

PERANAN BIOMASSA TANAMAN KACANG-KACANGAN SEBAGAI BIOREMEDIASI UNTUK MENINGKATKAN KESUBURAN KIMIAWI ULTISOL

Andy Wijanarko ¹⁾

ABSTRAK

Peranan Biomassa Tanaman Kacang-kacangan Sebagai Bioremediasi untuk Meningkatkan Kesuburan Kimiawi Ultisol. Ultisol umumnya berkembang dari bahan induk tua dan mempunyai kendala kemasaman tanah yang berhubungan dengan pH kurang dari 5,5 dan adanya aluminium (Al) yang dapat dipertukarkan dalam tanah dalam jumlah cukup besar, defisiensi fosfor dan sebagian unsur makro lainnya. Aluminium merupakan salah satu unsur yang meracuni pada tanaman apabila dalam konsentrasi tinggi. Pemberian bahan organik dapat mengurangi tingkat keracunan Al pada tanaman yaitu melalui peningkatan pH tanah, pembentukan kompleks Al dengan bahan humat dan pembentukan kompleks Al dengan asam organik. Pemberian bahan organik berupa tanaman kacang-kacangan, di samping dapat membentuk kompleks dengan Al juga dapat meningkatkan kesuburan tanah. Bahan organik yang berasal dari kacang-kacangan dapat meningkatkan kesuburan kimiawi tanah melalui penambahan N, P, S, dan basa-basa tanah (K, Ca, Mg, dan Na) sedangkan bahan organik yang berasal dari tanaman non kacang-kacangan dapat meningkatkan kesuburan fisika tanah yaitu meningkatkan stabilitas agregat, porositas tanah, menurunkan bobot isi dan erosi tanah.

Kata kunci: Aluminium, bahan organik kacang-kacangan, non-kacang-kacangan, Ultisol

ABSTRACT

The Role of the Legumes Biomass as Bioremediation to Increase Soil Fertility on Ultisol. Ultisol generally developed from older parent material and have the soil acidity associated with soil pH less than 5.5, the presence of aluminum (Al), the deficiency of phosphorus and some other macro elements. Aluminum is one element that toxic on the plants when in high concentrations. Organic matter can reduce Al toxicity is by increasing soil pH, complex formation of Al with humic substances and organic acids. Application of organic matter in

the form of legume crops and non-legume to forming complexes with Al also improve soil fertility. Organic matter derived from legumes can improve soil chemical fertility through the addition of N, P, S and soil bases (K, Ca, Mg and Na) whereas organic matter derived from non-legumes can improve soil physical fertility through increasing aggregate stability, soil porosity, reduce bulk density and soil erosion.

Keyword: Aluminum, legume and non legume organic matter, Ultisol.

PENDAHULUAN

Lahan pertanian di luar Jawa sebagian besar merupakan tanah yang berkembang dari bahan induk tua, di antaranya ultisol yang mempunyai pH kurang dari 5,5 (masam), dan aluminium (Al) yang dapat dipertukarkan dalam tanah dalam cukup besar, kahat unsur P, K, Ca dan Mg. Pertumbuhan tanaman pada tanah tersebut terkendala oleh pH tanah yang rendah dan Al tinggi. Keracunan Al menyebabkan perkembangan akar terhambat, mengganggu pembelahan sel, dinding sel, reduksi membrane sel, dan sintesa DNA (Rosolem *et al.* 1999).

Selain keracunan Al, ion Al yang terdapat dalam tanah dapat bereaksi dengan ion-ion fosfat membentuk senyawa fosfat yang tidak larut. Mekanisme jerapan fosfat oleh senyawa tersebut terjadi melalui reaksi pertukaran anion, yaitu lepasnya OH⁻ ke larutan tanah setelah terjadi pengikatan fosfat (Tan 2000), sehingga terjadi kekahatan unsur P.

