

KARAKTERISTIK DAN PERMASALAHAN TANAH MARGINAL DARI BATUAN SEDIMEN MASAM DI KALIMANTAN

Nata Suharta

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Jalan Ir. H. Juanda No. 98, Bogor 16123
Telp. (0251) 8323012, Faks. (0251) 8311256, E-mail: bbsdlp@litbang.deptan.go.id

Diajukan: 01 April 2010; Diterima: 01 Juli 2010

ABSTRAK

Tanah marginal atau “suboptimal” memiliki potensi untuk pengembangan pertanian, baik tanaman pangan, perkebunan, maupun tanaman hutan. Secara alami, tanah ini mempunyai kesuburan yang rendah dan peka terhadap erosi. Di Kalimantan, tanah marginal diperkirakan menempati areal seluas 30,15 juta ha atau 57,22% dari luas pulau, dengan jenis tanah utama terdiri atas Ultisols, sedikit Oxisols, dan Inceptisols. Tanah marginal dari batuan sedimen masam memiliki karakteristik fisik yang sangat ditentukan oleh jenis bahan induk tanah (batu pasir atau batu liat). Sifat kimia tanahnya menunjukkan sifat yang sama, yaitu reaksi tanah masam, bahan organik bervariasi, serta nilai kapasitas tukar kation, basa-basa dapat tukar, kejenuhan basa, cadangan hara, dan status hara P dan K rendah, tetapi memiliki kejenuhan aluminium (Al) tinggi. Pengembangannya untuk pertanian, selain perlu memerhatikan sifat fisik dan kimia tanahnya, juga perlu mempertimbangkan kondisi reliefnya. Wilayah dengan relief datar hingga berombak dapat dimanfaatkan untuk tanaman pangan semusim, sedangkan tanaman tahunan atau perkebunan dan hutan tanaman industri dapat dikembangkan hingga relief berbukit. Teknologi pengelolaan lahan seperti pemupukan untuk memperbaiki kandungan hara tanah, pengapuran untuk meningkatkan pH tanah dan menurunkan reaktivitas Al, serta tindakan konservasi tanah sangat disarankan. Dewasa ini, tanah marginal banyak dimanfaatkan untuk tanaman perkebunan, seperti kelapa sawit, karet, lada, dan hutan tanaman industri, dan hanya sebagian kecil untuk tanaman pangan.

Kata kunci: Tanah marginal, batuan sedimen masam, Ultisols, Oxisols, Inceptisols, Kalimantan

ABSTRACT

Characteristics and problems of marginal soils from acid sedimentary rocks in Kalimantan

Marginal or suboptimal soils are potential for agricultural development such as food crops, estate crops, and industrial planted forest. These soils have low fertility status and susceptible to erosion. In Kalimantan, the marginal soils cover about 30.15 million ha or 57.22% of the total island area, with the major soils consist of Ultisols, few Oxisols, and Inceptisols. The physical properties of marginal soils from acid sedimentary rock are mostly influenced by the type of parent materials (sandstone or claystone), while the chemical properties showed the similar characteristics indicating acid soil reaction, vary in organic matter, and low in cation exchange capacity, exchangeable bases, base saturation, mineral reserve, as well as P and K potentials, but the Al saturation is high. Agricultural development on these soils, other than the physical and chemical properties, should consider the relief condition. The areas with flat to undulating relief are recommended for perennial or food crops, while the annual or estate crops and industrial planted forest can be developed until the hilly area. Land management such as fertilization to improve nutrient status, liming to increase soil reaction and to decrease Al reactivity, and soil conservation practice were recommended. In this time, most of the marginal soils were utilized for estate crops development, such as oil palm, rubber, pepper, and industrial planted forest, and only a limited area for food crops.

Keywords: Marginal soil, acid sedimentary rock, Ultisols, Oxisols, Inceptisols, Kalimantan

Tanah marginal atau “suboptimal” merupakan tanah yang potensial untuk pertanian, baik untuk tanaman pangan, tanaman perkebunan maupun tanaman hutan. Secara alami, kesuburan tanah marginal tergolong rendah. Hal ini

ditunjukkan oleh reaksi tanah yang masam, cadangan hara rendah, basa-basa dapat tukar dan kejenuhan basa rendah, sedangkan kejenuhan aluminium tinggi sampai sangat tinggi. Namun, Krantz (1958) mengemukakan bahwa penilaian

produktivitas suatu lahan bukan hanya berdasarkan kesuburan alami (*natural fertility*), tetapi juga respons tanah dan tanaman terhadap aplikasi teknologi pengelolaan lahan yang diterapkan. Melalui perbaikan teknologi pengelolaan

lahan, produktivitas suatu lahan dapat ditingkatkan secara signifikan dibandingkan dengan kondisi kesuburan tanahnya yang secara alami rendah.

Namun, dalam beberapa dekade terakhir, penilaian kesuburan tanah justru didasarkan pada kesuburan alami (*natural fertility*). Dalam kegiatan survei dan pemetaan tanah pada awal tahun 1960-an yang dilaksanakan oleh Lembaga Penelitian Tanah, yang sekarang berubah nama menjadi Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP), penilaian kelas kemampuan wilayah hanya didasarkan pada kualitas atau karakteristik tanah secara alami (*virgin soil*). Namun, sejak tahun 1970-an, penilaian kelas kesesuaian lahan dilakukan dari dua arah, yaitu berdasarkan kondisi teknologi yang diterapkan saat ini (*actual suitability*) dan kondisi teknologi dengan perbaikan disesuaikan dengan kualitas dan karakteristik lahannya (*potential suitability*).

Tanah marginal lahan kering di Kalimantan terbentuk dari batuan sedimen masam, yang dicirikan oleh cadangan hara yang tergolong sangat rendah. Batuan sedimen masam adalah batuan permukaan (eksogen) yang menempati volume 5% kerak bumi (daratan dan lautan). Batuan ini menjadi penting karena menutup hingga 75% permukaan bumi (Faucult dan Raqult 1984). Sifat batuan sedimen masam bervariasi karena pembentukannya bergantung pada sifat alami bahan pembentuknya, proses atau model pengendapan, dan kondisi lingkungan daerah pengendapan.

