

Khelatisasi Ion Aluminium oleh Asam Organik Eksudat Akar *Brachiaria* Aluminum Ion Chelation by Organic Acids of *Brachiaria* Root Exudates

B. Hafif^{1*}, S. Sabiham², A. Iswandi², A. Sutandi², dan Suyamto³

¹BPTP Lampung

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian IPB

³Peneliti Puslitbang Tanaman Pangan Departemen Pertanian

E-mail: hafif-bariot@yahoo.co.id *Penulis untuk korespondensi

Abstract

Aluminum toxicity is one of the major factors inhibiting plant growth in acid soils. *Brachiaria* grass adapt to high Al concentration. This experiment was conducted to study exudation of low molecular weight organic acids (LMWOA) activated by Al, from *Brachiaria* roots and its potential in chelating Al. Three *Brachiaria* species, i.e. *B. decumbens*, *B. ruziziensis* and *B. brizantha*, planted in sterile sand culture and were treated with 5 Al concentrations (0, 100, 200, 300 and 400 μM). After two-month experiment, three kinds of LMWOA, i.e. malic, citric, and oxalic acids, produced by the three *Brachiaria*-root exudates were measured in the sand culture. The production of malic acid was higher than that of citric and oxalic acid. Those organic acids were influenced by Al concentration; the higher Al concentration the higher organic acid content would be. The organic acids were also proved to form Al-organic compounds effectively of which *B. decumbens* and *B. brizantha* were more effective in chelating Al at relatively low Al (100 μM) and at relatively high Al concentration (300 μM and 400 μM), respectively.

Key words: Aluminum, chelation, citric acid, oxalic acid, malic acid, *Brachiaria*

Abstrak

Keracunan aluminium adalah salah satu faktor utama yang menghambat pertumbuhan tanaman pada tanah-tanah masam. Rumput *Brachiaria* beradaptasi baik terhadap konsentrasi Al tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari eksudasi asam-asam organik yang diaktivasi Al dari akar *Brachiaria* dan potensinya dalam khelatisasi aluminium. Tiga spesies *Brachiaria* yaitu *B. decumbens*, *B. ruziziensis* dan *B. brizantha* yang ditanam pada kultur pasir steril diperlakukan dengan 5 konsentrasi Al (0, 100, 200, 300 dan 400 μM). Setelah 2 bulan penelitian, tiga jenis asam organik berat molekul rendah yaitu asam malat, asam sitrat dan asam oksalat sebagai produk dari eksudat akar ketiga spesies *Brachiaria* terukur di dalam kultur pasir. Asam malat terukur lebih banyak dibanding asam sitrat dan asam oksalat. Konsentrasi asam-asam organik tersebut dipengaruhi secara nyata oleh konsentrasi Al, semakin tinggi konsentrasi Al semakin banyak asam organik dihasilkan. Asam-asam organik juga terbukti efektif mengkomplek Al yakni *B. decumbens* terindikasi lebih efektif khelating Al pada konsentrasi Al relatif rendah (100 μM) dan *B. brizantha* lebih efektif pada konsentrasi Al relatif tinggi (300 sampai 400 μM).

Kata kunci: Aluminium, khelatisasi, asam sitrat, asam oksalat, asam malat, *Brachiaria*

Diterima: 19 April 2010, disetujui: 01 September 2010

Pendahuluan

Akar mampu memodifikasi rizosfir yaitu zona tanah sempit di sekitar sistem perakaran di samping peranannya sebagai pendukung mekanik, penyerapan air dan hara untuk pertumbuhan tanaman. Akibatnya komposisi kimia tanah di rizosfir berbeda dari tanah yang

bebas dari perakaran (Gobran dan Clegg, 1996). Modifikasi rizosfir dilakukan akar melalui eksudasi senyawa-senyawa organik, di antaranya senyawa-senyawa asam organik dengan berat molekul rendah atau dikenal sebagai asam organik alifatik. Senyawa-senyawa organik dieksudasi akar tanaman untuk beberapa kepentingan antara lain untuk detoksifikasi

kation logam beracun seperti Al^{3+} dan untuk meningkatkan mobilitas hara berkelarutan rendah seperti P, Fe dan Zn (Atmodjo, 2000; Oburger *et al.*, 2009). Mekanisme detoksifikasi Al adalah Al pada arutan tanah ataupun kompleks jerapan mengaktivasi keluarnya asam organik dari perakaran. Selanjutnya asam organik mengkhelat Al dan menghambat masuknya ion Al ke sel akar (Ma, 2000; Ryan *et al.*, 2001; Kochian *et al.*, 2004). Hal terbaru yang diketahui dari mekanisme tersebut adalah genotip-genotip yang toleran Al, memperlihatkan eksudasi asam organik yang diaktivasi Al yang lebih banyak dibandingkan genotip sensitif Al yang kadang tidak mengeksudasi asam organik sama sekali (Pineros *et al.*, 2005). Hasil sederatan studi juga memperlihatkan korelasi yang erat antara derajat resistensi Al dengan jumlah eksudasi asam organik yang diaktivasi Al (Ryan *et al.*, 1995a).

