

Pembenah Tanah Alternatif untuk Meningkatkan Produktivitas Tanah dan Tanaman Kedelai di Lahan Kering Masam

Alternative Soil Conditioners for Increasing Soil and Soybean Productivity on Upland Acid Soil

Neneng L. Nurida*, Ai Dariah, S. Sutono

Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12 Bogor 16124, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 4 Juni 2015

Direview: 15 Juni 2015

Disetujui: 27 Oktober 2015

Kata kunci:

Kedelai

Lahan kering masam

Pembenah tanah

Biochar

Keywords:

Soybean

Upland acid soil

Soil conditioner

Biochar

Abstrak. Pengembangan kedelai di lahan kering masam perlu didukung tindakan rehabilitasi lahan, antara lain dengan penambahan pembenah tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan formula pembenah tanah alternatif yang mampu memperbaiki sifat tanah di lahan kering masam untuk mendukung pertumbuhan dan produksi kedelai secara optimal. Penelitian dilaksanakan di Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Lampung Timur (05°01'07.0"S dan 105°31'01.4"E) pada bulan April-Juli 2013. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok, tiga ulangan. Formula pembenah tanah yang diuji: 1) Volkanorf K424 3,0 t ha⁻¹, 2) Biochar SP50 Submikron 1,0 t ha⁻¹, 3) Beta Submikron 1,0 t ha⁻¹, 4) Beta Humat 1,5 t ha⁻¹, dan 5) Biochar SP50 Humat 1,5 t ha⁻¹. Tanaman indikator adalah kedelai (*Glycine max*) varietas Tanggamus. Parameter yang diamati adalah sifat fisik dan kimia tanah serta pertumbuhan dan hasil kedelai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Biochar SP50 Submikron potensial meningkatkan air tersedia tanah hingga mencapai 11,0 %vol. dibandingkan pembenah tanah lainnya dan sangat menguntungkan untuk tanah dengan tekstur berpasir. Pembenah tanah Volkanorf K424 sangat unggul untuk meningkatkan pH, kandungan P, dan menurunkan toksisitas aluminium akibat tingginya kandungan P dan Ca dalam formula tersebut. Tinggi tanaman hingga umur 8 minggu setelah tanam cukup baik, mencapai 65-70 cm. Hasil biji kering kedelai mencapai 1,44-1,58 t ha⁻¹, kecuali untuk perlakuan Biochar SP50 Humat yang hanya menghasilkan 1,32 t ha⁻¹. Ditinjau dari hasil biji kering kedelai, maka aplikasi pembenah tanah alternatif yang diformulasi oleh Balittanah (Biochar SP50 Submikron dan Volkanorf K424) prospektif digunakan untuk produksi kedelai pada lahan bertanah masam.

Abstract. Efforts for soybean development on upland acid soils need to be supported by land rehabilitation measure for obtaining optimal yield. This study aimed to develop alternative soil conditioner formula for improving upland acid soil properties and to increase soybean productivity. The research was conducted in the Sarirejo village, Sukadana Subdistrict, East Lampung (05°01'07.0" S, 105°31'01.4" E) from April to July 2013. The treatments were arranged using the randomized block design with three replications. The soil conditioner formula tested were: 1) Volkanorf K424 3.0 t ha⁻¹, 2) Biochar SP50 Submicron 1.0 t ha⁻¹, 3) Beta Submicron 1.0 t ha⁻¹, 4) Beta Humic 1.5 t ha⁻¹ and 5) Biochar SP50 Humic 1.5 t ha⁻¹. The indicator crop was soybean (*Glycine max*), Tanggamus variety. Parameter observed were soil physical and chemical properties and growth and yield of soybean. The results showed that the Biochar SP50 Submicron formula is more potential for increasing soil water availability up to 11.0% vol. Its use is suitable for sandy acid soil. The soil conditioner of Volkanorf K424 formula increased significantly soil pH, phosphorus content and decreased aluminum toxicity due to the high contents of Ca and P in the formula. The plant height at 8 weeks after planting was 65-70 cm, which is classified as normal. The grain yield ranged from 1.44 to 1.58 t ha⁻¹, except for Biochar SP50 Humic formula that was only 1.32 t ha⁻¹. Based on the soybean grain yield data, the application of Biochar SP50 Submicron and Volkanorf K424 are prospective for managing of upland acid mineral soil for supporting soybean production.

Pendahuluan

Peningkatan produksi kedelai nasional ke depan akan sangat tergantung pada upaya perluasan areal atau ekstensifikasi mengingat semakin terbatasnya areal lahan

untuk intensifikasi. Upaya perluasan areal mengharuskan untuk memanfaatkan lahan-lahan suboptimal, seperti lahan kering masam dan lahan gambut. Lahan kering masam merupakan salah satu lahan yang potensial untuk pengembangan kedelai, namun disadari bahwa pengembangan pertanian tanaman semusim pada lahan kering masam membutuhkan input yang relatif tinggi.

* Corresponding author: lelanurida@yahoo.com

Luas lahan kering masam di Indonesia mencapai 107,36 juta ha dan sebagian besar tersebar di Pulau Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian 2014). Lahan kering masam umumnya terletak pada wilayah dengan curah hujan relatif tinggi $> 2.000 \text{ mm th}^{-1}$ (Rochayati dan Dariah 2012). Jumlah bulan basah yang mencapai lebih dari enam bulan, menyebabkan tingkat pencucian hara berlangsung intensif sehingga tingkat kesuburan lahan kering masam tergolong rendah. Secara umum, lahan kering masam dicirikan oleh pH masam ($< 5,5$), kandungan C-organik dan basa-basa dapat ditukar rendah, serta kejenuhan basa dan kapasitas tukar kation juga rendah, peka terhadap erosi dan pori air tersedia rendah dan bobot isi relatif tinggi. Intensitas matahari yang tinggi berdampak pada tingginya tingkat dekomposisi bahan organik baik secara kimia maupun fisik (Glaser *et al.* 2002).

Dalam upaya pengembangan kedelai di lahan kering masam, serta guna mendapatkan produktivitas kedelai yang optimal perlu didukung oleh tindakan rehabilitasi lahan terlebih dahulu atau dengan mengembangkan varietas yang adaptif pada kondisi lahan masam. Penggunaan varietas kedelai toleran lahan masam telah dimulai pada tahun 2001, dengan dilepas tiga varietas kedelai adaptif lahan masam, yaitu Tanggamus, Sibayak dan Nanti (Arsyad dan Purwantoro 2010). Keragaman genetik toleran lahan masam pada kedelai masam telah dilaporkan oleh sejumlah peneliti (Sumarno *et al.* 1989, Arsyad *et al.* 1996).