Berdasarkan Atlas Sumberdaya Tanah Eksplorasi Indonesia, penyebaran tanah dari batuan sedimen masam di Indonesia mencapai 40,10% atau 75,48 juta ha (Puslittanak 2000). Di Kalimantan, diperkirakan penyebaran tanah ini mencapai luas 30,15 juta ha atau 57,22% dari luas pulau, dengan jenis tanah utama terdiri atas Ultisols, sedikit Inceptisols, dan Oxisols (Subagyo *et al.* 2000). Tanah ini sebagian besar digunakan untuk tanaman perkebunan, antara lain karet, kelapa sawit, lada, kopi, dan hutan tanaman industri. Berdasarkan data BPS (2004), luas lahan perkebunan di Kalimantan mencapai 4,83 juta ha, sehingga perluasan areal pertanian pada tanah ini masih mungkin dilakukan.

Tulisan ini membahas tanah marginal lahan kering dari batuan sedimen masam di Kalimantan, yang meliputi penyebaran,

karakteristik tanah, dan potensinya untuk pertanian. Wilayah Kalimantan yang berbatasan dengan Malaysia dan Brunei Darussalam, sebagian besar merupakan lahan marginal yang perlu segera dimanfaatkan dalam rangka pengembangan wilayah perbatasan.

PENYEBARAN TANAH MARGINAL DI KALIMANTAN

Secara fisiografis, tanah marginal dari batuan sedimen masam menyebar pada *landform* tektonik, yaitu suatu *landform* yang terbentuk sebagai akibat adanya proses-proses geomorfik dari dalam (endogen/hipogen) atau dari luar (eksogen/epigen), antara lain berupa proses angkatan, lipatan, patahan, dan atau gabungannya (Marsoedi *et al.* 1997). Relief atau lereng yang terbentuk pada *landform* ini sangat terkait dengan proses-proses geomorfik dan atau sifat litologinya (struktural). Gambar 1 memperlihatkan bentang alam lahan marginal di Provinsi Kalimantan Selatan.

Landform dan relief yang terbentuk sebagai akibat deformasi kulit bumi oleh proses angkatan dan patahan dapat membentuk wilayah tinggi yang relatif datar dengan areal cukup luas, yang disebut *plateau*, lebih kecil (*mesa*), atau sangat kecil (*bute*). Bahan yang terangkat umumnya berupa batu pasir, seperti yang dijumpai di Kalimantan Barat (Suharta dan Suratman 2004). Pengangkatan yang

tidak terlalu tinggi umumnya membentuk teras angkatan dengan relief datar. Bentuk *landform* sebagai akibat proses angkatan, lipatan, dan patahan karena adanya pemiringan yang berlereng curam ($> 35\%$) disebut *hogback*, sedangkan yang berlereng landai ($< 35\%$) disebut *cuesta*. Kedua *sublandform* tersebut wilayahnya merupakan perbukitan atau pegunungan. Bentuk *landform* ini banyak dijumpai di Kalimantan Timur dan Kalimantan Barat (Suharta *et al.* 1998; Hikmatullah *et al.* 2000).

Patahan tunggal di wilayah perbukitan atau pegunungan akan membentuk blok memanjang terangkat yang disebut *horst* atau berupa pelembahan yaitu *graben*. Wilayah yang terbentuk karena proses pelipatan dari strata batuan membentuk punggung *antiklin* dengan relief berbukit, dan *depresi sinklin* dengan relief datar, atau membentuk perbukitan paralel. Wilayah dengan relief datar hingga bergelombang yang terbentuk sebagai akibat proses pendataran atau erosi yang kuat dan cukup lama, membentuk wilayah tua yang nyaris datar yang disebut *peneplain*.

Uraian tersebut menunjukkan bahwa pada *landform* tektonik dapat terbentuk berbagai *sublandform* dan relief, mulai dari datar hingga berbukit atau bergunung. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pemanfaatan lahan marginal sangat bergantung pada proses-proses yang terjadi dan kondisi relief lahan. Penyebaran tanah marginal lahan kering dari batuan sedimen masam yang paling



Gambar 1. Bentang alam lahan marginal di Provinsi Kalimantan Selatan.

luas terdapat di Kalimantan Timur (12,96 juta ha), Kalimantan Tengah (7,74 juta ha), dan Kalimantan Barat (7,31 juta ha), dan terkecil di Kalimantan Selatan yaitu 2,13 juta ha (Puslittanak 2000).

CADANGAN HARA TANAH

Kesuburan tanah alami sangat bergantung pada komposisi mineral bahan induk tanah atau cadangan hara tanah. Semakin tinggi cadangan hara tanah, semakin tinggi pula tingkat kesuburan tanahnya. Cadangan hara di dalam tanah sangat bergantung pada komposisi, jumlah, dan jenis mineralnya. Tanah marginal dari batuan sedimen masam mempunyai cadangan mineral atau cadangan hara yang rendah.

Berdasarkan derajat pelapukannya, jenis mineral di dalam tanah dapat dibedakan dalam dua grup utama, yaitu mineral resisten atau mineral yang tahan terhadap pelapukan dan mineral yang tergolong mudah lapuk. Mineral yang tahan terhadap pelapukan antara lain adalah kuarsa (SiO_2), dan tergolong mineral miskin hara. Karena sifatnya yang sukar melapuk, kuarsa banyak dijumpai pada tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut atau pada tanah yang terbentuk dari bahan induk yang mengandung kuarsa tinggi, seperti batu pasir kuarsa. Mineral mudah lapuk yang kaya unsur hara adalah muskovit, biotit, illit, ortoklas, dan sanidin sebagai sumber K; anortit dan albit sebagai sumber Na dan K; amfibol, hiperstin, augit, dan olivin sebagai sumber Ca, Mg, dan Fe; serta apatit sebagai sumber P dan Ca (Mohr *et al.* 1972). Setiap batuan induk tanah mempunyai komposisi atau jenis mineral tertentu sehingga proses pelapukannya akan melepas unsur-unsur hara tersebut yang selanjutnya dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