Keuntungan lain dari asam organik adalah merangsang aktivitas mikroba dengan mendorong simbiosis yang menguntungkan, membantu dalam respon khemotaktik, mempercepat pelapukan mineral dan menghambat pertumbuhan tanaman-tanaman kompetitor (Walker *et al.*, 2003; Dakora dan Phillips, 2004; Oburger *et al.*, 2009). Senyawa-senyawa yang diekresikan akar ke rizosfir memuat sekitar 5–21% dari total karbon yang difiksasi secara fotosintetik (Marschner, 1995 diacu dalam Walker *et al.*, 2003).

Terkait dengan fungsi eksudat akar dalam detoksifikasi Al, setiap tanaman mempunyai karakter tersendiri. Untuk detoksifikasi Al tanaman kacang-kacangan mengeksudasi asam sitrat (Miyasaka *et al.*, 1991), tanaman gandum (*wheat*) mengeksudasi asam malat (Delhaize *et al.*, 1993; Zhang *et al.*, 2003), tanaman jagung mengeksudasi lebih banyak asam sitrat dan sedikit malat (Jorge dan Arruda, 1996; Pineros *et al.*, 2005), tanaman teh dan taro mengeksudasi lebih banyak asam oksalat (Ma dan Miyasaka, 1998; Chen *et al.*, 2006). Asam organik yang diekresikan akar berkorelasi sangat tinggi dengan derajat toleransi tanaman terhadap Al (Ryan *et al.*, 1995b).

Bentuk aluminium yang didetoksifikasi eksudat akar adalah Al^{3+} , tetapi Kinraide (1997) mendapatkan Al-OH ($Al-OH^{2+}$ dan $Al-OH_2^+$) juga terindikasi beracun. Prabowo (1998) dalam penelitian pengujian derajat serapan malat

terhadap Al menggunakan Al dalam bentuk gel $Al(OH)_3$ karena Al hidroksida merupakan bagian utama dari serapan anion di dalam tanah (Davis dan Hem, 1989 diacu dalam Prabowo, 1998).

Bio-degradasi menentukan jumlah asam organik berat molekul rendah di dalam tanah (van Hees *et al.*, 2005). Asam organik adalah satu dari sumber karbon yang paling labil di dalam tanah karena senyawa organik eksudat akar adalah sumber karbon utama mikroba tanah (Chen *et al.*, 2006; Sudiana, 2004). Asam organik yang dikeluarkan ke larutan tanah segera diambil dan dicerna oleh komunitas mikroba (Sastro *et al.*, 2006; Oburger *et al.*, 2009). Waktu paruh asam organik pada tanah biasanya < 10 jam (van Hees *et al.*, 2002), tetapi serapan oleh permukaan mineral seperti Al oksidasi-hidroksida akan melindungi dari bio-degradasi, meskipun hal itu akan memperendah konsentrasinya di dalam larutan tanah (Jones *et al.*, 2003).

Salah satu jenis tanaman yang dianggap beradaptasi baik terhadap keracunan Al pada tanah-tanah masam adalah *Brachiaria* (Wenzl *et al.*, 2006). Hasil penelitian Agbenin dan Adeniyi (2005), memperlihatkan *Brachiaria decumbens* adalah tanaman yang menjanjikan untuk rehabilitasi tanah terdegradasi karena di bawah tanaman ini konsentrasi C-organik tanah sangat tinggi dan itu merupakan kontribusi ekskresi C labil dari akarnya. Terkait dengan hal itu perlu dipahami bagaimana tanaman *Brachiaria* dapat beradaptasi baik terhadap kandungan Al di dalam tanah (media tanam). Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari eksudasi asam-asam organik yang diaktivasi Al dari akar *Brachiaria* dan potensinya dalam khelatisasi aluminium (Al).

Metode Penelitian

Sterilisasi Kultur Pasir

Pasir untuk kultur tanam diambil dari pantai Pelabuhan Ratu, Sukabumi. Pertama pasir dicuci dengan air ledeng, selanjutnya dioksidasi dengan H_2O_2 30% untuk menghilangkan bahan organik (Sequi dan Aringhieri, 1977) dan ditambahkan HCL 5% untuk pembebasan dari kation terutama dari Kalsium (Van Kessel *et al.*, 2000; Harris *et al.*, 2001). Proses oksidasi dengan H_2O_2 30% (rasio pasir : H_2O_2 adalah 1 : 2)