Upaya rehabilitasi lahan kering masam merupakan faktor penting yang harus dilakukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan lahan kering masam. Hasil penelitian Dariah dan Nurida (2011) mendapatkan bahwa tanpa rehabilitasi lahan dengan bahan ameliorasi, pertumbuhan tanaman menjadi sangat terhambat. Selama ini, bahan amelioran yang biasa digunakan adalah kapur (Taupiq *et al.* 2007), bahan organik (Basri dan Zaini 1992, Kurnia 1996), biomasa tanaman (Nurida 2006), biochar (Nurida *et al.* 2014). Selain itu, gejala defisiensi hara ganda seperti hara N dan P sering terjadi di lahan kering masam (Santoso *et al.* 1995, Santoso dan Sofyan 2005). Penggunaan pupuk P dalam bentuk P-Alam dapat menanggulangi faktor rendahnya ketersediaan P di lahan kering masam (Rochayati *et al.* 2005).

Dalam mempercepat pemulihan lahan kering masam, upaya formulasi pembenah tanah telah banyak dilakukan dengan menggunakan bahan baku organik dan mineral. Beberapa formula pembenah tanah yang telah diuji di Balai Penelitian Tanah adalah Beta (Dariah *et al.* 2010), Biochar SP50, Biochar KK50 dan Biochar KS50 (Nurida

et al. 2008, Nurida *et al.* 2013) dan Volkanorf K424 (Balai Penelitian Tanah 2012). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemberian biochar berpengaruh positif terhadap sifat tanah dan produktivitas tanaman, khususnya pada tanah masam (Jeffery *et al.* 2011, Atkinson *et al.* 2010, Spokas *et al.* 2012). Pembenah tanah Beta mampu memperbaiki produktivitas tanah (Dariah *et al.* 2010), sedangkan aplikasi beberapa formula berbahan baku abu vulkanik mampu mendukung produktivitas kedelai di lahan kering masam (Balai Penelitian Tanah 2012).

Berbagai formula pembenah tanah alternatif yang diuji (Volkanorf K424, Biochar SP50 dan Beta Submikron, Biochar SP50 dan Beta Humat) mempunyai keunggulan komparatif dibandingkan pembenah tanah yang biasa digunakan (Biochar SP50, Beta, kompos, kapur), diantaranya mempunyai tingkat kehalusan tinggi (ukuran butir Submikron), sehingga mempunyai luas permukaan yang relatif lebih tinggi dan mempunyai efektivitas yang lebih tinggi. Namun demikian, untuk mendapatkan pembenah tanah yang paling efektif, maka perlu dilakukan pengujian aplikasi formula pembenah tanah tersebut secara serentak dalam waktu yang bersamaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan pembenah tanah alternatif yang mampu memperbaiki sifat tanah di lahan kering masam sehingga mampu mendukung pertumbuhan kedelai secara optimal.

Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan di Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Kabupaten Lampung Timur, terletak pada koordinat $05^{\circ}01'07.0'' \text{ S}$ dan $105^{\circ}31'01.4'' \text{ E}$. Penelitian dilaksanakan pada bulan April-Juli 2013, menguji beberapa formula pembenah tanah prospektif dari Balai Penelitian Tanah. Tanaman indikator yang digunakan adalah kedelai (*Glycine max*) varietas Tanggamus. Rancangan penelitian yang digunakan adalah rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Formula pembenah tanah yang diuji adalah:

1. Volkanorf K424 $3,0 \text{ t ha}^{-1}$
2. Biochar SP50 Submikron ($< 100 \mu\text{m}$) $1,0 \text{ t ha}^{-1}$
3. Beta Submikron ($< 100 \mu\text{m}$) $1,0 \text{ t ha}^{-1}$
4. Beta Humat $1,5 \text{ t ha}^{-1}$
5. Biochar SP50 Humat $1,5 \text{ t ha}^{-1}$

Pembenah tanah yang digunakan merupakan hasil formulasi Balai Penelitian Tanah yang telah diuji melalui serangkaian penelitian di laboratorium, rumah kaca dan lapangan. Berdasarkan pengujian di lapangan, masing-

masing pembenh tanah telah terbukti lebih baik dibandingkan dengan kontrol dan telah menghasilkan dosis optimal yang direkomendasikan (Balai Penelitian Tanah 2012, Darial *et al.* 2010, Dariah dan Nurida 2011). Dosis masing-masing formula pembenh tanah yang diuji dalam penelitian ini adalah dosis optimal yang direkomendasikan sehingga dosisnya berbeda untuk masing-masing jenis pembenh tanah. Pembenh tanah Volkanorf K424 diformulasikan dengan menggunakan bahan dasar abu vulkanik hasil erupsi Gunung Merapi dengan bahan organik dan mineral lainnya (Balai Penelitian Tanah 2012). Pembenh tanah Beta adalah pembenh tanah organik mineral berasal dari bahan organik, zeolit dan lateks (Dariah *et al.* 2010), sedangkan pembenh tanah Biochar SP50 berbahan baku biochar sekam padi dan bahan organik (Nurida *et al.* 2008). Pembuatan pembenh tanah Submikron ($< 100 \mu\text{m}$) dilakukan di laboratorium Farmasi, Institut Teknologi Bandung dengan menggunakan alat DelsaTM Nano. Hasil analisis ukuran partikel (Particle Size Analysis) menghasilkan ukuran pembenh tanah 769,3-2906,3 nm (Beta) dan 633,8-2456,9 nm (Biochar SP50). Pembenh tanah Beta Humat dan Biochar SP50 Humat merupakan formula pembenh tanah Beta dan Biochar SP50 yang diperkaya senyawa humat. Senyawa humat yang digunakan berasal dari batu bara dengan proporsi sebesar 10% (persen berat).

Penelitian dilaksanakan pada tanah Podsolik Merah Kuning (Kanhapludults) dengan menggunakan ukuran petak 3 x 4,2 m untuk setiap perlakuan. Formula pembenh tanah diaplikasikan pada saat pengolahan tanah terakhir lalu diinkubasi selama satu minggu, selanjutnya dilakukan penanaman kedelai. Tanaman kedelai ditanam dengan jarak tanam 15 cm x 30 cm. Pupuk anorganik yang diberikan per petak adalah Urea 375 g, SP36 750 g dan KCl 375 g atau setara dengan Urea 100 kg ha⁻¹, SP36 200 kg ha⁻¹ dan KCl 100 kg ha⁻¹. Pengambilan contoh tanah komposit (sifat kimia tanah) dan contoh tanah tidak

terganggu (sifat fisik tanah) dilakukan pada kedalaman 0-20 cm. Contoh tanah komposit diambil dengan menggunakan bor berukuran 1 inchi dan diambil dari 5 titik pengambilan kemudian dicampur lalu diambil $\pm 0,5$ kg. Pengambilan contoh tanah utuh (tidak terganggu dilakukan dengan menggunakan ring sample berukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 4 cm. Parameter yang diamati meliputi: (1) kualitas formula pembenh tanah biochar: pH H₂O, C-organik (pengabuan), N-total (Kjeldahl), kadar P₂O₅, K₂O, CaO dan MgO (pengabuan basah dengan HNO₃ dan HClO₄), Kapasitas Tukar Kation (NH₄OAc pH 7) dan Fe (Asam dithionate, AAS), dianalisis sebelum diaplikasikan, (2) sifat tanah: BD dan porositas (gravimetri), pF (pressure plate), ketahanan tanah (penetrologger) umur tanaman 3 minggu setelah tanam, pH H₂O, Kapasitas tukar kation atau KTK (NH₄OAc, pH 7), C-organik (Walkley dan Black), N-total (Kjeldahl), P-Bray dan K HCl 25%, yang contoh tanahnya diambil 1 minggu sebelum panen serta 3) tinggi tanaman umur 3, 5 dan 8 minggu setelah tanam (MST) yaitu 10 tanaman per petak, berat biji kering dan berat biomas kering kedelai per petak.