Tabel 1 memperlihatkan susunan mineral fraksi pasir tanah marginal Kalimantan yang didominasi oleh mineral kuarsa. Data tabel tersebut memperlihatkan bahwa tanah marginal dari batuan sedimen masam memiliki komposisi mineral yang didominasi oleh kuarsa (95–99%) dan hampir tidak ada mineral yang mudah lapuk. Hal tersebut menunjukkan bahwa batuan sedimen masam di Kalimantan tergolong bahan induk tanah yang mempunyai cadangan mineral atau hara yang sangat rendah. Mineral tersisa atau mineral sisa pelapukan, selain kuarsa yang mendominasi susunan mineralnya, dijumpai dalam jumlah sangat sedikit, seperti kongkresi besi, lapukan mineral, fragmen batuan, epidot, turmalin, monasit, garnet, rutil, zirkon, magnetit, dan opak. Sanidin, ortoklas, dan mika kadang-kadang dijumpai dalam jumlah sangat sedikit (Suharta dan Prasetyo 2008).

SIFAT FISIK TANAH

Tanah marginal dicirikan oleh tekstur tanah yang bervariasi dari pasir hingga liat. Hal tersebut dikarenakan batuan sedimen masam di Kalimantan terbentuk

dari dua macam bahan induk tanah, yaitu batu pasir yang bertekstur kasar dan batu liat atau batu lanau yang bertekstur halus. Hasil penelitian Suharta (2007) di Kalimantan Barat menunjukkan bahwa fraksi pasir, debu maupun liat sangat bervariasi, baik pada lapisan atas maupun lapisan bawah (Tabel 2). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hasil penelitian Prasetyo *et al.* (2001) di Kalimantan Timur dan Yatno *et al.* (2000) di Kalimantan Selatan. Adanya keragaman tekstur tanah yang cukup besar pada tanah marginal dari batuan sedimen masam akan sangat memengaruhi sifat fisik, kimia, maupun sifat mineraloginya sehingga memerlukan kehati-hatian dalam pengelolaannya. Tanah bertekstur kasar dicirikan oleh kemampuan meretensi air dan hara yang rendah sehingga tanah rawan kekeringan pada musim kemarau dan pencucian hara atau basa-basa dapat tukar secara intensif pada musim hujan. Sebaliknya, tanah bertekstur halus umumnya dicirikan oleh permeabilitas tanah yang lambat.

Beberapa sifat fisik penting lainnya adalah berat isi, total ruang pori, kadar air tersedia, permeabilitas, dan stabilitas agregat. Data hasil survei tanah tinjau di Kalimantan Selatan (Suharta *et al.* 1999,

Tabel 2. Rata-rata fraksi pasir, debu, dan liat tanah marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan.

Lokasi	Horison A			Horison B		
	Pasir	Debu	Liat	Pasir	Debu	Liat
 % %		
Kalimantan Selatan	20	49	31	16	35	49
Kalimantan Barat	41	31	28	35	28	37
Kalimantan Timur	31	39	30	23	35	40
Kalimantan Tengah	44	35	21	37	32	31

Sumber: Lembaga Penelitian Tanah (1973); Yatno *et al.* (2000); Prasetyo *et al.* (2001); Suharta (2007).

Tabel 1. Komposisi mineral tanah marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan.

Lokasi	Opak	Zirkon	Kuarsa	Kongkresi besi	Lapukan mineral	Fragmen batuan	Epidot	Turmalin	Monasit	Garnet	Rutil
Kalimantan Selatan	1	sp	95	1	2	1	sp	sp	sp	sp	sp
Kalimantan Barat	sp	sp	98	1	sp	1	sp	sp	sp	sp	sp
Kalimantan Timur	sp	sp	98	sp	1	2	sp	sp	sp	sp	sp
Kalimantan Tengah	–	–	99	1	–	sp	–	sp	–	–	–

sp = sangat sedikit.

Sumber: Lembaga Penelitian Tanah (1973); Yatno *et al.* (2000); Suharta (2007); Suharta dan Prasetyo (2008).

2000; Yatno *et al.* 2000) dan Riau (Suharta dan Prasetyo 2008) sebagai pembanding, disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, berat isi tanah meningkat dari horison A (1,21–1,31 g/cm³) ke horison B (1,32–1,35 g/cm³). Peningkatan ini terjadi akibat adanya proses iluviasi (akumulasi) liat atau pembentukan horison argilik pada horison B yang lebih kompak dibandingkan dengan horison A di atasnya. Tingginya nilai berat isi pada horison A tanah marginal Sumatera (1,54 g/cm³) terjadi akibat adanya pemadatan tanah oleh alat berat di areal hutan tanaman industri (HTI). Oleh karena itu, berat isi tanah tidak hanya ditentukan oleh tekstur tanahnya, tetapi juga dipengaruhi oleh teknologi pengelolaan lahan yang diterapkan. Ruang pori total pada horison A maupun B tergolong rendah sampai sedang, kadar air tersedia termasuk rendah, dan permeabilitas atau kecepatan laju infiltrasi tergolong sedang pada horison A (2,26 cm/jam) dan agak lambat pada horison B (1,29 cm/jam). Kemantapan agregat tergolong agak stabil.

SIFAT KIMIA

Sifat kimia penting pada tanah marginal adalah reaksi tanah, kandungan bahan organik, hara P dan K, basa-basa dapat tukar, kapasitas tukar kation, kejenuhan basa, dan kejenuhan Al. Tabel 4 menunjukkan bahwa reaksi tanah pada horison A maupun B bervariasi dari masam sampai sangat masam, dan umumnya masam. Kondisi reaksi tanah yang demikian menjadikan tanah-tanah marginal sering digolongkan sebagai tanah masam. Rendahnya reaksi tanah ini akan berdampak pada meningkatnya kandungan Al yang bersifat toksik terhadap tanaman, selain

memengaruhi ketersediaan P karena P terfiksasi dalam bentuk Al-P. Yatno *et al.* (2000) mengemukakan bahwa selain Al, Fe-bebas juga banyak dijumpai pada tanah Plinthudults Kalimantan Selatan sehingga akan berpengaruh terhadap ketersediaan P. Kandungan Fe-bebas cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman tanah. Anda *et al.* (2000) mengemukakan bahwa semakin lanjut perkembangan tanah, semakin meningkat retensi P yang disebabkan oleh meningkatnya Fe-oksida.