Kemasaman tanah dapat diatasi dengan pengapuran, namun demikian pengapuran yang berlebih dapat menyebabkan kekahatan beberapa unsur mikro sebagai akibat peningkatan pH tanah (Schuch *et al.* 2010). Cara lain untuk mengatasi keracunan Al adalah dengan pemberian bahan organik. Asam fulfat dari bahan organik dapat mengurangi keracunan Al melalui pembentukan kompleks. Hasil dekomposisi bahan organik dapat berupa asam-asam organik misalnya asam sitrat, oksalat, tartrat dan malonat yang berperan dalam mengurangi keracunan Al dan jerapan fosfat. Anion organik dapat membentuk kompleks yang stabil dengan ion-ion Al dan Fe dalam tanah. Keefektifan

¹⁾ Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Jl. Raya Kendalpayak km 8 Kotak Pos 66 Malang

²⁾ Naskah diterima tanggal 12 Oktober 2014; disetujui untuk diterbitkan tanggal 13 April 2015.

anion organik dalam mengurangi keracunan Al berhubungan dengan struktur molekul organik dan konsentrasinya. Asam organik yang mempunyai gugus trikarboksil lebih efektif dibandingkan dengan asam organik dengan gugus dikarboksil dan monokarboksil (Staunton dan Leprince 1996).

Penentuan amelioran yang tepat sangat diperlukan untuk pengelolaan lahan masam. Amelioran yang mampu menonaktifkan Al bebas merupakan suatu kebutuhan untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik di Ultisol.

PENGARUH ALUMINIUM TERHADAP PERTUMBUHAN TANAMAN

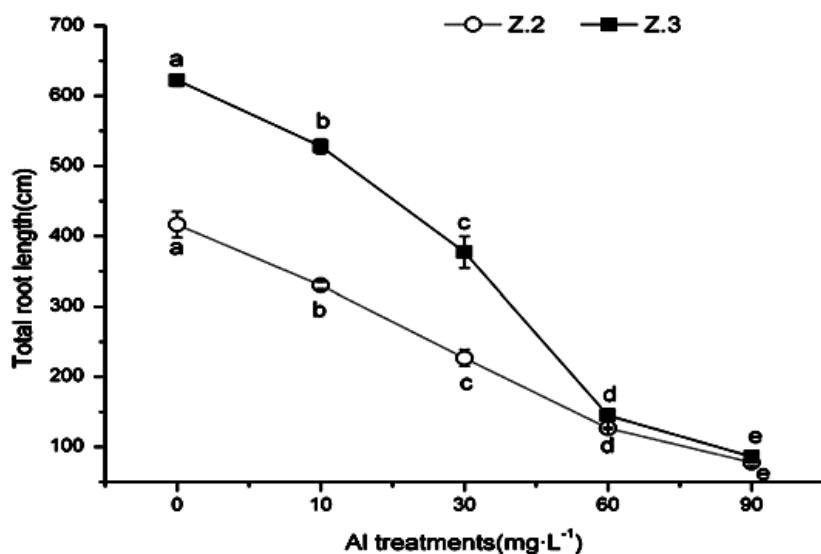
Fungsi fisiologis Al dalam tanaman kurang jelas, meskipun dalam jumlah yang sangat rendah mempunyai pengaruh yang menguntungkan pada pertumbuhan tanaman, terutama pada varietas yang toleran terhadap Al. Pada konsentrasi Al yang tinggi merupakan faktor pembatas dalam produksi tanaman dan penurunan hasil tanaman pada tanah masam sering dihubungkan dengan keberadaan Al (Zheng *et al.* 2007).

Pertumbuhan tanaman yang tidak subur pada tanah masam langsung dapat dihubungkan dengan konsentrasi Al. Keracunan Al menyebabkan kerusakan langsung pada sistem akarnya (Schuch *et al.* 2010). Banyak hasil penelitian yang mengemukakan bahwa Al berpengaruh terhadap perpanjangan akar, sehingga seringkali laju perkembangan akar digunakan untuk membe-

dakan tanaman yang peka dan toleran terhadap Al (Silva *et al.* 2010). Pada konsentrasi Al yang tinggi, perkembangan akar terhambat dan akar menjadi tebal, pendek kaku dan memperlihatkan bagian-bagian yang mati (Timothy dan Copeland 1999), hubungan antara konsentrasi Al dengan panjang akar tersaji pada Gambar 1. Aluminium yang berada di sekitar perakaran dapat menghalangi pembelahan sel di bagian meristem, menghentikan perpanjangan akar dan menyebabkan penetrasi akar menjadi lemah (Care 1995) serta mengganggu proses respirasi perakaran (Pavlovkin *et al.* 2009). Pada tingkat sel, banyaknya jumlah Al dalam tanaman dapat mengganggu pembelahan sel, sifat-sifat protoplasma, dinding sel, reduksi membran dan sintesa DNA. Pada konsentrasi Al yang tinggi pada tanaman kedelai dapat menyebabkan plasmolisis, dinding sel pecah dan isi sel menghilang (Yu *et al.* 2010).