Lahan penelitian Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Lampung Timur tergolong kelas tekstur lempung liat berpasir, dengan proporsi pasir cukup tinggi (57%) sehingga tanah tergolong kurang stabil, ditunjukkan dengan stabilitas agregat tanah hanya 46,2% (Tabel 1). Bulk Density (BD) tanah cukup tinggi, yaitu 1,41 g cm⁻³ dengan ruang pori total (RPT) 41,2 % vol. Kedua sifat fisik tanah tersebut mencerminkan bahwa tanah tersebut padat. Proporsi fraksi pasir yang cukup tinggi (57%) mengakibatkan persen pori drainase cepat (PDC) tergolong tinggi (17,4%) dan permeabilitas tanahnya tergolong agak cepat, maka tanah di lokasi penelitian akan cepat kehilangan air pada daerah perakaran (0-20 cm). Berdasarkan sifat tanah tersebut, maka tanah di lokasi penelitian tergolong telah terdegradasi sehingga kemampuannya memenuhi kebutuhan tanaman tergolong rendah.

Tabel 1. Sifat fisik tanah di lokasi penelitian Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Lampung Timur. Contoh tanah diambil tanggal 5 April 2013

Table 1. Soil physical properties at the research site of Sarirejo village, Sukadana Subdistrict, East Lampung. Soil samples were taken on April 5, 2013

Sifat fisik tanah	Nilai	Sifat fisik tanah	Nilai
Tekstur pasir (%)	57	Kadar air pF 2,54	19,6
Tekstur debu (%)	13	Kadar air pF 4,2	12,6
Tekstur liat (%)	30	Pori drainase cepat/PDC (% vol.)	17,4
Bulk Density/BD (g cm ⁻³)	1,41	Pori drainase lambat (% vol.)	4,1
Ruang Pori Total (% vol.)	41,2	Pori air tersedia/PAT (% vol.)	7,0
Kadar air pF 1,0 (% vol.)	40,8	Permeabilitas (cm jam ⁻¹)	7,88
Kadar air pF 2,0 (% vol.)	23,8	Stabilitas agregat (%)	46,2

Kesuburan tanah di lokasi penelitian tergolong rendah, dicirikan dengan pH tanah yang sangat masam, kandungan hara makro tergolong rendah sampai sangat rendah, kapasitas tukar kation tanah hanya sekitar 4,65 cmol_c kg⁻¹ dan kandungan Al_{td} sekitar 2,02 cmol_c kg⁻¹ (Tabel 2). Sifat kimia tanah yang baik hanya terlihat dari kandungan P tersedia (P₂O₅ Bray I) yang tergolong sangat tinggi (27 mg kg⁻¹).

Analisis data dilakukan secara statistik terhadap variabel yang diamati, menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) atau uji keragaman dengan selang kepercayaan 95%. Untuk melihat pengaruh beda nyata dari peubah akibat perlakuan, dilakukan uji jarak berganda Duncan (DMRT= *Duncan Multiple Range Test*) pada taraf α 5%.

Hasil dan Pembahasan

Kualitas formula pembenah tanah

Formula pembenah tanah yang diuji merupakan hasil serangkaian penelitian yang dilakukan di Balai Penelitian Tanah, BBSDLP, Balitbang Pertanian. Hasil analisis

masing-masing formula pembenah tanah menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kualitas masing-masing formula pembenah tanah sesuai dengan bahan baku dan teknik formulasinya. Bahan baku utama formula pembenah tanah Vulkanorf K424 adalah abu vulkanik dengan struktur berongga, mengandung P tinggi (3,72% P₂O₅) sehingga mampu menyimpan hara dan air yang dibutuhkan tanaman, sekaligus sebagai sumber hara yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Balai Penelitian Tanah 2012). Abu vulkanik berukuran < 2,5 μ m berfungsi sebagai mineral bioreactivity sangat membantu berinteraksi dengan bahan lain (Jones dan Berube 2011), sehingga diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pembenah tanah dalam merehabilitasi lahan terdegradasi. Formula pembenah tanah Vulkanorf K424 kaya kandungan P, Ca dan Mg, dan mempunyai kandungan karbon yang paling tinggi, juga mengandung Fe paling tinggi (19.068 ppm) dibandingkan formula pembenah tanah lainnya (< 5.000 ppm) (Tabel 3).

Formulasi pembenah tanah Submikron dimaksudkan untuk mencapai ukuran nano agar terjadi peningkatan

Tabel 2. Sifat kimia tanah di lokasi penelitian Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Kabupaten Lampung Timur. Contoh tanah diambil tanggal 5 April 2013

Table 2. Soil chemical properties at the research site of Sarirejo Village, Sukadana Subdistrict, East Lampung. Soil samples were taken on April 5, 2013

Sifat kimia tanah	Nilai	Sifat kimia tanah	Nilai
pH H ₂ O	3,52 Sangat masam	K ₂ O HCl 25% (mg 100g ⁻¹)	6 Sangat rendah
pH KCl	3,74	Ca (cmol _c kg ⁻¹)	2,85 Rendah
C-organik (%)	1,06 Rendah	Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0,12 Sangat rendah
N-Organik (%)	0,13 Rendah	KTK (cmol _c kg ⁻¹)	4,65 Sangat rendah
P ₂ O ₅ Bray I (mg kg ⁻¹)	27 Sangat tinggi	Al (cmol _c kg ⁻¹)	2,02
P ₂ O ₅ HCl 25% (mg 100g ⁻¹)	20 Rendah	H (cmol _c kg ⁻¹)	0,20

Tabel 3. Sifat kimia formula pembenah tanah yang diuji di Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Lampung Timur

Table 3. Chemical properties of soil conditioner formulas tested at Sarirejo village, Sukadana Subdistrict, East Lampung

Formula pembenah tanah	pH H ₂ O	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	KTK	Fe
	 %						cmol _c kg ⁻¹	ppm
Vulkanorf K424 3,0 t ha ⁻¹	8,28	56,50 (1.695,5)	0,95 (28,5)	3,78 (49,5)	0,62 (15,4)	5,46 (117,0)	0,29 (5,2)	tad	19.068
Biochar SP50 Submikron 1,0 t ha ⁻¹	7,40	40,90 (409,0)	0,10 (1,0)	0,71 (3,1)	1,02 (8,5)	1,16 (8,3)	0,38 (2,3)	46,11	2.982
Beta Submikron 1,0 t ha ⁻¹	7,39	47,56 (475,6)	1,06 (10,6)	1,00 (4,4)	0,89 (7,4)	2,00 (14,3)	0,59 (3,5)	61,63	4.932
Beta Humat 1,5 t ha ⁻¹	7,80	32,18 (482,7)	0,95 (14,3)	0,59 (3,9)	0,62 (7,7)	2,02 (21,6)	0,59 (5,3)	26,98	3.942
Biochar SP50 Humat 1,5 t ha ⁻¹	8,10	38,55 (578,3)	0,95 (14,3)	0,61 (4,0)	0,85 (10,6)	1,37 (14,7)	0,58 (5,2)	22,50	3.429

Tad = tidak ada data.