Kandungan C-organik rata-rata pada horison A bervariasi dari sedang sampai

rendah, sedangkan pada horison B menurun sangat rendah. Keadaan ini merupakan hal umum, di mana kandungan C-organik pada lapisan atas lebih tinggi daripada di lapisan bawah (Tabel 5). Alvaro-Fuentes *et al.* (2008), serta Blanco dan Lal (2008) mengemukakan bahwa kandungan bahan organik tanah sangat dipengaruhi oleh intensitas dan tipe pengelolaan lahan. Stabilitas bahan organik pada tanah berpelapukan lanjut, secara fisik terlindungi pada pori meso, dan secara kimia melalui ikatan kation (Anda *et al.* 2008). Semakin rendah derajat kristalinasinya dan atau semakin kecil ukuran

Tabel 4. Reaksi tanah (pH) pada marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan.

Lokasi	Horison A		Horison B	
	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)
Kalimantan Selatan	4,60	3,70	4,60	3,70
Kalimantan Barat	4,57	3,77	4,73	3,84
Kalimantan Timur	4,50	3,70	4,40	3,60
Kalimantan Tengah	4,70	4,00	4,70	4,00

Sumber: Data diolah dari Lembaga Penelitian Tanah (1973); Yatno *et al.* (2000); Prasetyo *et al.* (2001); Suharta (2007).

Tabel 5. Kandungan C-organik, P, dan K (HCl 25%) pada tanah marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan.

Lokasi	Horison A			Horison B		
	C (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	C (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)
Kalimantan Selatan	1,58	7	8	0,55	5	9
Kalimantan Barat	2,52	6	12	0,60	2	9
Kalimantan Timur	1,24	8	14	0,60	2	9
Kalimantan Tengah	1,44	4	4	0,47	1	4

Sumber: Data diolah dari Lembaga Penelitian Tanah (1973); Yatno *et al.* (2000); Prasetyo *et al.* (2001); Suharta (2007).

Tabel 3. Beberapa sifat fisik tanah marginal dari batuan sedimen masam.

Parameter	Horison A	Horison B	Horison A	Horison B
	Kisaran (rata-rata)	Kisaran (rata-rata)	Kisaran (rata-rata)	Kisaran (rata-rata)
Berat isi (g/cm ³)	1,13– 1,29 (1,21)	1,23– 1,40	1,20– 1,54 (1,31)	1,17 – 1,46 (1,35)
Ruang pori total (%)	43,00–53,00 (49,10)	47,20–53,60 (50,40)	37,00– 52,00 (43,90)	42,70– 55,90 (48,10)
Kadar air tersedia (% vol)	9,50–12,50 (10,75)	10,50–10,70 (10,60)	8,50– 11,40 (10,30)	6,70 – 9,40 (8,10)
Permeabilitas (cm/jam)	1,43– 3,10 (2,26)	0,62– 1,96 (1,29)	0,20– 9,46 (6,25)	1,10 – 3,62 (2,55)
Stabilitas agregat (%)	58,00–62,00 (60)	64,00–66,00	40,00–100,00 (61)	51,00–142,00 (82)

Sumber: Data diolah dari Suharta *et al.* (1999, 2000); Suharta dan Prasetyo (2008).

partikelnya, pengawetan dan stabilitas bahan organik atau karbon tanah akan semakin stabil. Suharta dan Prasetyo (2008) mengemukakan bahwa tanah marginal di Riau didominasi oleh mineral liat kristalin, yaitu kaolinit, goetit, dan kuarsa, sehingga bahan organik tanah tidak stabil.

Kandungan hara P (HCl 25%) rata-rata dalam tanah sangat rendah, baik pada horison A maupun B. Demikian pula hara K rata-rata (HCl 25%) pada horison A bervariasi dari sangat rendah sampai rendah, dan menurun sangat rendah pada horison B. Tingginya hara K pada tanah marginal umumnya disebabkan oleh adanya mineral sumber K, yaitu mika dan atau sanidin (Suharta dan Prasetyo 2008). Tanah marginal secara alami memiliki kandungan hara P maupun K yang sangat rendah. Hal ini berkaitan dengan susunan mineral atau cadangan mineral tanah marginal yang didominasi oleh kuarsa dan oksida (ilmenit, magnetit, dan rutil) dan sangat sedikit mineral sumber hara lainnya.

Stabilitas P pada tanah berpelapukan lanjut tergolong tidak stabil (Giaveno *et al.* 2008). Stabilitas P dipengaruhi oleh kombinasi karakteristik molekul organik serta oksida Fe dan Al. Bukan hanya jumlah oksida yang menentukan tingkat

retensinya, tetapi juga kualitas atau derajat kristalisasi oksida tersebut. Anda *et. al.* (2008) mengemukakan bahwa semakin tinggi derajat kristalisasi mineral, semakin rendah retensi P-nya.

Kandungan basa-basa dapat tukar (Ca, Mg, K, dan Na) pada tanah marginal tergolong rendah sampai sangat rendah (Tabel 6). Hal tersebut menunjukkan bahwa tanah marginal telah mengalami pencucian lanjut dan atau tanah berasal dari bahan induk miskin basa. Kandungan basa dapat tukar pada horison A lebih tinggi dibandingkan pada horison B di bawahnya. Suharta dan Prasetyo (2008) mengemukakan bahwa kandungan basa dapat tukar pada horison A, walaupun tergolong rendah sampai sangat rendah, secara absolut lebih tinggi dibandingkan pada horison B di bawahnya. Hal tersebut menunjukkan telah terjadi siklus biologis oleh tanaman yang mengangkut unsur hara melalui daun, ranting, dan sisa tanaman lainnya, kemudian dikembalikan ke permukaan tanah atau dekat permukaan tanah mineral sebagai sampah (Quideau *et al.* 1999).