dilakukan secara bertahap dengan terus diaduk. Setelah buih mereda, campuran pasir H_2O_2 dibiarkan selama 1 malam dan esoknya diberi H_2O_2 sampai buih menghilang. Selanjutnya kelebihan H_2O_2 dibuang, pasir diberi HCl 5% (rasio 1:1) dan dihangatkan pada *hot plate* selama 20 menit, sambil diaduk. Setelah itu dibilas 10 kali dengan air bebas ion. Nilai DHL dari pasir yang telah dibilas adalah 0,1 DS/m dan konsentrasi total Al 135,81 ppm, sedangkan Al dapat dipertukarkan tidak terukur. Selanjutnya Pasir disterilisasi dari mikroba dengan *autoclave*.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan adalah Rancangan Acak Lengkap dalam susunan faktorial, diulang 3 kali (tiga ulangan). Faktor 1 spesies *Brachiaria* yaitu: 1) kontrol (Tanpa *Brachiaria*), 2) *Brachiaria decumbens*, 3) *Brachiaria ruziziensis*, 4) *Brachiaria brizantha* dan faktor 2 konsentrasi Al yaitu : 1) 0 μ M, 2) 100 μ M, 3) 200 μ M, 4) 300 μ M dan 400 μ M. Bahan yang digunakan untuk perlakuan konsentrasi Al adalah $AlCl_3$. Pemberian perlakuan Al dilakukan saat tanaman berumur satu minggu.

Sterilisasi Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Rumah Kaca Faperta IPB. Di dalam rumah kaca tempat penelitian dipisahkan dengan ruangan lainnya dengan plastik transparan setinggi 2 m. Untuk sterilisasi dinding bagian dalam plastik dan lantai tempat penelitian disemprot alkohol 70%.

Persemaian dan Penanaman *Brachiaria*

Brachiaria sebelum ditanam pada pot penelitian, terlebih dahulu disemai selama 20 hari pada kultur pasir. Sebagai sumber hara digunakan larutan hara Hoagland. Komposisi larutan hara Hoagland adalah 5 mM $Ca(NO_3)_2$, 2 mM $MgSO_4$, 5 mM KNO_3 , 1 mM KH_2PO_4 , 1 mM FeEDTA dan 1mM unsur mikro (H_3BO_3 , $MnCl_2$, $CuCl_2$, $ZnCl_2$ dan Na_2MoO_4). Untuk persemaian *Brachiaria* digunakan tunas dengan bobot yang cukup seragam (2–3 g). Setelah 20 hari *Brachiaria* dipindah-tanamkan ke pot berisi 800 g kultur pasir. Untuk tahap ini dilakukan proses sterilisasi terhadap bibit yaitu dengan merendam bibit selama 3–4 menit di dalam H_2O_2 3% dan dipindah-tanamkan ke pot pasir setelah dibilas aquades steril. Jumlah larutan Hoagland

yang ditambahkan ke tiap-tiap pot tanam adalah 600 ml dan diberikan dalam 3 tahap yaitu pada 0, 1 dan 2 minggu sesudah tanam (MST). Penyiraman tanaman dengan air bebas ion steril dilakukan setiap hari dan jumlah air yang ditambahkan sesuai dengan jumlah air yang dievapotranspirasi.

Ekstraksi dan Pengukuran Konsentrasi Asam Organik dan Al-organik

Kandungan asam organik dan Al-organik di dalam pasir dianalisis dengan metoda sentrifugasi (Angeles *et al.*, 2006). Contoh pasir diambil dari rizosfir (kedalaman 2–5 cm) di sekeliling rumpun rumput *Brachiaria* setelah tanaman berumur 2 bulan. Pasir dimasukan ke dalam tabung sentrifugasi sebanyak 20g dicampur dengan aquades steril dengan rasio 1 : 1, kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 40 menit. Sebelum disentrifugasi, pH campuran pasir aquades diukur (terukur pH 6,8–7,2). Setengah volume supernatan (volume bagian atas tabung sentrifugasi) selanjutnya dipipet dan disimpan di dalam *refrigerator* dengan suhu 4°C. Setengah bagian supernatan (untuk pengukuran asam organik) disaring dengan membran 0,22 μ m. Asam organik (asam sitrat, asam oksalat dan asam malat) diukur dengan HPLC (*High-Performance Liquid Chromatography*) Varian-490 dengan spesifikasi: detektor *UV-visible*, λ 240 nm dan fase gerak H_2SO_4 0,005 N dengan kecepatan aliran (*flow rate*) 1 ml/menit. Pengukuran kadar asam organik di dalam supernatan dilakukan dalam rentang waktu < 24 jam setelah pengambilan contoh pasir. Ion Al^{3+} di dalam supernatan sebagai representasi dari Al-organik diukur dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) merek Hitachi tipe Z 5000 pada panjang gelombang 309,3 nm. Metode analisis standar (*flame type: N₂O-C₂H₂; fuel flow 5,4 l/menit; oxidant: 13,9 l/menit dan tekanan 160 kPa*) dengan kemampuan deteksi konsentrasi Al terendah 0,3 ppm.

Hasil dan Pembahasan

Asam Organik Eksudat Akar *Brachiaria*

Pengukuran kadar asam organik dari eksudat akar *Brachiaria* dilakukan setelah

tanaman berumur 2 bulan. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 1.