Angka dalam kurung adalah jumlah unsur dalam kg ha⁻¹ pada masing-masing formula pembenah tanah

efektivitas dalam memulihkan tanah-tanah yang terdegradasi, sehingga dapat diaplikasikan dalam dosis yang lebih rasional ($< 2 \text{ t ha}^{-1}$). Beberapa peneliti mengemukakan bahwa perekayasa atom atau molekul atau benda-benda berukuran 1 hingga 100 nm memiliki sifat fisik yang unik yang berbeda dengan sifat asalnya, sehingga dapat dianggap sebagai suatu bahan yang baru (Mukhopadhyay *et al.* 2009). Pengkayaan dengan senyawa humat diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pembena tanah karena senyawa humat mampu menghasilkan efek morfologi, fisiologi dan biokimia terhadap tanaman (Chen dan Aviad 1990, Nardi *et al.* 2002).

Formula pembena Biochar SP50 Submikron relatif unggul dalam kandungan K dan kapasitas tukar kation (KTK) dibandingkan formula lainnya, serta mengandung Fe yang paling rendah (2982 ppm). Keunggulan Biochar SP50 Submikron dibandingkan bentuk asalnya adalah terjadi peningkatan kandungan karbon menjadi 40,90% dari semula 32,07% (Nurida *et al.* 2013) dan kapasitas tukar kation (KTK) menjadi 46,11 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ sebagai akibat meningkatnya luas permukaan tanah. Efektivitas pembena tanah berbahan baku biochar lebih ditentukan oleh sifat fisiknya, seperti bentuknya yang berongga dan didominasi mikro dan meso pori sehingga mampu meningkatkan kemampuan menahan air (Shaaban *et al.* 2013). Ditinjau dari sifat kimia formula pembena tanah, pengkayaan dengan senyawa humat meningkatkan kandungan C-total dan pH dibandingkan tanpa humat, yaitu dengan C-total hanya 33,22% (C-total) dan pH 7,1 (Nurida *et al.* 2008).

Pembena tanah Beta diformulasi dari bahan organik dan mineral (zeolite) yang terbukti mampu meningkatkan sifat tanah Podsolik Merah Kuning (Typic Kanhapludults) khususnya sifat fisik tanah bahkan sampai dengan tiga musim tanam dengan dosis 20 t ha^{-1} (Dariah *et al.* 2010). Pembena tanah Beta dalam bentuk Submikron

mempunyai kandungan N dan Mg serta KTK yang relatif lebih tinggi dibandingkan pembena tanah lainnya (Tabel 3), sedangkan pengkayaan dengan senyawa humat tidak memberikan keunggulan komparatif sifat kimia, namun diharapkan senyawa humat dapat berfungsi sebagai binding agent akan sangat membantu dalam meningkatkan agregasi tanah (Lugato *et al.* 2010).

Sifat fisik tanah

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa perbaikan sifat fisik tanah akibat aplikasi pembena tanah paling unggul terlihat pada aplikasi Biochar SP50 Submikron dibandingkan pembena tanah lainnya, terlihat dari persen ruang pori total dan pori air tersedia tanah. Bobot isi (*Bulk Density*/BD) tanah awal sebesar $1,41 \text{ g cm}^{-3}$ (Tabel 1) menurun menjadi 1,30-1,40 g cm^{-3} setelah aplikasi pembena tanah. Kandungan fraksi pasir tanah sebesar 57% (Tabel 1) dan persen pori drainase cepat yang tinggi (17,20% vol.) menyebabkan tanah mudah kehilangan air dari daerah perakaran. Berbagai penelitian membuktikan bahwa biochar efektif dalam meretensi air (Novak *et al.* 2009, Sukartono dan Utomo 2012, Yu *et al.* 2013). Selain itu, perekayasa dalam bentuk Submikron akan meningkatkan efektifitasnya dalam meretensi air sehingga pori air tersedia yang diberi pembena tanah Biochar SP50 sub mikron tergolong paling tinggi yaitu 11,0 % vol. Bila dibandingkan dengan persen pori air tersedia (PAT) sebelum aplikasi perlakuan hanya sekitar 7 % vol., maka aplikasi pembena tanah yang diuji mampu meningkatkan PAT menjadi 9,03-11,00 % vol. Sifat biochar yang kaya pori mikro dan meso yang mampu meningkatkan kemampuan menahan air, sangat menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman kedelai jika diaplikasikan pada tanah berpasir yang luas permukaan spesifik tanahnya terbatas (Shaaban *et al.* 2013).

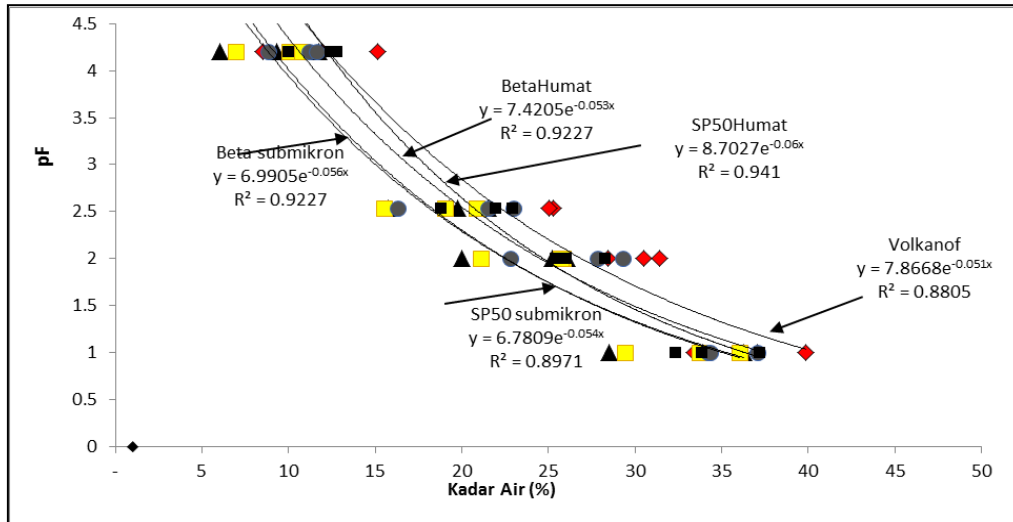
Gambar 1 menunjukkan kurva pF tanah dari aplikasi beberapa formula pembena tanah, sebagai gambaran dari

Tabel 4. Sifat fisik tanah di bawah pengaruh aplikasi pembena tanah di lahan kering masam Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Lampung Timur. Contoh diambil bulan Juli 2013