Kapasitas tukar kation (KTK) tanah rata-rata pada horison A maupun B (Tabel 7) tergolong rendah (< 16 cmol_c/kg), sedangkan KTK-liat (tanpa koreksi bahan

organik) rata-rata pada horison A termasuk tinggi sampai sangat tinggi, dan pada horison B tinggi. Tinggi rendahnya KTK tanah sangat terkait dengan jenis mineral liat dan kandungan bahan organik di dalam tanah. Sebagian besar tanah marginal yang berasal dari batuan sedimen masam didominasi oleh kaolinit yang secara alami mempunyai nilai KTK rendah (Prasetyo *et al.* 2001). Pada tanah yang mempunyai aktivitas liat rendah (KTK rendah), bahan organik menjadi sangat penting dalam meningkatkan nilai KTK tanah. Hasil penelitian, Alkasuma (1994), Suhardjo dan Prasetyo (1998), serta Prasetyo *et al.* (2001) memperlihatkan adanya korelasi positif antara kandungan C-organik dan meningkatnya KTK tanah. Hal ini dapat diartikan bahwa penambahan bahan organik ke dalam tanah akan meningkatkan KTK tanah.

Kejenuhan basa tanah marginal dari batuan masam di Kalimantan tergolong rendah sampai sangat rendah. Pada horison A, kejenuhan basa rata-rata lebih tinggi dibandingkan pada horison B. Hal tersebut terjadi akibat adanya pengkayaan basa-basa melalui siklus biologi. Sebaliknya, kejenuhan Al tergolong sangat tinggi baik pada horison A maupun B, dan kejenuhannya meningkat

Tabel 6. Kandungan basa-basa dapat tukar pada tanah marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan.

Lokasi	Horison A				Horison B			
	Ca _{dd}	Mg _{dd}	K _{dd}	Na _{dd}	Ca _{dd}	Mg _{dd}	K _{dd}	Na _{dd}
	(cmol _c /kg)							
Kalimantan Selatan	1,05	0,70	0,12	0,05	1,00	0,50	0,09	0,05
Kalimantan Barat	0,64	0,37	0,18	0,09	0,24	0,17	0,10	0,09
Kalimantan Timur	0,40	0,31	0,12	0,04	0,22	0,13	0,04	0,03
Kalimantan Tengah	0,30	0,50	0,40	0,10	0,20	0,20	0,10	0,00

Sumber: Data diolah dari Lembaga Penelitian Tanah (1973); Yatno *et al.* (2000); Prasetyo *et al.* (2001), Suharta (2007).

Tabel 7. Kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa, dan kejenuhan aluminium pada tanah marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan.

Lokasi	Horison A				Horison B			
	KTK tanah (cmol _c /kg)	KTK liat (cmol _c /kg)	Kejenuhan basa (cmol _c /kg)	Kejenuhan Al (%)	KTK tanah (cmol _c /kg)	KTK liat (cmol _c /kg)	Kejenuhan basa (cmol _c /kg)	Kejenuhan Al (%)
Kalimantan Selatan	7,41	25,62	26	53	10,71	22,41	15	75
Kalimantan Barat	12,36	47,88	13	78	10,29	29,49	11	85
Kalimantan Timur	9,30	31,00	19	48	9,60	24,00	9	62
Kalimantan Tengah	9,10	43,30	23	72	6,10	19,67	5	89

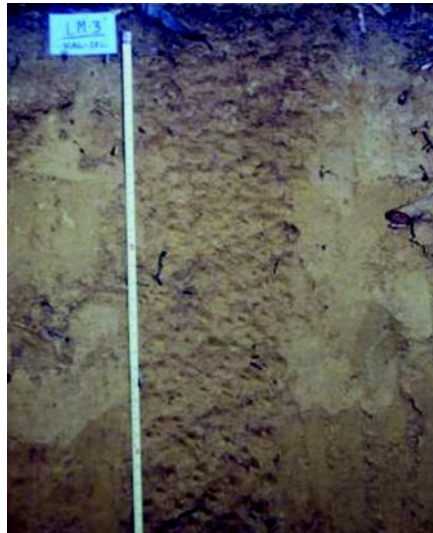
Sumber: Lembaga Penelitian Tanah (1973); Yatno *et al.* (2000); Prasetyo *et al.* (2001), Suharta (2007).

dengan kedalaman tanah. Suharta dan Prasetyo (2008) mengemukakan bahwa tekstur tanah berpengaruh terhadap kejenuhan Al; semakin tinggi kandungan fraksi liatnya, kejenuhan Al semakin meningkat. Selain kandungan fraksi liat yang berpengaruh terhadap kejenuhan Al, jenis mineral liat seperti vermikulit yang terdapat dalam tanah masam tidak stabil dan dalam proses pelapukannya akan membebaskan sejumlah Al ke dalam tanah sehingga kandungan Al dalam tanah meningkat.

KLASIFIKASI TANAH

Sebagian besar tanah marginal dari batuan sedimen masam, berdasarkan taksonomi tanah (Soil Survey Staff 2006), diklasifikasikan sebagai Ultisols, dan sebagian kecil Inceptisols dan Oxisols. Ultisols didefinisikan sebagai tanah yang mempunyai penciri horison argilik atau kandik dan kejenuhan basa < 35%. Horison argilik dan kandik merupakan horison iluviasi (horison akumulasi liat); yang membedakan keduanya adalah besarnya KTK-liat, yaitu pada horison kandik ≤ 16 cmol/kg dan horison argilik > 16 cmol/kg. Oxisols adalah tanah mineral yang dicirikan oleh adanya horison oksik, yaitu horison dengan KTK-liat ≤ 16 cmol/kg, KTK-efektif ≤ 12 cmol/kg, kandungan mineral mudah lapuk dalam fraksi 50–200 mikron < 10%, dan struktur batuan < 5% dari volume tanah (Soil Survey Staff 2006). Inceptisols adalah tanah yang tergolong relatif muda, dicirikan oleh adanya horison kambik, yaitu suatu horison alterasi atau perubahan pada tahap awal yang dicirikan oleh perkembangan struktur atau perubahan warna tanah, transformasi secara kimia atau pemindahan bahan, dan atau merupakan hasil kombinasi dari dua atau lebih proses tersebut (Soil Survey Staff 2006). Gambar 2 memperlihatkan penampang tanah Ultisols dari Kalimantan Selatan. Pada tingkat *greatgrup*, klasifikasi tanah marginal dari batuan sedimen masam lahan kering di Kalimantan disajikan pada Tabel 8.

