1. Land Resource Evaluation and Planning Project, Soil Data Base Management. Center for Soil and Agroclimate Research, Bogor.
- Buurman P, Soperaptohardjo M. 1980. Oxisols and associated soils on ultramafic and felsic volcanic rocks in Indonesia. p 71-90. In Buurman P (Ed) *Red Soils in Indonesia*. Agric. Res. Report 889. Bulletin No.5. Soil Research Institute, Bogor.
- Chen ZS. 1998. The management of contaminated soils remediation programmes. *Land Contamination and Reclamation* 6, 223-237.
- Eviati dan Sulaeman. 2012. *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Edisi 2. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Fox JED, Tan TH. 1971. Soils and forest on an ultrabasic hill, north-east of Ranau, Sabah. *Journal of Tropical Geography*, 32: 38-48.
- Fox RL, Kamprath EJ. 1970. Phosphate sorption isotherm for evaluating the phosphate requirement of soils. *Soil Science Society of America Proceeding* 34: 902-907.
- Goff F, Lackner. 1998. Carbon dioxide sequestering using ultramafic rocks. *Environmental Geosciences* (1998) 5 (3): 89-101.
- Graham RC, Diallo MM, Lund LJ. 1990. Soils and mineral weathering on phyllite colluvium and serpentinite in northwestern California. *Soil Science Society of America Journal* 54, 1682-1690.
- Herbillon AJ. 1980. Mineralogy of oxisols and oxic materials. In B.K.G. Theng (Eds.). *Soil with variable charge*. Offset Publication. New Zealand. P. 109-146.
- Hardjowigeno S. 1993. *Klasifikasi tanah dan pedogenesis*. Akademika Pressindo. Jakarta
- ICRCL. 1987. *Guidance on the assessment and redevelopment of contaminated land*. ICRCL 58/83 2nd edition. CDEP/EPTS. Departemen of Environment, London.
- Lee BD, Graham RC, Laurent TE, Amrhein C. 2004. Pedogenesis in wetland meadow and surrounding serpentinitic landslide terrain, northern California, USA. *Geoderma* 118, 303-320.
- McGrath PS. 1995. Chromium and Nickel; In: *Heavy metals in Soil* 2nd Ed (Ed. Alloway, B.J.). Blackie. Academic & Professional, London.
- McGroddy ME, Silver WL, de Oliveira Jr RC, de Mello WZ, Keller M. 2008. Retention of phosphorus in highly weathered soils under a lowland Amazonian forest ecosystem, J. *Geophys.*
- Mohr ECJ, Van Baren FA, Van Schuylenborgh J. 1972. *Tropical soils. A comprehensive study of their genesis*. third edition. Mouton-Ichtiar Baru-Van Hoeve, The Hague, Paris, Jakarta.
- Musta B, Md Tan M. 1996. Perilaku beberapa unsur mayor dan unsur surih dalam profil Luluhawa batuan Basalt di Segamat Johor. *Sains Malaysia*, Vol. 25 (1): 1-18.

- Pramuji, Bastaman M. 2009. Teknik analisis mineral tanah untuk menduga cadangan sumber hara. *Bulletin Teknik Pertanian* 14 (2):80-82.
- Prasetyo BH, Sudihardjo AM, Dai J. 1988. Karakteristik mineralogi batuan ultrabasik di daerah Tompira, Sulawesi Tengah. Hal. 61-65. Dalam Kurnia *et al.* (Eds) Pros. Pertemuan Teknis Penelitian Tanah. Cipayung 18-20 Maret 1986. Pusat Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian, Bogor.
- Rowell DL. 1994. *Soil Science: Methods and applications*. Longman Scientific and Tehnical. United Kingdom.
- Rusmana E, Sukido, Sukarna D, Haryono E, Simandjuntak TO. 1993. Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari, Sulawesi, skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Schwertmann U. 1988. Some properties of soil and synthetic iron oxides. In Stuci JW, Goodman BA, Schwertmann U (Eds). *Iron in Soils and Clay Minerals*. NATO ASI Series. Series C: Mathematican and Physical Science. 127:203-250.
- Shallari S, Schwartz C, Hasko A, Morel JL. 1998. Heavy metals in soils and plants of serpentine and industrial sites of Albania. *The Science of the Total Environment* 209, 133–142.
- Simandjuntak TO, Rusnama E, Surono, Supandjono JB. 1991. Peta geologi lembar Malili, Sulawesi, skala 1:250.000. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Simandjuntak TO, Surono, Sukido. 1993. Peta geologi lembar Kolaka, Sulawesi, skala 1: 250.000. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. USDA Natural Resources Conservation Service. Washington DC.
- Subagyo H, Suharta N, Siswanto AB. 2000. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. Hlm 21-66. Dalam Sumberdaya lahan Indonesia dan pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor.
- Subardja D, Ritung S, Anda M, Sukarman, Suryani E, Subandiono RE. 2016. *Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional*. Edisi 2. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Bogor. 53 hal.
- Sudihardjo AM, Dai J. 1989. Karakterisasi tanah-tanah merah berbatuan induk ultrabasik menurut toposekuen di daerah Puriala, Sulawesi Tenggara. Hal. 149-155. Dalam Kurnia *et al.* (Eds) Pros. Pertemuan Teknis Penelitian Tanah. Bogor, 18-20 Juni 1987. Pusat Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian, Bogor.
- Suhardjo H. 1988. Sekuen keadaan tanah di daerah batuan basis Sulawesi Tenggara. Hal. 97-104. Dalam Kurnia *et al.* (1988) *Risalah Hasil Penelitian Tanah*. Pusat Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian, Bogor.
- Sudihardjo AM, Siswanto AB. 1991. Genesa Humic Rhodic Haplustox dan Paleustollic Chromusterts berbatuan induk peridotit pada sekuan tanah Trobulu, Sulawesi Tenggara. Hal. 29-39. Dalam Kurnia *et al.* (Eds) Pros. Pertemuan Teknis Penelitian Tanah. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Suharta N, Soekardi M, Prasetyo BH. 1995. Karakterisasi tanah Oxisols sebagai dasar pengelolaan lahan: studi kasus pada Oxisols di Sanggauledo, Kalimantan Barat. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 13:9-20.
- Tan KH. 1992. *Principles of Soil Chemistry*. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York.
- Tufaila M, Sunarminto BH, Siddieq D, Syukur A. 2011. Characteristics of soil derived from ultramafic rocks for extensification of oil palm in Langgikima, North Konawe, Southeast Sulawesi. *AGRIVITA J.* 33 (1):93-102.
- Wild A. 1993. *Soil and the environment: An introduction*. Cambridge University Press.
- Wilson MJ. 2004. Weathering of the primary rock-forming minerals: processes, products and rates. *Clay Minerals* 39, 233–266.