Table 4. Soil physical properties under different treatments of soil conditioner formulas added to the upland acid soil of Sarirejo Village, Sukadana subdistrict, East Lampung. Soil samples were taken on July 2013

Formula pembena tanah	<i>Bulk density</i> (BD) g cm^{-3}	Ruang Pori Total (RPT) % vol	Pori Drainase Cepat (PDC) % vol	Pori Air Tersedia (PAT) % vol
Volkanorfs K424 $3,0 \text{ t ha}^{-1}$	1,30 a	37,47 b	12,80 b	10,20 ab
Biochar SP50 Submikron $1,0 \text{ t ha}^{-1}$	1,37 a	45,07 a	17,20 a	11,00 a
Beta Submikron $1,0 \text{ t ha}^{-1}$	1,40 a	40,17 ab	12,77 b	9,03 b
Beta Humat $1,5 \text{ t ha}^{-1}$	1,37 a	36,47 b	12,27 b	9,03 b
Biochar SP50 Humat $1,5 \text{ t ha}^{-1}$	1,40 a	42,90 a	15,83 ab	10,43 ab

Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada $\alpha 5\%$.



Gambar 1. Kurva pF pada aplikasi formula pembenah tanah di lahan kering masam, Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Lampung Timur

Figure 1. *pF* curve of the studied upland acid soil of Sarirejo village Sukadana Subdistrict, East Lampung, treated with different conditioner formulas

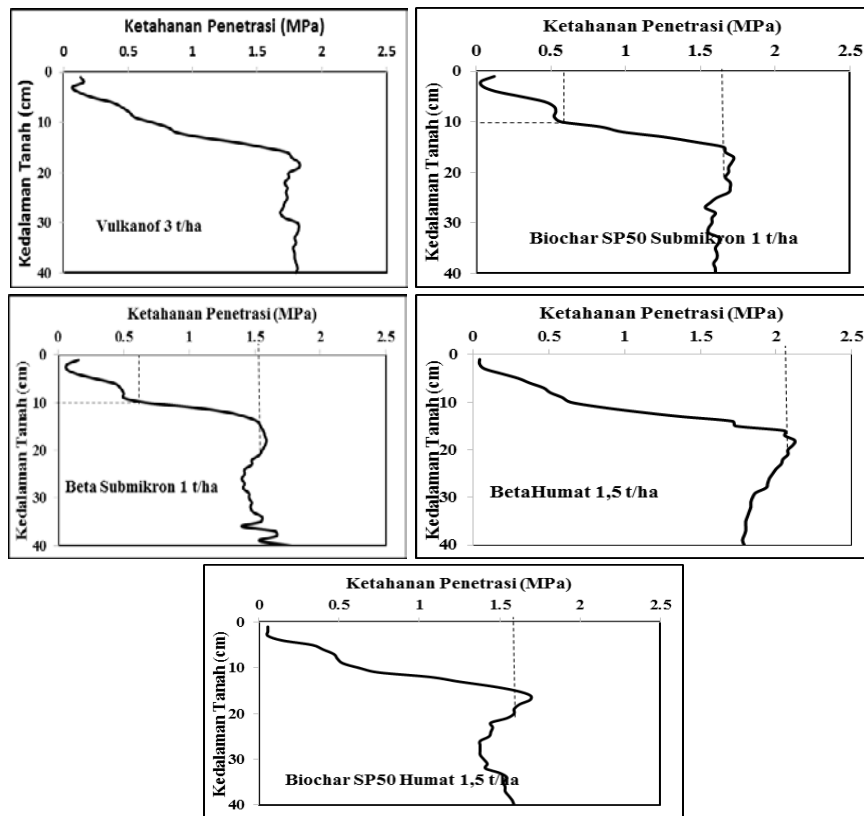
kemampuan tanah untuk meretensi air secara alami pada kekuatan tekanan tertentu (Sudirman *et al.* 2006). Pembenah tanah Volkanorf K424 melepaskan air tanah lebih lambat dibandingkan pembenah tanah Beta dan Biochar SP50 yang diperkaya humat, sedangkan tanah yang diberi Beta dan Biochar SP50 Submikron ternyata lebih cepat dalam melepaskan air tanah. Namun demikian, air tersedia tertinggi diperoleh pada aplikasi pembenah tanah Biochar SP50 Submikron yaitu sebesar 11,00 % vol, diikuti Biochar SP50 Humat dan Volkanorf K424. Air tersedia pada aplikasi ketiga pembenah tanah tersebut tergolong sedang, sedangkan aplikasi Beta (Submikron dan Humat) tergolong rendah. Air tersedia pada kondisi awal hanya 7% vol, setelah aplikasi pembenah tanah meningkat menjadi 9,03-11,00 % vol meningkat sekitar 29-57%. Fakta tersebut menunjukkan bahwa semua formula pembenah tanah yang diuji dapat digunakan untuk meningkatkan air tersedia.

Lahan kering masam yang umumnya terletak pada wilayah dengan intensitas curah hujan tinggi sangat rentan untuk terjadinya pembentukan kerak di permukaan tanah (crusting). Pada awal pertumbuhan tanaman (umur 1-21 hari) curah hujan cukup tinggi sehingga dikhawatirkan terjadi crusting pada permukaan tanah (0-10 cm) yang dapat menghambat pertumbuhan kedelai. Menurut Suwardjo (1981), daya penetrasi akar tanaman kedelai sekitar 1,5 MPa, jika tanah memiliki ketahanan lebih besar dari 1,5 MPa maka pertumbuhan tanaman kedelai akan sangat terhambat. Hasil pengamatan ketahanan penetrasi tanah pada umur 3 minggu setelah tanam (MST) dapat dilihat pada Gambar 2.

Hasil pengukuran ketahanan penetrasi tanah menunjukkan tidak terjadi crusting pada kedalaman tanah 0-3 cm terlihat dari ketahanan penetrasi yang sangat rendah < 0,3 MPa bahkan pada kedalaman sampai 10 cm terlihat ketahanan penetrasi tanahnya < 1 MPa (Gambar 2). Pada kedalaman 20 cm ketahanan penetrasi tanah sekitar < 2,0 MPa pada seluruh formula pembenah tanah, kecuali pada aplikasi Beta Humat mencapai > 2,0 MPa. Aplikasi Beta Submikron, Biochar SP50 Humat dan Volkanorf K424 mampu memberikan kondisi tanah yang relatif gembur sehingga tidak mengganggu pertumbuhan tanaman. Formulasi Beta menjadi bentuk Submikron memberikan efek yang baik terhadap ketahanan penetrasi tanah di daerah perkembangan perakaran kedelai (0-20 cm). Selain itu, efek pengolahan tanah hanya mampu mengemburkan lahan sampai kedalaman 20 cm saja, selebihnya tidak tersentuh oleh efek pengolahan tanah karena masih mempunyai ketahanan penetrasi yang hampir sama yaitu > 1,5 MPa.