Pada tingkat subordo, Ultisols dibedakan berdasarkan rejim kelembapannya, yaitu Udults dengan rejim kelembapan udik. Pada tingkat *greatgrup*, Ultisols yang mempunyai horison kandik dengan solum tanah dalam disebut



Gambar 2. Penampang tanah Ultisols dari batu pasir di Kalimantan Selatan.

Kandiudults, dan yang bersolum tanah lebih dangkal dinamakan Kanhapludults. Ultisols dengan horison argilik bersolum dalam disebut Paleudults, dan yang bersolum lebih dangkal disebut Hapludults. Tanah yang mengandung lapisan plintit, dan kadang-kadang disertai dengan lapisan krokos (kongkresi besi) hingga di permukaan diklasifikasikan sebagai Plinthudults.

Inceptisols juga dibedakan berdasarkan rejim kelembapan tanah, yaitu Udepts dengan rejim kelembapan udik. Udepts hanya dibedakan sebagai Dystrudepts yang dicirikan oleh kejenuhan basa < 50%.

Oxisols dibedakan berdasarkan rejim kelembapan tanah, yaitu Udox dengan rejim kelembapan udik. Pada tingkat

Tabel 8. Klasifikasi tanah marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan pada tingkat *greatgrup*.

Ordo	Subordo	<i>Greatgrup</i>
Ultisols	Udults	Kandiudults
		Kanhapludults
		Paleudults
		Hapludults
		Plinthudults
Inceptisols	Udepts	Dystrudepts
		Hapludox
Oxisols	Udox	Kandiudox

Sumber: Suharta, *et al.* (1998); Suharta *et al.* (1999); Hikmatullah *et al.* (2000); Suharta *et al.* (2000); Anda *et al.* (2001); Suharta dan Suratman (2001); Suharta dan Suratman (2004); Soil Survey Staff (2006).

greatgrup hanya dibedakan sebagai Kandiudox, yang dicirikan oleh adanya horison kandik, dan Hapludox.

PERMASALAHAN PADA TANAH MARGINAL DI KALIMANTAN

Permasalahan umum pada tanah marginal lahan kering dari batuan sedimen masam adalah reaksi tanah masam, kandungan bahan organik rendah, ketersediaan dan cadangan hara rendah, serta kejenuhan Al tinggi. Tindakan praktis untuk memperbaiki sifat kimia tanah tersebut meliputi: 1) pengapuran untuk meningkatkan pH tanah dan mengurangi reaktivitas Al, 2) pemberian pupuk makro maupun mikro untuk memperbaiki kesuburan tanah, serta 3) penambahan bahan organik yang berfungsi sebagai bufer terhadap pH rendah dan toksisitas Al melalui pembentukan khelat (Brown *et al.* 2008). Penambahan bahan organik juga dapat meningkatkan stabilitas tanah dan mendukung pengelolaan lahan sistem konservasi (Erfandi *et al.* 1999).

Tekstur yang kasar memberikan pengaruh negatif terhadap kemampuan tanah meretensi air dan hara yang rendah, serta tanah rawan kekeringan dan peka erosi. Tekstur yang kasar juga meningkatkan laju infiltrasi serta pencucian hara dan basa-basa di dalam tanah. Yang *et al.* (2008) mengemukakan bahwa tanah yang bertekstur kasar dicirikan oleh kandungan oksida Fe/Al, bahan organik, dan kandungan liat yang rendah. Oleh karena itu, pupuk P yang diberikan ke dalam tanah akan mudah hilang tercuci bersama air perkolasi karena kemampuan tanah meretensi hara rendah. Penggunaan biosolid, yaitu pupuk organik yang diperkaya dengan Fe dan Al, dapat mengurangi kehilangan P hingga < 1%. Fe dan Al oksida dari biosolid berperan aktif dalam mengurangi pencucian P melalui pengikatan dalam bentuk organik-Al(OH)²⁺ atau organik-Fe(OH)²⁺.

Tekstur tanah, selain berpengaruh langsung terhadap sifat fisik tanah, juga menentukan sifat kimia tanah. Hasil penelitian Suharta (2007) pada tanah marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan Barat menunjukkan bahwa kandungan fraksi pasir berkorelasi negatif dengan C, N, P, K potensial, dan Al_{dd}. Semakin tinggi kandungan fraksi pasir,

semakin rendah kandungan C-organik, hara P dan K potensial, dan Al_{dd} . Sebaliknya, semakin tinggi kandungan fraksi liat, semakin tinggi pula kandungan hara P dan K potensial, basa-basa dapat tukar (Mg_{dd} , K_{dd}), KTK tanah, dan kejenuhan basa, namun kejenuhan Al hanya akan meningkat sejalan dengan meningkatnya kandungan fraksi liat.

Kandungan bahan organik yang rendah di daerah tropis merupakan hal biasa karena tingginya proses mineralisasi. Bahan organik fraksi ringan dan yang berasosiasi dengan fraksi pasir akan lebih mudah mengalami mineralisasi dibandingkan dengan bahan organik yang berasosiasi dengan fraksi debu dan liat (Haile-Mariam *et al.* 2008). Anda *et al.* (2008) menyatakan bahwa semakin tidak kristalin atau semakin amorf dan semakin kecil ukuran partikel liatnya, bahan organik dalam tanah akan semakin stabil.