Eksudat akar ketiga spesies *Brachiaria* (*B. decumbens*, *B. ruziziensis* dan *B. brizantha*) terbukti berpotensi sebagai sumber asam organik berat molekul rendah. Jumlah asam organik yang dieksudasi akar tiap-tiap *Brachiaria* semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi Al di dalam kultur pasir, artinya jumlah asam organik dieksudasi berkorelasi positif dengan konsentrasi Al ($R^2 > 0,95$). Kandungan asam organik di dalam kultur pasir antara perlakuan konsentrasi Al juga berbeda nyata. Adapun nilai rata-rata tiap-tiap asam organik yang dieksudasi oleh ketiga spesies *Brachiaria* tidak berbeda nyata.

Hasil pengukuran asam organik tersebut sejalan dengan beberapa hasil penelitian sebelumnya. Jorge dan Arruda (1997) serta Pineros *et al.*, (2005) melaporkan bahwa ekskresi asam sitrat dari perakaran tanaman jagung yang toleran Al, meningkat dengan semakin meningkatnya konsentrasi Al dalam

larutan hara, dan jumlah asam organik yang dieksresikan hampir 2–3 kali dibanding jumlah yang diekskresikan tanaman yang sensitif Al.

Data pada Tabel 1 juga memperlihatkan dari tiga asam organik yang terukur, asam malat dieksudasi lebih banyak. Hasil penelitian Ryan *et al.*, (1995b); Zhang *et al.*, (1998); Zhang *et al.*, (2003) memperlihatkan eksudat akar tanaman famili *gramineae* seperti *wheat* (gandum), menghasilkan lebih banyak asam malat, sedangkan eksudat akar suku kacang-kacangan lebih banyak menghasilkan asam sitrat. Uji coba penambahan asam malat ke dalam larutan hara yang ditumbuhi benih gandum yang toleran dan sensitif terhadap Al telah dilakukan oleh Delhaize *et al.*, (1993) dan Ryan *et al.*, (1995a). Hasil uji coba memperlihatkan asam malat mampu meningkatkan pertumbuhan benih atau secara nyata mengurangi efek toksisitas Al terhadap perkembangan benih dan pengaruh tersebut tergantung konsentrasi asam malat di dalam larutan hara.

Tabel 1. Konsentrasi asam organik eksudat akar tiga spesies *Brachiaria* umur 2 bulan di dalam kultur pasir.

	Asam Organik (μM)		
	Asam Sitrat	Asam Oksalat	Asam Malat
<i>B. decumbens</i>			
Al-0	tu	tu	tu
Al-100	7,3 d	39,7 d	57,8 d
Al-200	21,0 c	78,1 c	108,8 c
Al-300	23,3 ab	108,1 b	136,5 b
Al-400	30,1 a	143,3 a	211,0 a
Rata-rata	16,9	73,8	102,8
LSD 0,05	8,2	16,9	19,6
R^2	0,953	0,997	0,991
<i>B. ruziziensis</i>			
Al-0	tu	tu	tu
Al-100	8,2 d	40,4 d	63,1 d
Al-200	18,4 c	70,4 c	98,8 c
Al-300	28,8 b	117,6 b	149,1 b
Al-400	32,2 a	135,1 a	213,7 a
Rata-rata	17,5	72,7	104,9
LSD 0,05	5,3	6,9	13,9
R^2	0,980	0,985	0,984
<i>B. brizantha</i>			
Al-0	tu	tu	tu
Al-100	6,9 d	29,2 d	47,9 d
Al-200	19,1 c	69,4 c	100,3 c
Al-300	27,7 ab	113,2 b	153,3 b
Al-400	36,3 a	153,9 a	203,4 a
Rata-rata	18,0	73,1	101,0
LSD 0,05	9,8	18,7	27,0
R^2	0,997	0,998	0,999

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut LSD, tu= tidak terukur, R^2 = kofisien korelasi.

Khelatisasi Al³⁺

Data Al-organik terukur pada kultur pasir di bawah masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 2. Data mengindikasikan bahwa asam organik eksudat akar rumput *Brachiaria* efektif dalam mengkhelat Al. Hal ini terlihat dari adanya perbedaan nilai konsentrasi Al terukur pada sampel kultur pasir dari pot yang ditanami *Brachiaria* dengan yang tidak ditanami. Pada pot perlakuan penanaman *Brachiaria*, nilai rata-rata Al-organik terukur di dalam kultur pasir yang diperlakukan dengan berbagai konsentrasi Al di bawah *B. decumbens*, *B. ruziziensis* dan *B. brizantha* masing-masing adalah 60,5, 71,4 dan 59,1 µM. Nilai rata-rata Al-organik terukur di dalam pasir dengan perlakuan konsentrasi Al yang sama tetapi tanpa penanaman *Brachiaria*, adalah 3,95 µM. Keadaan ini mengindikasikan bahwa hampir 95% dari Al yang terukur di dalam pasir yang ditanami *Brachiaria* adalah senyawa kompleks Al-organik.