Sifat kimia tanah

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa sifat kimia tanah yang dipengaruhi secara nyata oleh perbedaan pembenah tanah adalah pH tanah, P-tersedia, dan kandungan Al_{dd}. Sifat kimia lainnya seperti C-organik, N-organik, P-total, K-total dan KTK tidak berbeda nyata antar pembenah tanah. Aplikasi formula pembenah tanah Volkanorf K424 lebih unggul dalam memperbaiki sifat kimia tanah di lahan kering masam dibandingkan formula pembenah tanah lainnya. Pembenah tanah Volkanorf K424 mampu



Gambar 2. Ketahanan tanah pada tiga minggu sesudah tanam dengan beberapa aplikasi formula pembenh tanah
 Figure 2. Soil penetration at three weeks after soybean planting under different soil conditioner formulas

Tabel 5. Sifat kimia tanah di bawah pengaruh aplikasi pembenh tanah di lahan kering masam Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Lampung Timur. Contoh diambil bulan Juli 2013

Table 5. Soil chemical properties under different treatments of soil conditioner formulas added to the upland acid soil of Sarirejo Village, Sukadana Subdistrict, East Lampung. Soil samples were taken on Juli 2013

Formula pembenh tanah	pH H ₂ O	C-organik	N-organik	P- tersedia	P-total	K-total	KTK	Al
	 %	ppm mg 100g ⁻¹ cmol _c kg ⁻¹		
Volkanorf K424 3,0 t ha ⁻¹	4,08 a	1,07 a	0,06 a	40,70 a	18,33 a	1,66 a	4,97 a	1,37 b
Biochar SP50 Submikron 1,0 t ha ⁻¹	3,79 bc	0,99 a	0,06 a	17,90 b	14,67 ab	2,25 a	4,84 a	1,69 ab
Beta Submikron 1,0 t ha ⁻¹	3,74 c	0,99 a	0,04 a	21,17 ab	10,67 b	2,25 a	4,78 a	1,94 a
Beta Humat 1,5 t ha ⁻¹	3,97 ab	1,02 a	0,05 a	28,89 ab	18,00 a	2,97 a	4,32 a	1,40 b
Biochar SP50 Humat 1,5 t ha ⁻¹	3,88 abc	0,98 a	0,06 a	20,31 ab	16,00 a	1,73 a	4,52 a	1,53 b

Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada α 5%.

meningkatkan pH, kandungan P-total dan P-tersedia, serta mampu menurunkan Al_{dd} hingga 1,37 cmol_c kg⁻¹ (Tabel 5). Kemampuan pembenh tanah Volkanorf K424 dalam meningkatkan pH sangat terkait dengan sifat kimianya yaitu pH Volkanorf mencapai 8,28 dan kandungan Ca cukup tinggi yaitu 5,46% (Tabel 3). Selain itu, kandungan P₂O₅ formula pembenh tanah Volkanorf K424 mencapai 3,78% (Tabel 3) sehingga dengan dosis 3 t ha⁻¹ mampu mensuplai P₂O₅ sebanyak 113,4 kg ha⁻¹ atau setara 48,8 kg P ha⁻¹.

Jika dibandingkan dengan kondisi awal, perbaikan sifat kimia tanah yang paling utama terlihat pada peningkatan pH tanah dan penurunan kandungan Al_{dd} tanah. pH awal sebesar 3,52 setelah aplikasi pembenh tanah meningkat menjadi 3,74-4,08, sedangkan kandungan Al_{dd} tanah menurun menjadi 1,37-1,94 cmol_c kg⁻¹ (Tabel 5) dari semula 2,02 cmol_c kg⁻¹ (Tabel 1). Pembenh Volkanorf K424, Beta Humat dan Biochar Humat mampu menurunkan kandungan Al_{dd} lebih nyata. Hasil penelitian Wahyudi (2009) menunjukkan bahwa pemberian asam

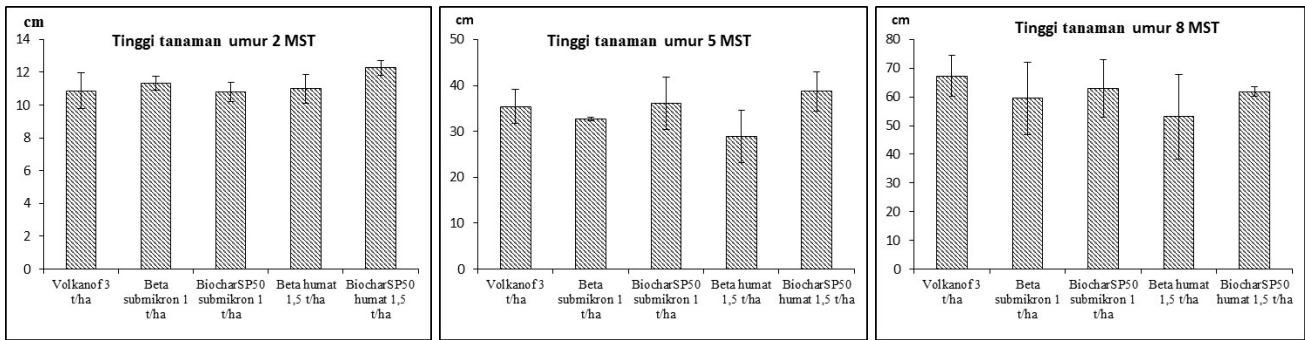
humat dan fulvat dari kompos *Glericidia sepium* dan *Titonia diversifolia* 80 t ha⁻¹ mampu menurunkan toksisitas aluminium sebesar 73,5 dan 80,6% pada Ultisol. Pada Podsolik Merah Kuning (Ultisol) Taman Bogo, Beta Humat dan Biochar Humat dengan dosis 1,5 t ha⁻¹ mampu menurunkan toksisitas aluminium masing-masing sebesar 44,3 dan 40,5%.

Pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai

Pertumbuhan tanaman kedelai pada umur 2, 5 dan 8 minggu setelah tanam (MST) menggambarkan pertumbuhan awal, umur primordia dan menjelang panen. Pertumbuhan tanaman kedelai terbaik dan relatif konsisten terlihat pada aplikasi Volkanorf K424, Biochar SP50 Submikron dan Biochar SP50 Humat. Pertumbuhan (tinggi tanaman) maksimal yang dicapai oleh ketiga pembenah tanah tersebut cukup tinggi yaitu sekitar 70 cm (Gambar 3). Aplikasi Beta Submikron dan Biochar Humat tidak memberikan tinggi tanaman yang maksimal (< 60 cm). Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa formula Biochar SP50