Guimaraes *et al.* (2008) mengemukakan bahwa sistem tanpa olah tanah memberikan manfaat besar terhadap konservasi tanah dan air, mengurangi erosi, serta menurunkan penggunaan tenaga kerja dan biaya produksi. Tanpa olah tanah, sifat kimia tanah dapat terjaga dengan baik, tetapi perlu diterapkan pola pergiliran tanaman dan penambahan kapur serta pemupukan dalam jumlah cukup. Namun, pendapat tersebut dibantah oleh Alvaro-Fuentes *et al.* (2008); Blanco dan Lal (2008), serta Olchin *et al.* (2008), yang mengemukakan bahwa tanpa olah tanah, peningkatan bahan organik hanya terjadi pada 10 cm lapisan teratas, dibandingkan total bahan organik pada tanah yang diolah yang mencapai kedalaman 60 cm. Tanpa olah tanah juga meningkatkan berat isi tanah (Alvaro-Fuentes *et al.* 2008).

POTENSI PENGEMBANGAN

Lahan marginal sebagian besar dimanfaatkan untuk pengembangan tanaman perkebunan, seperti karet, kelapa sawit, kopi, lada, dan hutan tanaman industri. Tanah marginal di Kalimantan meliputi areal 30,15 juta ha. Luas lahan yang digunakan untuk perkebunan baru sekitar 5 juta ha sehingga masih tersedia lahan yang luas untuk dikembangkan. Namun, informasi secara rinci mengenai luasan lahan marginal berdasarkan relief serta penggunaannya sebagai dasar dalam menyusun perencanaan pengembangan secara detail masih diperlukan.

Pemilihan jenis komoditas yang dikembangkan perlu disesuaikan dengan sifat fisik dan kimia tanah serta kondisi reliefnya. Wilayah dengan relief datar hingga berombak sesuai untuk pengembangan tanaman pangan lahan kering semusim, sedangkan wilayah dengan relief hingga berbukit dapat dimanfaatkan untuk tanaman tahunan atau perkebunan (Djaenuidin *et al.* 2000). Hal tersebut didasarkan pada keadaan bahwa tanah marginal tergolong peka erosi. Oleh karena itu, pengembangan tanaman pangan semusim yang memerlukan pengelolaan lahan secara intensif sebaiknya diarahkan pada wilayah dengan lereng tidak lebih dari 8%, dengan tetap mempertahankan pengelolaan lahan konservasi. Wilayah bergelombang dengan lereng lebih dari 8% dapat dimanfaatkan untuk tanaman tahunan yang tidak memerlukan pengelolaan lahan secara intensif sehingga dapat menekan bahaya erosi. Tanaman perkebunan berupa kelapa sawit dan lada sebaiknya dikembangkan pada wilayah dengan relief hingga bergelombang,

sedangkan tanaman karet, kakao, dan kopi dapat diusahakan pada wilayah dengan relief hingga berbukit.

KESIMPULAN DAN SARAN

Secara alami, tanah marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan mempunyai cadangan mineral atau hara rendah, reaksi tanah masam, serta kandungan bahan organik, P dan K, serta basa dapat tukar rendah, tetapi kejenuhan Al tinggi. Oleh karena itu, perbaikan sifat kimia tanah melalui pengapuran, penggunaan bahan organik, dan pemupukan lengkap sangat disarankan untuk meningkatkan reaksi tanah, mengurangi reaktivitas Al, dan meningkatkan hara tanah.

Sifat fisik tanah yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman adalah tekstur kasar pada sebagian tanah sehingga menurunkan kemampuan tanah dalam meretensi air dan hara serta tanah peka erosi. Pengelolaan lahan dengan sistem konservasi sangat diperlukan untuk mempertahankan kesuburan tanah dan mencegah erosi.

Tanah marginal lahan kering dari batuan sedimen masam di Kalimantan berpotensi untuk pengembangan berbagai komoditas pertanian dan hutan tanaman industri. Tanaman pangan semusim diarahkan pada wilayah dengan relief datar hingga berombak dengan lereng < 8%, sedangkan tanaman tahunan dan atau perkebunan hutan tanaman industri dapat dikembangkan pada relief sampai berbukit. Komoditas tanaman perkebunan yang dapat dikembangkan antara lain adalah karet, kelapa sawit, lada, kopi, dan kakao.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvaro-Fuentes, J., M.V. Lopez, C. Cantero-Martinez, and J.L. Arrue. 2008. Tillage effects on soil organic carbon fractions in mediterranean dryland agroecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72(2): 541–547.
- Alkasuma. 1994. Beberapa sifat kimia tanah seri Sanggauledo (Anionic Acroperox) Kalimantan Barat. hlm. 43–55. *Dalam* Risalah Hasil Penelitian Potensi Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Sawah Irigasi di Kalimantan dan Sulawesi. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Anda, M., N. Suharta, and S. Ritung. 2000. Development of soils derived from weathered sedimentary, granitic and ultrabasic rocks in South Kalimantan Province: I. Mineralogical composition and chemical properties. *Jurnal Tanah dan Iklim* 18: 1–10.
- Anda, M., Rofik, dan N. Suharta. 2001. Survei dan Pemetaan Tanah Tingkat Tinjau Skala 1:250.000 untuk Mendukung Pengembangan Wilayah di Provinsi Kalimantan Timur (Bagian V). Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Anda, M., J. Shamsuddin, I.C. Fauziah, and S. R. Syed Omar. 2008. Pore space and specific surface area of heavy clay Oxisols as affected by their mineralogy and organic matter. *Soil Sci.* 173(8): 560–574.
- Blanco, H. and C.R. Lal. 2008. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 27(3): 693–701.