Menurut Dynes dan Huang (1997) ketiga jenis asam organik yang terukur (asam sitrat, asam oksalat dan asam malat) mempunyai kemampuan untuk mengkomplek Al dengan senyawa kompleks sitrat-Al dinilai lebih stabil dibanding oksalat-Al dan malat-Al. Kekuatan khelatisasi ini dapat dilihat dari nilai konstanta stabilitas (K_{Al-L}) sitrat-Al ($\log K_{Al-L}$ 8,52) > oksalat-Al ($\log K_{Al-L}$ 6,28) > malat-Al ($\log K_{Al-L}$ 5,80). Demikian juga Pineros *et al.*, (2005) mengemukakan bahwa sitrat³⁻ (anion sitrat trikarboksilat) lebih efektif dalam khelatisasi Al dari pada malat²⁻ (anion malat dikarboksilat). Berdasarkan percobaan larutan murni mengelompokkan asam sitrat dan asam oksalat sebagai kelompok pendetoksi (*detoxifier*) Al kuat, sedangkan asam malat dikelompokkan sebagai pendetoksi Al sedang (Hue *et al.*, 1986).

Selanjutnya pada Gambar 1 ditampilkan grafik efektivitas eksudat akar ketiga spesies *Brachiaria* dalam mengkhelat Al. Grafik dan data nisbah Al dikhelat memperlihatkan bahwa eksudat akar *B. decumbens* lebih efektif mengkomplek Al pada konsentrasi Al relatif rendah (100 µM), dengan nilai persentase nisbah Al-organik terhadap konsentrasi Al-larut mencapai 59,6%, sementara pada konsentrasi Al dalam kultur pasir relatif tinggi (200 sampai 400 µM) nilai persentase nisbah tersebut terindikasi menurun. Hasil pengukuran Al-organik pada

kultur pasir *B. brizantha* menunjukkan, nisbah Al-organik terhadap Al larut meningkat seiring meningkatnya konsentrasi Al pada kultur pasir. Pada perlakuan 100, 200, 300 dan 400 µM masing-masing nilai nisbah Al dikhelat oleh eksudat akar *B. brizantha* adalah 12,8, 10,5, 31,3 dan 36,1%.

B. decumbens yang efektif mengkhelat Al pada konsentrasi ion Al³⁺ lebih rendah (100 µM) dinilai lebih efektif untuk detoksifikasi Al pada tanah-tanah masam. Seperti dilaporkan oleh Wenzl *et al.* (2003) ion Al³⁺ yang terdeteksi pada larutan tanah masam pH 5,0 dengan Al-dd 0,13 cmol (+)/kg, terukur sekitar 43 µM. Sedangkan Prabowo (1998) melaporkan dalam kondisi normal konsentrasi Al³⁺ dalam larutan tanah masam dengan pH 4,3–5,0 adalah antara 10–50 µM. Hasil pengukuran Al-dd pada tanah lahan kering masam dengan pH tanah 4,4–4,9 khususnya untuk daerah Lampung adalah 0,1–1,26 cmol (+)/kg (sumber data dari penelitian terpisah).

Pertumbuhan *Brachiaria*

Secara statistik pengaruh konsentrasi Al yang berbeda terhadap perkembangan akar dan pertumbuhan ketiga spesies rumput *Brachiaria*, tidak berbeda nyata (data hasil pengamatan tidak disajikan). Fischer *et al.*, (2001); Wenzl *et al.*, (2003) dan Wenzl *et al.*, (2006) melaporkan bahwa rumput *Brachiaria* adalah tanaman yang tumbuh baik pada tanah-tanah masam seperti *Haplustox* atau *Paleudult* dan toleran terhadap Al. Hasil penelitian secara hidroponik mengindikasikan tingkat toleransi *B. ruziziensis* terhadap keracunan ion Al³⁺ lebih rendah dibanding *B. decumbens* (Grundy *et al.*, 2002; Wenzl *et al.*, 2006), tetapi pada tanah masam, pertumbuhan *B. ruziziensis* baru mulai terdegradasi setelah beberapa tahun pengembangan (Rao *et al.*, 1996; Miles *et al.*, 2004 diacu dalam Wenzl *et al.*, 2006). Sementara Fischer *et al.*, (2001); Wenzl *et al.*, (2003) mengemukakan bahwa daya adaptasi *B. decumbens* terhadap tanah masam miskin lebih baik dibandingkan dengan *B. brizantha*.