Pengaruh konsentrasi Al yang tinggi juga menyebabkan akar berwarna coklat dan dahan-dahan mengalami reduksi. Akar tanaman menjadi mudah terserang penyakit demikian juga dengan organ tanaman lainnya. Aluminium yang diserap tanaman cenderung berakumulasi di akar tanaman dan sulit ditranslokasikan pada bagian atas tanaman sehingga banyak Al yang ditahan pada dinding sel. Hal ini dapat menyebabkan penurunan permeabilitas akar tanaman terhadap ion dan air, yang menyebabkan tanaman kekurangan unsur hara, akibatnya pertumbuhan tanaman menjadi terganggu.

Sebagai akibat pertumbuhan akar yang terhambat maka pertumbuhan bagian tajuk tana-



Gambar 1. Pengaruh Al terhadap total panjang akar kedelai, Z.2, Z.3: Varietas Zhechun 2, 3 (Yu *et al.* 2010).

man juga terhambat. Hal ini karena akar berfungsi sebagai pemasok hara dari larutan tanah ke bagian tajuk tanaman. Serapan hara P, Mg dan K pada tanaman gandum menurun dengan drastis pada konsentrasi Al yang cukup tinggi yaitu 185 μM (Silva *et al.* 2010). Pada tanaman kacang-kacangan untuk ternak yaitu *Lotus corniculatus*, konsentrasi Al yang tinggi mengganggu proses difusi K (Pavlovkin *et al.* 2009). Penurunan serapan P, di samping karena terjadinya fiksasi oleh Al/Fe, seringkali juga dihubungkan dengan penurunan jumlah koloni mikoriza di akar tanaman sebagai akibat Al yang tinggi (Goransson *et al.* 2008). Pertumbuhan tajuk yang terhambat menyebabkan penurunan indeks luas daun (LAI), penurunan efisiensi penggunaan radiasi cahaya matahari dan akhirnya terjadi penurunan proses fotosintesis pada tanaman gandum (Valle *et al.* 2009, Chen 2006), jagung (Li *et al.* 2010). Kandungan air potensial dalam daunpun akan terjadi penurunan apabila konsentrasi Al dalam tanah tinggi (Giannakoula *et al.* 2008, Li *et al.* 2010).

Proses kerusakan akar akibat Al biasanya tergantung dari konsentrasi Al dalam tanah. Timothy dan Copeland (1999) mengemukakan bahwa Al pada konsentrasi di atas 40 Mm, pertumbuhan akar menjadi terhambat dengan kerusakan sel terutama pada sel daerah tudung akar. Berbeda pada akar white clover (*Trifolium repen L*) pada konsentrasi Al^{3+} sebesar 2,2 mM sudah terjadi penurunan panjang akar dan jumlah akar. Pada konsentrasi Al^{3+} sebesar 4,4 mM atau lebih tinggi, rambut-rambut akar menjadi sangat pendek dan menebal (Care 1995).

Proses keracunan Al, di samping disebabkan oleh konsentrasi Al yang tinggi di dalam tanah, juga bergantung pada jenis tanamannya karena tingkat toleransi tanaman terhadap keracunan Al berbeda-beda. Hasil penelitian Alexander *et al.* (1999) menunjukkan bahwa jagung atau gandum pada konsentrasi Al sebesar 50 mM masih dapat tumbuh dengan baik. Hal ini terjadi karena pada tanaman ini mampu menghasilkan eksudat berupa asam phenolik yang dapat membentuk ikatan kompleks dengan Al, sehingga terjadi immobilisasi Al. Adanya asam-asam organik hasil eksudat sangat efektif dalam proses pengurangan keracunan Al.