- BPS. 2004. Statistik Indonesia. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Brown, T.T., R.T. Koenig, D.R. Huggins, J.B. Harsh, and R.E. Rossi. 2008. Lime effects on soil acidity, crop yield, and aluminium chemistry in direct-seeded cropping system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72(3): 634–640.
- Djaenudin, D., H. Marwan, H. Subagyo, A. Mulyani, dan N. Suharta. 2000. Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian. Versi. 3. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Erfandi, D. Sudradjat, dan U. Kurnia. 1999. Kombinasi teknik konservasi dengan pengelolaan bahan organik dalam usaha meningkatkan produktivitas tanah Ultisols. hlm. 367–377. *Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk. Buku II. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.*
- Faucult, A. and et Jean-Francois Raqult. 1984. *Dictionnaire de Geologie. Guides Geologiques Regionaux. Collection dirige par Ch. Pomerol. 2-ed. Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan, Mexico, Sao Paulo.*
- Giaveno, C., L. Celi, R.M.A. Cessa, M. Prati, E. Bonifacio, and E. Barberis. 2008. Interaction of organic phosphorus with clays extracted from Oxisols. *Soil Sci.* 173(10): 694–706.
- Guimaraes, F.M., I.C.B. Fonseca, M. Brossard, C.M.R. Portella, Osmar, R. Brito, and J.C. Ritchie. 2008. Monitoring changes in the chemical properties of an Oxisol under long-term no-tillage management in subtropical Brazil. *Soil Sci.* 173(6): 408–416.
- Haile-Mariam, S., H.P. Collins, S. Wright, and E.A. Paul. 2008. Fractionation and long-term laboratory incubation to measure soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72(2): 370–379.
- Hikmatullah, Suratman, dan N. Suharta. 2000. Survei dan Pemetaan Tanah Tingkat Tinjau Provinsi Kalimantan Timur untuk Mendukung Pengembangan Wilayah (Bagian I). Skala 1:250.000. Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Krantz, B.A. 1958. Soil survey interpretation – Interpretation of soil characteristics important in soil management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 22(2): 155–156.
- Lembaga Penelitian Tanah. 1973. Survei dan Pemetaan Tanah Daerah Sepanjang Sei Kahayan. Lembaga Penelitian Tanah, Bogor. No.6/1973.
- Marsoedi, D.S. Widagdo, J. Dai, N. Suharta, S.W.P. Darul, S. Hardjowigeno, J. Hof, and E.R. Jordan. 1997. *Guideline for Landform Classification. Second Land Resource Evaluation and Planning Project. Part C. Strengthening Soil Resources Mapping. Center for Soil and Agroclimate Research, Bogor.*
- Mohr, E.C.J., F.A. van Baren, and J. van Schuylenborgh. 1972. *Tropical Soils. A comprehensive study of their genesis. Mouton–Ichtar Baru–Van Hoeve, The Hague–Paris–Jakarta. p. 481.*
- Olchin, G.P., S. Ogle, S.D. Frey, T.R. Filley, K. Paustian, and J. Six. 2008. Residue carbon stabilization in soil aggregates of no-till and tillage management of dryland cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72(2): 507–513.
- Prasetyo, B.H., N. Suharta, H. Subagyo, and Hikmatullah. 2001. Chemical and mineralogical properties of Ultisols of Sasamba area, East Kalimantan. *Indones. J. Agric. Sci.* 2(2): 37–47.
- Puslittanak. 2000. *Atlas Sumberdaya Tanah Eksplorasi Indonesia, Skala 1:1.000.000. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.*
- Quideau, S.A., R.C. Graham, O.A. Chadwick, and H.B. Wood. 1999. Biogeochemical cycling of calcium and magnesium by *Ceanothus* and *Chamise*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1880–1888.
- Soil Survey Staff. 2006. *Keys to Soil Taxonomy. 10th Edition. United States Department of Agriculture (USDA), Washington, DC.*
- Subagyo, H., N. Suharta, dan A.B. Siswanto. 2000. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. hlm. 21–65. *Dalam Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.*
- Suhardjo, H. dan B.H. Prasetyo. 1998. Sifat-sifat fisiko-kimia dan penyebaran tanah Kanduidults di Provinsi Riau. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 17(2): 93–102.
- Suharta, N., Hikmatullah, B.H. Prasetyo, V. Suwandi, dan M. Anda. 1998. Survei dan Pemetaan Tanah Tinjau Kapet Sasamba, Provinsi Kalimantan Timur untuk Menunjang Pembangunan Kawasan Andalan Pengembangan Ekonomi Terpadu (Kapet), Skala 1:250.000. Proyek Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Suharta, N., M. Anda, V. Suwandi, dan Rofik. 1999. Survei dan Pemetaan Tanah Tinjau Provinsi Kalimantan Selatan (Bagian I) dalam rangka Inventarisasi dan Evaluasi Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Wilayah, Skala 1:250.000. Proyek Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Suharta, N., B.H. Prasetyo, M. Hikmat, E. Yatno, dan Rofik. 2000. Survei dan Pemetaan Tanah Tinjau Provinsi Kalimantan Selatan (Bagian II) dalam rangka Inventarisasi dan Evaluasi Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Wilayah, Skala 1:250.000. Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Suharta, N. dan Suratman. 2001. Survei dan Pemetaan Tanah Tingkat Tinjau (Skala 1:250.000) Provinsi Kalimantan Timur (Bagian IV). Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Tanah dan Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Suharta, N. dan Suratman. 2004. Karakterisasi dan Analisis Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Wilayah di Kawasan Timur Indonesia (Provinsi Kalimantan Barat I). Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Tanah dan Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Suharta, N. 2007. Sifat dan karakteristik tanah dari batuan sedimen masam di Provinsi Kalimantan Barat serta implikasinya terhadap pengelolaan lahan. *Jurnal Tanah dan Iklim* 25: 11–26.
- Suharta, N. dan B.H. Prasetyo. 2008. Susunan mineral dan sifat fisiko-kimia tanah bervegetasi hutan dari batuan sedimen masam di Provinsi Riau. *Jurnal Tanah dan Iklim* 28: 1–14.
- Yang, Y., Z. He, P.J. Stoffella, X. Yang, D.A. Graetz, and D. Morris. 2008. Leaching behavior of phosphorus in sandy soils amended with organic material. *Soil Sci.* 173(4): 257–266.
- Yatno, E., M. Hikmat, N. Suharta, dan B.H. Prasetyo. 2000. Plinthudults di Kalimantan Selatan: Sifat morfologi, fisika, mineralogi, dan kimianya. hlm. 353–366. *Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.*