Uji Korelasi Antara Al-organik dan Asam Organik dengan Pertumbuhan *Brachiaria*

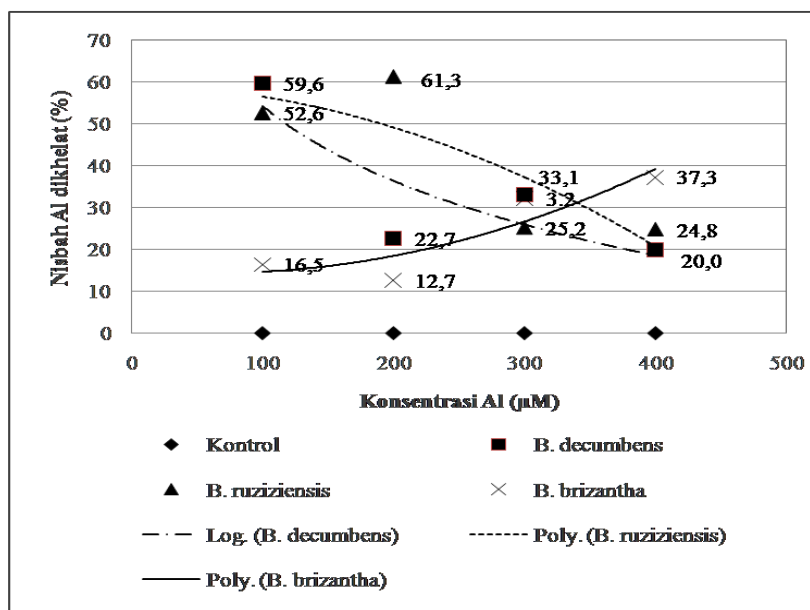
Uji korelasi dilakukan untuk pemahaman lebih jauh hubungan antara asam organik dan

Al-organik dengan perkembangan akar dan pertumbuhan *Brachiaria*. Hasil uji korelasi menunjukkan korelasi nyata antara konsentrasi Al, khelatisasi Al dan asam organik dengan perkembangan akar dan pertumbuhan *Brachiaria* hanya terjadi pada spesies *B. brizantha*. Hasil uji korelasi dikemukakan pada Tabel 3.

Hasil uji korelasi (Tabel 3) menunjukkan adanya korelasi nyata antara konsentrasi Al, Al-organik dan asam-asam organik pada kultur pasir dengan bobot akar, dan bobot tanaman *B. brizantha*. Demikian pula terjadi korelasi nyata antara kadar Al dengan Al-organik dan asam-asam organik dan antara Al-organik dengan asam-asam organik. Artinya bobot akar dan tanaman *B. brizantha* terindikasi meningkat

(korelasi positif) dengan peningkatan konsentrasi ion Al^{3+} dan aktivasi ion tersebut terhadap eksudasi asam organik dari perakaran *B. brizantha*.

Korelasi positif lain yang sangat nyata adalah antara konsentrasi Al dengan Al-organik dan asam-asam organik yang dieksudasi oleh perakaran *Brachiaria*. Seperti dikemukakan oleh Delhaize *et al.*, (1993); Ma (2000); Ryan *et al.*, (2001); Zhang *et al.*, (2003); Kochian *et al.*, (2004), Al merangsang atau mengaktifkan eksudasi asam-asam organik dari akar tanaman sehingga semakin tinggi cekaman Al semakin banyak asam organik dieksudasi akar untuk detoksifikasi Al, terutama diperlihatkan oleh perakaran tanaman toleran Al.



Gambar 1. Kecendrungan nisbah khelatisasi Al oleh tiap-tiap eksudat akar *Brachiaria* pada konsentrasi Al berbeda.

Tabel 2. Konsentrasi Al-organik di dalam kultur pasir yang diberi konsentrasi Al berbeda dan ditanami rumput *B. decumbens*, *B. ruzizensi* dan *B. brizantha*.

Konsentrasi Al (µM)	Al-Organik (µM)			
	Tanpa <i>Brachiaria</i>	<i>B. decumbens</i>	<i>B. ruziziensis</i>	<i>B. brizantha</i>
0	4,07	3,3 e	6,67 d	7,8 d
100	3,70	59,6 c	52,6 c	16,5 c
200	4,07	45,4 d	122,6 a	25,4 c
300	2,96	99,3 a	75,6 b	96,8 b
400	5,00	78,8 b	99,1 b	149,2 a
Rata-rata	3,95	60,5	71,4	59,1
LSD 0,05		10,7	20,6	11,2

Keterangan: Angka pada kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% menurut LSD.

Tabel 3. Hasil uji korelasi antara Al-organik, asam organik dengan perkembangan akar dan pertumbuhan *Brachiaria brizantha*.