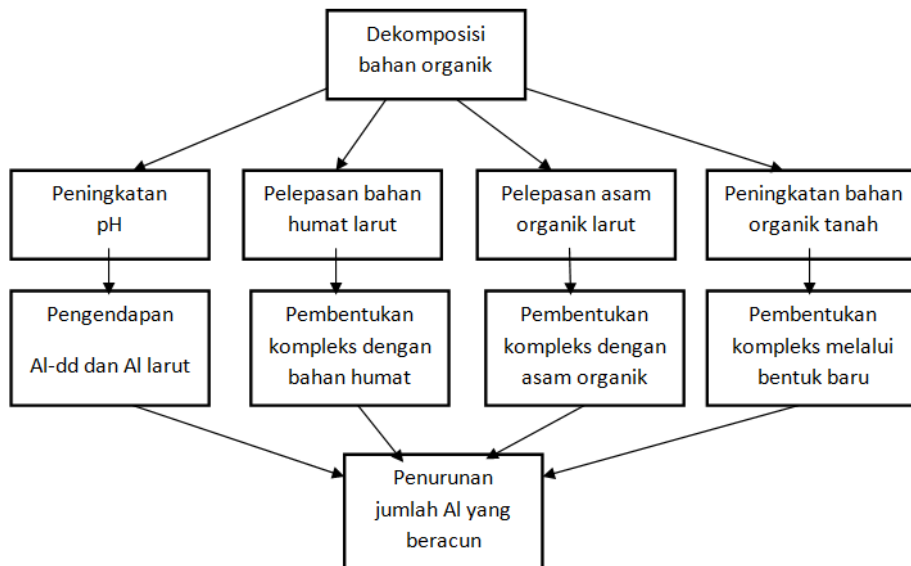
Pada konsentrasi yang tinggi telah diketahui bahwa Al dapat menyebabkan kerusakan pada akar, tetapi sebaliknya pada konsentrasi yang rendah dapat merangsang pertumbuhan akar. Timothy dan Copeland (1999) mengemukakan

bahwa pada konsentrasi dibawah 40 mM dapat merangsang pertumbuhan akar dengan ditandai meningkatnya ukuran dan jumlah akar. Konsentrasi Al yang rendah juga dapat mempercepat pertumbuhan akar tanaman, tetapi mekanisme pengaruh tersebut belum diketahui.

Tanaman mempunyai dua mekanisme untuk menghambat gangguan Al dalam tanah yang cukup tinggi untuk mempertahankan hidupnya, hal ini terjadi pada tanaman-tanaman yang mempunyai tingkat toleransi yang tinggi terhadap Al. Mekanisme tersebut adalah (1). Mekanisme eksternal, yaitu dengan mengeluarkan eksudat akar berupa asam-asam organik seperti asam sitrat, asam oksalat dan asam malat, (2). Mekanisme internal. Hasil penelitian Mimmo *et al.* (2009) menunjukkan bahwa tanaman kacang-kacangan berbeda dalam proses detoksifikasi Al. Tanaman *Phaseolus lunatus L* mempunyai kemampuan detoksifikasi Al melalui mekanisme eksternal yaitu dengan mengeluarkan eksudat asam organik berupa asam malat, sedangkan *Phaseolus vulgaris L* mempunyai mekanisme internal yaitu Al yang diserap tidak ditranslokasikan ke bagian tajuk tanaman. Sedangkan gandum mampu mengeluarkan eksudat berupa asam malat untuk mengurangi pengaruh Al (Yang *et al.* 2011), asam sitrat pada tanaman kedelai dan jagung (Andrade *et al.* 2011, Dong *et al.* 2004, Jemo *et al.* 2007).

PERANAN BAHAN ORGANIK ASAL KACANG-KACANGAN DALAM DETOKSIFIKASI ALUMINIUM

Biomassa tanaman kacang-kacangan umumnya mempunyai nisbah C:N rendah. Biomassa yang mempunyai nisbah C:N rendah, proses dekomposisi berlangsung cepat dibandingkan dengan biomassa dengan nisbah C:N tinggi. Proses dekomposisi yang cepat menyebabkan pelepasan unsur hara dan asam-asam organik berlangsung cepat. Keberadaan asam-asam organik dalam tanah sangat berperan dalam proses pengurangan keracunan Al. Hue *et al.* (1996) menyatakan bahwa dalam mengurangi daya racun Al, asam-asam organik dibagi menjadi tiga bagian: (1) asam-asam organik yang mempunyai kemampuan yang kuat dalam mengurangi daya racun Al, seperti asam sitrat, asam oksalat dan asam tartrat, (2) asam-asam organik yang mempunyai kemampuan sedang dalam mengurangi keracunan Al, seperti asam malat, asam malonat dan asam salisilat, dan (3) asam-asam organik yang mempunyai ke-



Gambar 2. Model yang terjadi dalam proses penurunan Al pada saat bahan organik diaplikasikan (Haynes dan Mokolobate 2001).

mampuan lemah dalam mengurangi daya racun Al, seperti asam asetat, asam formiat dan asam laktat.