Humat dan Beta Submikron belum efektif untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai di lahan kering masam. Terhambatnya pertumbuhan pada kedua formula pembenah tanah tersebut, kemungkinan berkaitan dengan terhambatnya pertumbuhan tanaman pada umur 3 MST akibat adanya pemadatan seperti terlihat dari ketahanan penetrasi tanah yang lebih tinggi seperti dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 6 memperlihatkan bahwa pemberian pembenah tanah Volkanorf K424, Biochar SP50, Beta Submikron, serta Beta Humat mampu menghasilkan berat biji kering kedelai sebesar 1,44-1,58 t ha⁻¹, sedangkan aplikasi Biochar SP50 Humat hanya mampu menghasilkan biji kering 1,32 t ha⁻¹. Formula Volkanorf K424 dengan bahan baku abu vulkanik mengandung Ca yang cukup tinggi (Tabel 3), sehingga mempunyai efek pemupukan Ca yang menguntungkan bagi pertumbuhan dan hasil kedelai. Tingginya kandungan Ca dalam abu vulkanik juga ditemukan oleh Ruggieri *et al.* (2009) di lingkungan sekitar letusan Gunung Chaiten di Chile. Pertumbuhan



Gambar 3. Tinggi tanaman kedelai umur 2, 5, dan 8 minggu setelah tanam (MST) pada aplikasi formula pembenah tanah di Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Lampung Timur

Figure 3. Soybean plant height at 2, 5, and 8 weeks after planting (WAP) under different soil conditioner formulas added to the upland acid soil of Sarirejo Village, Sukadana Subdistrict, East Lampung

Tabel 6. Hasil kedelai pada aplikasi formula pembenah tanah di lahan kering masam, Desa Sarirejo, Kecamatan Sukadana, Lampung Timur

Table 6. Soybean yield as influenced by different soil conditioner formulas added to the upland acid soil of Sarirejo Village, Sukadana subdistrict, East Lampung

Formula pembenah tanah	Biomassa basah	Biomassa kering	Biji kering
 t ha ⁻¹		
Volkanorf K424 3,0 t ha ⁻¹	5,41 a	3,15 a	1,49 a
Biochar SP50 Submikron 1,0 t ha ⁻¹	5,86 a	2,21 b	1,50 a
Beta Submikron 1,0 t ha ⁻¹	4,28 a	2,55 b	1,44 a
Beta Humat 1,5 t ha ⁻¹	3,48 b	3,25 a	1,58 a
Biochar SP50 Humat 1,5 t ha ⁻¹	4,98 a	2,90 ab	1,32 b

Angka pada kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada α 5%.

vegetatif pada aplikasi Beta Humat tidak mengakibatkan rendahnya produksi yang dihasilkan. Formula Beta yang didominasi bahan organik dan diperkaya humat dapat memberikan efek fisiologi bagi tanaman kedelai sehingga mampu memberikan hasil biji kedelai yang lebih tinggi dibandingkan formula lainnya. Sementara itu, aplikasi Biochar SP50 Submikron memberikan pertumbuhan yang stabil dan hasil kedelai mencapai $1,50 \text{ t ha}^{-1}$ dengan dosis yang efisien sekitar $1,5 \text{ t ha}^{-1}$. Fakta tersebut, akan menunjukkan terjadinya peningkatan efektivitas formula pembena tersebut.

Hasil kedelai yang diperoleh tergolong cukup tinggi untuk lahan kering masam dengan tingkat kesuburan tanah yang rendah. Kandungan Al_{dd} awal di lokasi penelitian sekitar $2,02 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Tabel 3), setelah aplikasi pembena tanah menurun menjadi $1,37\text{-}1,94 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Tabel 5), atau kejenuhan aluminium menurun dari 43,4% menjadi 27,6-40,6%. Pada kondisi kesuburan tanah demikian, biji kering kedelai yang dihasilkan mencapai $1,32\text{-}1,58 \text{ t ha}^{-1}$, tergolong cukup baik. Hasil penelitian Sudaryono *et al.* (2011) pada lahan kering masam Rumbia, Lampung Tengah dengan kandungan Al_{dd} awal pada lapisan tanah 0-20 cm hanya 0,44 dan 0,88 me 100gr^{-1} , lalu diaplikasikan dolomit 300-450 kg ha^{-1} dan pupuk kandang 500-1.000 kg ha^{-1} , hasil kedelai yang diperoleh sekitar $2,0\text{-}2,09 \text{ t ha}^{-1}$. Ditinjau dari hasil biji kering kedelai yang dihasilkan, maka pengelolaan lahan kering masam telah terdegradasi untuk tanaman kedelai cukup prospektif bila diaplikasikan pembena tanah yang berkualitas dan dikombinasikan dengan penggunaan varietas kedelai yang adaptif.

Kesimpulan

Aplikasi pembena tanah mampu meningkatkan kualitas sifat fisik lahan kering masam yang sudah terdegradasi, namun yang paling potensial adalah kemampuan formula Biochar SP50 Submikron dalam meningkatkan air tersedia tanah hingga mencapai 11,0% vol. yang sangat menguntungkan bagi tanah yang mempunyai tekstur berpasir.

Perbaikan sifat kimia tanah yang paling nyata terlihat dari peningkatan pH, kandungan fosfor dan penurunan kandungan Al_{dd} , khususnya pada aplikasi formula pembena tanah Volkanorf K424 sebagai dampak dari tingginya kandungan Ca dan P dalam formula tersebut.

Pertumbuhan tanaman hingga umur 8 minggu setelah tanam mencapai 65-70 cm, tergolong pertumbuhan normal. Aplikasi Beta Submikron dan Biochar Humat tidak memberikan tinggi tanaman yang maksimal, hanya

mencapai < 60 cm. Pertumbuhan akar terhambat akibat ketahanan penetrasi tanah yang lebih tinggi pada umur 3 MST.

Hasil biji kering kedelai yang dihasilkan sekitar $1,44\text{-}1,58 \text{ t ha}^{-1}$, kecuali formula Biochar SP50 Humat hanya menghasilkan $1,32 \text{ t ha}^{-1}$, tergolong cukup tinggi untuk lahan kering masam yang telah terdegradasi.

Ditinjau dari perbaikan sifat fisika dan kimia tanah serta hasil biji kering kedelai, aplikasi formula pembena tanah alternatif Biochar SP50 Submikron dan Volkanorf K424 merupakan pembena tanah yang prospektif digunakan dalam pengelolaan lahan kering masam terdegradasi untuk tanaman kedelai.

Daftar Pustaka

- Arsyad, D.M. dan Purwantoro. 2010. Toleransi galur kedelai terhadap lahan kering masam. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 29(2):98-104.
- Arsyad, D.M., A. Tanjung, I. Nasution, dan Asadi. 1996. Pembentukan varietas unggul kedelai toleran lahan kering masam. I. Keragaman genetik dan pemilihan tetua. Pp 87-92. *In Sumarno et al. (Eds.). Prosiding Simposium Pemuliaan Tanaman IV. PERIPI Jawa Timur.*
- Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald, dan N.A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337:1-18.
- Balai Penelitian Tanah. 2012. Pemanfaatan Abu Volkanik untuk Peningkatan Produktivitas Lahan Suboptimal. Laporan Akhir Penelitian Insentif PKPP. Kerjasama Kementerian Riset dan Teknologi dengan Badan Penelelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. 2014. Laporan Teknis Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran, dan Potensi Ketersediaan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 62 hal.
- Basri, I.H. dan Z. Zaini. 1992. Research at the upland farming system key site in Sitiung. Pp 221-241. *In Proceeding of Upland Rice-Based Farming Systems Research Planning Meeting, 18 April-1 May 1992. Chiangmay, Thailand. International Rice Research Institute. Manila. Philipines.*
- Chen, Y. dan T. Aviad. 1990. Effect of humic substance on plant growth. Pp 161-186. *In MacCarthy, P., C.E. Clapp, R.L. Macolm, P.R. Bloom (Eds.). Humic Substance in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. SSSA, Madison,*
- Dariah, A., Sutono, dan N.L. Nurida. 2010. Penggunaan pembena tanah organik dan mineral untuk perbaikan kualitas tanah Typic Kanhapludults Tamanbogo, Lampung. *Jurnal Tanah dan Iklim* 31:1-9.
- Dariah, A. dan N.L. Nurida. 2011. Formula pembena tanah diperkaya senyawa humat untuk meningkatkan produktivitas tanah Ultisol Tamabogo, Lampung. *Jurnal Tanah dan Iklim* 33:33-38.
- Glaser, B., J. Lehmann, dan W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered

- soils in the tropics with charcoal: A review. *Biol. Fertil. Soils* 35:219-230.
- Jeffery, S., F.G.A Verheijen, M van der Velde, dan A.C. Bastos. 2011. A quantitative review of the effects of *biochar* application to soil on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment* 144(1): 175-187.
- Jones, T. dan K Berube. 2011. The bioreactivity of the sub-10 µm component of volcanic ash, Sou Friere Hills Volcano Montserrat. *Journal of Hazardous Materials* 194:128-134.
- Kurnia, U. 1996. Kajian Metode Rehabilitasi Lahan untuk Meningkatkan dan Melestarikan Produktivitas Tanah. Disertasi Fakultas Pasca Sarjana, IPB. Bogor.
- Lugato, E., G. Simonetti, F. Morari, S. Nardi, A. Berti, dan L. Giardini. 2010. Distribution of organic and humic carbon in wet-sieved aggregates of different soils under long-term fertilization experiment. *Geoderma* 157:80-85.
- Mukhopadhyay, S.S., V.R Parshad, dan I.S Gill. 2009. Nano-science and nano-technology: Cracking prodigal farming. *Nature Precedings*.
- Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo, dan A. Vianello. 2002. Physiological effect of humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem.* 34:1527-1536.
- Novak, J.M, I. Lima, B. Xing, J.W. Gaskin, C. Steiner, K. Das, M. Ahmedna, D. Rehrh , D.W. Watts, dan W.J. Busscher. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperature and their effect on a loamy sand. *Annals of Environmental Science* 3(1):195-206.
- Nurida, N.L. 2006. Peningkatan Kualitas Ultisol Jasinga Terdegradasi dengan Pengolahan Tanah dan Pemberian Bahan Organik. Disertasi Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nurida, N.L., A. Dariah, dan A. Rachman. 2008. Kualitas limbah pertanian sebagai bahan baku pembenah berupa *biochar* untuk rehabilitasi lahan. Hlm 209-215. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Nurida, N.L, A. Dariah, dan A. Rachman. 2013. Peningkatan kualitas tanah dengan pembenah tanah biochar limbah pertanian. *Jurnal Tanah dan Iklim* 37(2):69-78.
- Nurida, N.L. 2014. Potensi pemanfaatan biochar untuk rehabilitasi lahan kering di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. Edisi khusus Karakteristik dan Variasi Sumberdaya Lahan Pertanian. Hlm 57-68.
- Rochayati, R., A. Mulyani, dan J.S. Adiningsih. 2005. Pemanfaatan lahan alang-alang. Hlm 39-72. *Dalam* Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian, Jakarta.
- Rochayati, S. dan A. Dariah. 2012. Perkembangan lahan kering masam: peluang, tantangan dan strategi serta teknologi pengelolaan. Hlm 187-206. *Dalam* Prospek Pertanian Lahan Kering dalam mendukung Ketahanan Pangan. Editor Dariah *et al.* Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Ruggieri, F., J.L. Fernandes-Tarief, J. Saavedra, D. Gimeno, E. Polanco, A. Amigo, G. Galindo, dan A. Casseli. 2009. Contribution of volcanic ashes to the regional geochemical balances: the 2008 eruption of Chaiten volcano, Southern Chile. *Source of The Total Environment* 425:75-88.
- Santoso, D., I P.G. Wigena, Z. Eusof, dan C. Xuhui. 1995. The ASIALAND management of slopping lands network: Nutrient balance study on slopping land. Pp 93-108. International Workshop on Conservation farming for Slopping Upland in South East Asia: Challenges, Opportunities, and Prospects. IBSRAM Proc. No 14. Bangkok, Thailand.
- Santoso, D. dan A. Sofyan. 2005. Pengelolaan hara tanaman pada lahan kering. Hlm 73-100. *Dalam* Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Shaaban, A., Sian-Meng Se, N. Merry, M. Mitan, dan M.F. Dimin. 2013. Characterization of biochar derived from rubber wood sawdust though slow pyrolysis on surface porosities and functional groups. *Procedia Engineering* 68:365-371.
- Spokas, K.A., K.B. Cantell, J.M. Novak, D.W. Archer, J.A. Ippolito, H.P. Collin, A.A. Boateng, I.M. Lima, M.C. Lamb, A.J. Mc Aloon, R.D. Lentz, dan K.A. Nichols. 2012. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* 41(4):973-989.
- Sudaryono, A. Wijarnako, dan Suyamto, 2011. Efektivitas kombinasi ameliorant dan pupuk kandang dalam meningkatkan hasil kedelai pada tanah Ultisol. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 30(1):43-51.
- Sudirman, S. Sutono, dan I. Juarsah. 2006. Penetapan retensi air tanah di laboratorium *dalam* Undang Kurdia (Editor): Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Hal 167-176. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Sukartono dan W.H. Utomo. 2012. Peranan biochar sebagai pembenah tanah pada pertanaman jagung di tanah lempung berpasir (*sandy loam*) semiarid tropis Lombok Utara. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kelaman: Buana Sains*. Tribhuana Press. 12(1):91-98.
- Sumarno, T. Sutarman, dan Soegito. 1989. Grain legumes breeding for wetland and acid soil adaptation. *Cent. Res. Inst. For Food Crop.* 63p.
- Swardjo. 1981. Peranan Sisa-Sisa Tanaman dalam Konservasi Tanah dan Air pada Usahatani Tanaman Semusim. Disertasi Doktor Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Taupiq A., H. Kuntastuti, C. Prahoro, dan T. Wardani. 2007. Pemberian kapur dan pupuk kandang pada kedelai di lahan kering masam. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 26(1):78-85.
- Wahyudi, I. 2009. Manfaat Bahan Organik Terhadap Peningkatan Ketersediaan Fosfor dan Penurunan Toksisitas Aluminium di Ultisol. Disertasi Program Doktor Universitas Brawijaya. Malang. 121 hal.
- Yu Ok-You, R. Brian, dan S. Sam. 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. 4:4. <http://www.journal.ijeee.com/content/4/1/44> (didownload 24 Mei 2014).