	Kons. Al	Al-Organik	As. Malat	As. Sitrat	As. Oksalat	Vol. Akar	Bobot Akar	Bobot Tanaman	Jumlah Daun	Tinggi
Kons. Al	1	,932 *	,996 **	,983 **	,995 **	,528	,737 **	,693 *	,152	,020
Al-organik		1	,930 **	,907 **	,946 **	,513	,636 *	,615	,151	-,013
As. malat			1	,981 **	,997 **	,518	,783 **	,743 **	,091	,056
As. sitrat				1	,985 **	,546	,714 *	,666 *	,214	,079 *
As. oksalat					1	,561	,754 **	,713 **	,129	,052

Keterangan: **Korelasi nyata pada taraf nyata 0,01

*Korelasi nyata pada taraf nyata 0,05

Simpulan dan Saran

Simpulan

Akar rumput *Brachiaria* mengeluarkan asam-asam organik seperti asam malat, asam sitrat dan asam oksalat bila mengalami cekaman Al. Dari ketiga asam organik, asam malat dieksudasi paling banyak. Asam organik berat molekul rendah tersebut efektif mengkhelat Al. Kemampuan mengkhelat Al *Brachiaria decumbens* berbeda dengan *Brachiaria brizantha*. Kemampuan *Brachiaria decumbens* sebagai agen untuk mengurangi keracunan Al paling baik.

Saran

Dalam rangka memperbaiki kualitas tanah masam, terutama terkait dengan masalah keracunan aluminium, remediasi secara *in situ* dinilai lebih efisien dan rumput *Brachiaria* dapat digunakan sebagai fitoremediasi. Kebiasaan akar tanaman toleran Al mendetoksi Al dengan cara mengeksudasi asam-asam organik dapat dijadikan dasar pemikiran untuk mempelajari lebih lanjut potensi senyawa-senyawa tersebut dalam remediasi tanah terkontaminasi logam berat.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Sekretariat Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian atas terlaksananya penelitian Kerjasama Kemitraan Penelitian Pertanian dengan Perguruan Tinggi (KKP3T). Juga kepada Indri Hapsari mahasiswa

S1 Ilmu Tanah IPB dan Staf Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Departemen Ilmu Tanah dan SDL serta Teknisi rumah kaca Faperta IPB atas bantuan yang diberikan.

Daftar Pustaka

- Agbenin, J.O. dan Adeniyi, T. 2005. The Microbial Biomass Properties of a Savanna Soil under Improved Grass and Legume Pastures in Northern Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109: 245–254.
- Angeles, O.R., Johnson, S.E. dan Buresh, R.J. 2006. Soil Solution Sampling for Organic Acids in Rice Paddy Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70: 48–56.
- Atmodjo, K. 2000. Penggunaan Tulang dan Kulit Nanas sebagai Pupuk Organik untuk Menumbuhkan Sawi (*Brassica Juncea L.*). *Biota*, V (2): 63–70.
- Chen, Y.M., Wang, M.K., Zhuang, S.Y. dan Chiang, P.N. 2006. Chemical and Physical Properties of Rhizosphere and Bulk Soils of Three Tea Plants Cultivated in Ultisols. *Geoderma*, 136: 378–387.
- Dakora, F.D. dan Philips, D.A. 2004. Root Exudates as Mediators of Mineral Acquisition in Low-nutrient Environments. *Plant and Soil J.*, 245 (1): 35–47.
- Delhaize, E., Ryan, P.R. dan Randall, P.J. 1993. Aluminium Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum L.*) II. Aluminium-stimulated Excretion of Malic Acid from Root Apices. *Plant Physiology*, 103: 695–702.
- Dynes, J.J. dan Huang, P.M. 1997. Influence of Organic Acid on Selenite Sorption by Poorly Ordered Aluminum Hydroxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 6: 772–783.