Konsentrasi Al dalam larutan tanah akan menurun apabila kandungan bahan organik meningkat karena bahan organik akan membentuk kompleks yang sangat kuat dengan Al. Hasil penelitian Wong (1995) menunjukkan bahwa penambahan asam humik pada tanah Oxisol dari Burundi dan Ultisol dari Kamerun menurunkan aktivitas Al pada kisaran pH 3,2–4,6. Pada pH 4,2 aktivitas Al³⁺ pada Oxisol sebesar 38 mM, tetapi dengan penambahan 2% asam humik dapat menurunkan hingga 11 mM sedangkan pada Ultisol dari 11 mM turun menjadi 2 mM. Bloom (1997) mengemukakan bahwa penambahan bahan organik pada tanah berlempung halus pada kedalaman 20–40 cm sangat penting dalam pengontrolan Al³⁺, dengan memberi bahan organik pada tanah masam sebagian hara mikro yang berlebih dapat terambil dari larutan melalui pembentukan kompleks dengan senyawa-senyawa humat. Pada suatu saat dapat dilepaskan lagi dalam jumlah yang kecil sesuai dengan yang diperlukan. Dengan ini khelat bertindak sebagai agen pengatur.

Nisbah Al/bahan organik dan pH tanah juga mempengaruhi dalam pembentukan kompleks Al-bahan organik. Pada pH tanah 3,5 bentuk-bentuk Al bebas sangat dominan dan menurun pada pH 4,5. Dengan meningkatnya nisbah Al/bahan organik bentuk kompleks Al-bahan organik yang mengendap semakin meningkat sedangkan

bentuk kompleks Al-bahan organik yang larut semakin menurun. Peningkatan ini terjadi karena pada pH yang lebih tinggi terjadi proses deprotonisasi gugus-gugus fungsional (Jansen *et al.* 2003).

Peranan asam organik dan bahan humat terhadap penurunan konsentrasi Al dalam tanah digambarkan dengan jelas oleh Haynes dan Mokolobate (2001). Mekanisme adalah melalui peningkatan pH dan pembentukan kompleks bahan humat, asam organik dengan Al (Gambar 2).

Kemampuan pembentukan kompleks oleh bahan organik kacang-kacangan dan non kacang-kacangan sangat tergantung pada komposisi dan konsentrasi asam-asam organik. Komposisi dan konsentrasi asam-asam organik sangat tergantung pada varietas dan lokasi dimana tanaman tersebut ditanam. Pada tanaman kedelai mempunyai konsentrasi asam oksalat dan asam sitrat yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman jagung, sedangkan konsentrasi asam malat dan suksinat pada kedelai lebih rendah dibanding tanaman jagung (Tabel 1 dan 2) (Nursyamsi 2002). Asam sitrat dan asam oksalat merupakan asam-asam organik yang mempunyai kemampuan mengikat Al dengan kuat. Hal ini menunjukkan bahwa baik bahan organik asal kacang-kacangan dan non kacang-kacangan mempunyai kemampuan dalam membentuk kompleks dengan Al bebas. Efektivitasnya akan bergantung pada jenis dan konsentrasi asam-asam organik yang terkandung didalamnya. Pengaruh kecepatan dekomposisi juga akan berpengaruh terhadap efektivitas ter-

sebut, semakin cepat proses dekomposisi, semakin cepat kemungkinan terjadinya proses pembentukan kompleks.

**PERANAN BAHAN ORGANIK
KACANG-KACANGAN DAN NON
KACANG-KACANGAN TERHADAP
KESUBURAN TANAH**

Bahan organik dalam tanah di samping, dapat membentuk kompleks dengan Al bebas yang dapat mengurangi kemampuan beracun dari unsur tersebut, bahan organik yang berasal dari kacang-kacangan maupun non kacang-kacangan juga memegang peranan penting dalam menjaga kesuburan tanah. Bahan organik tanah yang berasal dari proses dekomposisi tanaman mengandung unsur-unsur C, N, P dan S yang merupakan unsur yang diperlukan tanaman. Dari segi fisika tanah, bahan organik mampu meningkatkan agregasi tanah, jumlah pori tanah, menurunkan bobot isi tanah, erosi tanah dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Dalam hubungannya dengan pelepasan hara, bahan organik yang cepat dalam melepas hara akan segera menyediakan unsur hara. Kecepatan pelepasan hara atau proses mineralisasi sangat dipengaruhi oleh kualitas dari bahan organik. Bahan organik yang mempunyai kualitas tinggi seperti nisbah C/N yang rendah, cepat mengalami mineralisasi. Ciri bahan organik seperti itu seringkali dimiliki oleh tanaman kacang-kacangan (kacang-kacangan), sedangkan bahan organik yang

mempunyai kualitas rendah (C/N tinggi) seringkali dimiliki oleh tanaman non-kacang-kacangan. Palm *et al.* (2001 dalam Chivenge *et al.* 2011) mengemukakan bahwa bahan organik dengan kualitas tinggi dengan N>2,5%, lignin <15% dan polifenol <4% merupakan bahan organik yang cepat melepaskan hara ke dalam tanah dan dianjurkan diaplikasikan dengan cara mencampur dengan tanah, sedangkan bahan organik dengan kualitas rendah N <2,5% dan lignin >15% yang dicirikan dengan bahan organik yang proses dekomposisinya lambat dan dianjurkan untuk diaplikasikan pada permukaan tanah dalam mengontrol erosi karena apabila dicampurkan dengan tanah akan terjadi immobilisasi N.

Peranan bahan organik yang berasal dari kacang-kacangan terhadap kesuburan tanah berhubungan dengan kemampuannya dalam menfiksasi N. Tanaman kacang-kacangan dapat menyumbangkan sekitar 30% N, hasil dari proses fiksasi N kepada tanaman lainnya dalam sistem tumpangsari maupun rotasi. Disamping itu juga ada tambahan dari residu akar tanaman kacang-kacangan sekitar 5–15 kg N/ha (Nnadi dan Haque 2008). Bentuk N yang berasal dari tanaman kacang-kacangan kebanyakan dalam bentuk nitrat, sedangkan pada tanaman non-kacang-kacangan adalah amonium (Li *et al.* 2001). Tanaman kacang-kacangan juga mampu menyediakan basa-basa dalam tanah. Tanaman kacang-kacangan yang diinkubasi pada tanah Ultisol mampu meningkatkan basa-basa dalam

Tabel 1. Konsentrasi asam-asam organik pada tanaman kedelai.

Varietas	Konsentrasi asam-asam organik (nmol/g berat kering akar)				
	Oksalat	Sitrat	Malat	Suksinat	Fumarat
Wilis	2566	–	–	149	–
Kerinci	3345	2719	–	519	–
Kitamusume	3088	1820	932	1041	202

Sumber: Nursyamsi 2002.

Tabel 2. Konsentrasi asam-asam organik pada berbagai jenis varietas jagung (non kacang-kacangan).

Varietas	Konsentrasi asam-asam organik varietas jagung (nmol/g berat kering akar)				
	Oksalat	Sitrat	Malat	Suksinat	Fumarat
Arjuna	1350	1776	5936	810	2625
Antasena	1049	1460	3016	706	2141
SA3	929	-	4828	293	1966

Sumber: Nursyamsi 2002.

Tabel 3. Basa-basa dalam tanah setelah tanah Ultisol diinkubasi dengan tanaman kacang-kacangan.

Perlakuan	Basa-basa (cmol.kg ⁻¹)				
	Ca	Mg	K	Na	Total
Kontrol	1,73	0,40	0,44	0,47	3,04
CMV	2,86	0,89	2,32	1,07	7,14
Pea straw	2,84	0,80	1,83	1,11	6,58

Sumber: Mao *et al.* 2010.

tanah berkisar antara 116–135% dibanding tanah tanpa kacang-kacangan (Tabel 3) (Mao *et al.* 2010). Sumbangan hara K, pada brangkasan tanaman kedelai yang dikembalikan ke dalam tanah bisa mencapai 12,8 kg K/ha.

Chivenge *et al.* (2011) membandingkan peranan tanaman kacang-kacangan yang mempunyai kualitas tinggi (*Tithonia*), kualitas sedang (*Caliandra*) dan tanaman non-kacang-kacangan yang mempunyai kualitas rendah (jagung). Tanaman kacang-kacangan baik yang kualitas tinggi maupun sedang, menyediakan N dalam jumlah lebih besar dibanding tanaman non-kacang-kacangan karena kandungan N dalam tanaman kacang-kacangan lebih dari 3,5% sedangkan jagung hanya 1,5%. Akan tetapi, bahan organik yang berasal dari jagung mampu meningkatkan stabilitas agregat lebih baik dibandingkan dengan tanaman kacang-kacangan. Hal ini disebabkan nisbah C/N yang rendah pada kacang-kacangan menyebabkan proses dekomposisi berlangsung cepat sehingga peranan dalam agregasi menjadi berkurang. Hasil serupa juga didapatkan oleh Obalum dan Obi (2010) dimana bahan organik asal tanaman sorgum mampu meningkatkan stabilitas agregat dan menurunkan bobot isi dibandingkan dengan bahan organik asal tanaman kedelai.