- Fischer, A.J., Ramirez, H.V., Gibson, K.D. dan Pinheiro, B.D.S. 2001. Competitiveness of Semidwarf Upland Rice Cultivar Against Palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) and signalgrass (*Brachiaria decumbens*). *Agron J.*, 93: 967–973.
- Gobran, G.R. dan Clegg, S. 1996. A Conceptual Model for Nutrient Availability in the Mineral Soil-root System. *Can. J. Soil Sci.*, 76: 125–131.
- Grundy, S.P., Jones, D.L. dan Godbold. 2002. Organic Acid Root-tip Tissue-concentration in *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis*. Abstract. Developments in Plant and soil sciences 9: 506–507. <http://www.springerlink.com/content/x23834/?p=88fbf93493294da5aa8aed5dbb1c5a7a&pi=0>.
- Harris, D., Horwath, W.R. dan van Kessel, C. 2001. Acid Fumigation of Soils to Remove Carbonates Prior to Total Organic Carbon or Carbon-13 Isotopic Analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65: 1853–1856.
- Hue, N.V., Craddock, G.R. dan Adam, F. 1986. Effect of Organic Acids on Aluminium Toxicity in Subsoil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 28–34.
- Jones, D.L., Dennis, P.G., Owen, A.G. dan van Hees, P.A.W. 2003. Organic Acid Behaviour in Soils-misconceptions and Knowledge Gaps. *Plant and Soil*, 248: 31–41.
- Jorge, R.A. dan Arruda, P. 1997. Aluminium-induced Organic Acid Exudation by Roots of an Aluminium-tolerant Tropical Maize. *Phytochemistry*, 45 (4): 675–681.
- Kinraide, T.B. 1997. Reconsidering the Rhizotoxicity of Hydroxyl, Sulphate, and Fluoride Complexes of Aluminum. *J. Exp. Bot.*, 48: 1115–1124.
- Kochian, L.V., Hoekenga, A.O. dan Piñeros, M.A. 2004. How do Plants Tolerate Acid Soils? Mechanisms of Aluminum Tolerance and Phosphorous Efficiency. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.*, 55: 459–493.
- Ma, J.F. 2000. Role of Organic Acids in Detoxification of Aluminum in Higher Plants. *Plant Cell Physiol.*, 41: 383–390.
- Ma, Z. dan Miyasaka, S.C. 1998. Oxalate Exudation by Taro in Response to Al. *Plant Physiology*, 118 (3): 861–865.
- Miyasaka, S.C., Buta, J.G., Howell, R.K. dan Foy, C.D. 1991. Mechanisms of Aluminum Tolerance in Snapbeans. Root Exudation of Citric Acid. *Plant Physiology*, 96: 737–743.
- Oburger, E., Kirk, G.J.D., Wenzel, W.W., Puschenreiter, M. dan Jones, D.L. 2009. Interactive Effects of Organic Acids in The Rhizosphere. *Soil Biology & Biochemistry*, 41: 449–457.
- Pineros, M.A., Shaff, J.E., Manslank, H.S., Alves, V.M.C. dan Kochian, L.V. 2005. Aluminum Resistance in Maize Cannot be Solely Explained by Root Organic Acid Exudation. *Plant Physiology*, 137: 231–241.
- Prabowo, A.M. 1998. Reaksi Kimia Asam Malat dan Peranannya Sebagai Pencegah Keracunan Aluminium pada Tanah-Tanah Masam. *J. Agrivita*, 20 (1): 27–33.
- Ryan, P.R., Delhaize, E. dan Randall, P.J. 1995a. Characterisation of Al-stimulated Efflux of Malate from The Apices of Al-tolerant Wheat Roots. *Planta*, 196: 103–110.
- Ryan, P.R., Delhaize, E. dan Randall, P.J. 1995b. Malate Efflux from Root Apices: Evidence for a General Mechanism of Al-tolerance in Wheat. *Aust J Plant Physiol.*, 22: 531–536.
- Ryan, P.R., Delhaize, E. dan Jones, D.L. 2001. Function and Mechanism of Organic Anion Exudation from Plant Roots. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.*, 52: 527–560.
- Sastro, Y., Widiyanto, D. dan Shiddiq, D. 2006. Sekresi Asam-asam Organik oleh *Aspergillus niger* YD 17 yang Ditumbuhkan dengan Batuan Fosfat. *Biota*, XI (3): 167–175.
- Sequi, P. dan Aringhieri, R. 1977. Destruction of Organic Matter by Hydrogen Peroxide in the Presence of Pyrophosphate and Its Effect on Soil Specific Surface Area. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 340–342.
- Sudiana, I.M. 2004. Isolasi Bakteri Pengakumulasi Poliposfat. *Biota*, IX (2): 105–113.
- van Hees, P.A.W., Jones, D.L. dan Godbold, D.L. 2002. Biodegradation of Low Molecular Weight Organic Acids in Forest Soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 1261–1272.
- van Hees, P.A.W., Jones, D.L., Jentschke, G. dan Godbold, D.L. 2005. Organic Acid Concentrations in Soil Solution: Effects of Young Coniferous Trees and Ectomycorrhizal Fungi. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 771–776.
- van Kessel, C., Nitschelm, J., Horwath, W.R., Harris, D., Walley, F., Luscher, A. dan Hartwig, U. 2000. Carbon-13 Input and Turn Over in a Pasture Soil Exposed to Long-term Elevated Atmospheric CO₂. *Global Change Biol.*, 6: 123–135.
- Walker, T.S., Bais, H.P., Grotewold, E. dan Vivanco, J.M. 2003. Root Exudation and Rhizosphere Biology. *Plant Physiology*, 132: 44–51.
- Wenzl, P., Mancilla, L.I., Mayer, J.E., Albert, R. dan Rao, I.M. 2003. Simulating Infertile Acid Soils with Nutrient Solutions: The Effects on *Brachiaria* Species. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67: 1457–1469.

- Wenzl, P., Arango, A., Chaves, A.L., Buitrago, M.E., Patino, G.M., Miles, J. dan Rao, I.M. 2006. A Greenhouse Method to Screen *Brachiaria* grass Genotypes for Aluminum Resistance and Root Vigor. *Crop Sci.*, 46: 968–973.
- Zhang, X.G., Alter, D., Jessop, R.S. dan Ellison, F. 1998. Exudation of organic acids from roots of triticale. Proceedings of the Australian Agronomy Conference, Australian Society of Agronomy. <http://www.regional.org.au/au/09/13/2007>.
- Zhang, X.G., Jessop, R.S. dan Alter, D. 2003. Organic Acid Exudation Associated with Aluminium Stress Tolerance in Triticale and Wheat. *Australian J. of Agricultural Research*, 54: 979–985.