KESIMPULAN

Biomassa tanaman kacang-kacangan umumnya mempunyai nisbah C:N rendah sehingga proses dekomposisi berjalan cepat dan menyebabkan pelepasan unsur hara dan asam-asam organik berlangsung cepat. Adanya asam-asam organik dalam tanah sangat berperan dalam menurunkan tingkat kelarutan Al melalui pembentukan kompleks Al dengan bahan humat dan pembentukan kompleks Al dengan asam organik. Pemberian bahan organik berupa tanaman kacang-kacangan dan non-kacang-kacangan di samping dapat membentuk kompleks dengan Al juga meningkatkan kesuburan tanah. Bahan organik yang berasal dari kacang-kacangan dapat

meningkatkan kesuburan kimia tanah melalui penambahan N, P, S dan basa-basa tanah (K, Ca, Mg dan Na) sedangkan bahan organik yang berasal dari non-kacang-kacangan dapat meningkatkan kesuburan fisika tanah yaitu meningkatkan stabilitas agregat, porositas tanah, menurunkan bobot isi dan erosi tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, H., J. Luster, I. Brunner, B. Frey and F. Emanuel. 1999. Effect of aluminium treatment on Norway spruce roots: Aluminium binding forms, element distribution and release of organic substances. *J. Plant and Soil* 216: 103–116.
- Andrade, L.R.M., M. Ikeda, L.I.V. Amaral, and J. Ishizuka. 2011. Organic acid metabolism and root excretion of malate in wheat cultivars under aluminium stress. *Plant Physiol. and Biochem.* 49: 55–60.
- Bloom, P.C. 1997. Al organic matter in acid soil: buffering and solution Al activity. *Soil Sci.* 43: 488–493.
- Care, D.A. 1995. The effect of aluminium concentration on root hairs in white clover (*Trifolium repens* L). Date R.A. (ed) *Plant soil interaction at low pH*. pp. 325–328. Kluwer Acad. Publ. Netherland.
- Chen, L.S. 2006. Physiological responses and tolerance of plant shoot to aluminum toxicity. *J. of Plant Physiol.* 32: 143–155.
- Chivenge, P., B. Vanlauwe, R. Gentile, and J. Six. 2011. Organic resource quality influences short-term aggregate dynamics and soil organic carbon and nitrogen accumulation. *Soil Biol. & Biochem.* 43: 657–666.
- Dong, D., X. Peng, and X. Yan. 2004. Organic acid exudation induced by phosphorus deficiency and/or aluminium toxicity in two contrasting soybean genotypes. *J. of Plant Physiol.* 122: 190–199.
- Giannakoula, A., M. Moustakas, P. Mylona, I. Papadakis, and T. Yupsanis. 2008. Aluminum tolerance in maize is correlated with increased levels of mineral nutrients, carbohydrates and proline and decreased levels of lipid peroxidation and Al accumulation. *J. of Plant Physiol.* 165: 385–396.

- Goransson, P., P.A. Olsson, J. Postma, and U.F. Grerup. 2008. Colonisation by arbuscular mycorrhizal and fine endophytic fungi in four woodland grasses-variation in relation to pH and aluminium. *Soil Biol & Biochem.* 40: 2260–2265.
- Hue, N.V., G.R. Craddock and F. Adam. 1996. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 50: 28–34.
- Jansen, B, K.G.J. Nierop, J.M. Verstraten. 2003. Mobility of Fe (II), Fe (III) and Al in acidic forest soils mediated by dissolved organic matter: influence of solution pH and metal/organic carbon ratios. *Geoderma.* 113: 323–340.
- Jemo, M., R.C. Abaidoo, C. Nolte, and W.J. Horst. 2007. Aluminum resistance of cowpea as affected by phosphorus-deficiency stress. *J. of Plant Physiol.* 164: 442–451.
- Li, Y.Z., H.F. Lu, X.W. Fan, C.B. Sun, D.J. Qing, H.T. Dong, and L. Wang. 2010. Physiological responses and comparative transcriptional profiling of maize roots and leaves under imposition and removal of aluminium toxicity. *Environ. and Exp. Botany.* 69: 158–166.
- Li, Z., S. Peng, D.J. Rae and G. Zhou. 2001. Litter decomposition and nitrogen mineralization of soils in subtropical plantation forests of southern China, with special attention to comparisons between legumes and non-legumes. *Plant and Soil* 229: 105–116.
- Mao, J., R. Xu, J. Li, and X. Li. 2010. Dicyandiamide enhances liming potential of two legumes materials when incubated with an acid Ultisol. *Soil Biol. & Biochem.* 42: 1632–1635.
- Mimmo, T., M. Sciortino, M. Ghizzi, G. Gianquinto, C.E. Gessa. 2009. The influence of aluminium availability on phosphate uptake in *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus lunatus* L. *Plant Physiol. and Biochem.* 47: 68–72.
- Mustonen, P.S.J. 2005. Biomass production, nutrients and root characteristics of fallow species and the utilization of its biomass as a phosphorus source for the common bean (*Phaseolus vulgaris* L). Dissertation. School of Agriculture and Forest Science, Univ. of Wales Bangor, Bangor, Gwynedd, U.K. 227 p.
- Nnadi, L.A., and I. Haque. 2008. Forage legumes-cereal systems : Improvement of soil fertility and agricultural production with special reference of Sub-saharan Africa. 20 p. www.fao.org/wairdoc/ilri.htm. Diakses 12 Februari 2008.
- Nursyamsi, D. 2009. Pengaruh Kalium dan Varietas jagung terhadap eksudat asam organik dari akar, serapan N, P, dan K tanaman dan produksi brangkasan jagung (*Zea mays* L.). *J. Agron. Indonesia* 37(2): 107–114.
- Obalum, S.E, and M.E. Obi. 2010. Physical properties of a sandy loam Ultisol as affected by tillage-mulch management practices and cropping systems. *Soil & Tillage Res.* 108: 30–36.
- Pavlovkin, J., P.P. Balang, L. Kalarovic, and V. Zelinova. 2009. Growth and functional responses of different cultivars of *Lotus corniculatus* to aluminium and low pH stress. *J. of Plant Physiol.* 166: 1479–1487.
- Rosolem, C.A, J.P.T. Witacker, S. Vanzolini and V. J. Ramos. 1999. The significance of root growth on cotton nutrition in an acidic low-P soil. *Plant and Soil.* 212: 185–190.
- Schuch, M. W, A. Cellini, A. Masia and G. Marino. 2010. Aluminium-induced effects on growth, morphogenesis and oxidative stress reaction in in vitro cultures of quinces. *Scientia Hort.* 125: 151–158.
- Silva, S., O.P. Carnideb, P.M. Lopesb, M. Matosb, H.G. Pinto, and C. Santosa. 2010. Differential aluminium changes on nutrient accumulation and root differentiation in an Al sensitive vs. tolerant gandum. *Environ. and Exp Botany.* 68: 91–98.
- Staunton, S and F. Leprince. 1996. Effect of pH and some organic anions on the solubility of soil phosphate: implications for P bioavailability. *European J. of Soil Sci.* 47: 231–239.
- Tan, K.H. 2000. *Environment Soil Science.* Marcel Dekker, Inc. New York. 452 pp.
- Timothy, S.C and L. Copeland. 1999. Effects of aluminium on canola root length. *Plant and Soil.* 216: 27–33.
- Valle, S.R., D. Pinochet, and D.F. Calderini. 2009. Al toxicity on radiation interception and radiation use efficiency of Al-tolerant and Al-sensitive wheat cultivars under field conditions. *Field Crops Res.* 114: 343–350.
- Wong, M.T.F. 1995. Amelioration of aluminium phytotoxicity with organic matter. Date R.A. (ed) *Plant soil interaction at low pH.* p 41–45. Kluwer Acad. Publ. Netherland.
- Yang, L.T, H. Jianga, N. Tanga, and L.C. Yang. 2011. Mechanisms of aluminum-tolerance in two species of citrus: Secretion of organic acid anions and immobilization of aluminum by phosphorus in roots. *Plant Sci.* 180: 521–530.
- Yu, H., P. Liu, Z.Y. Wang, W.R. Chen, and G.D. Xu. 2010. The effect of aluminum treatments on the root growth and cell ultrastructure of two soybean genotypes. *Crop Prot.* 1–6.
- Zheng, K., J.W. Pan, L. Ye, Y. Fu, H.Z. Peng, B.Y. Wan, Q. Gu, H.W. Bian, N. Han, J.H. Wang, B. Kang, J.H. Pan, H.H. Shao, W.Z. Wang, and M.Y. Zhu. 2007. Programmed cell death-involved aluminum toxicity in yeast alleviated by anti-apoptotic members with decreased calcium signals. *J. of Plant Physiol.* 143: 38–49.