

Tanggap Fisiologi Akar Sorgum (*Sorghum bicolor L. Moench*) terhadap Cekaman Aluminium dan Defisiensi Fosfor di dalam Rhizotron

*Roots Physiological Response of Sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*) to Aluminum Toxicity and Phosphorous Deficiencies in Rhizotron*

Karlin Agustina^{1*}, Didy Sopandie², Trikoesoemaningtyas², dan Desta Wirnas²

¹Departemen Agroteknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas IBA Palembang,
Jl. Mayor Ruslan Palembang, Indonesia

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
(Bogor Agricultural University), Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

Diterima 1 April 2010/Disetujui 6 Juli 2010

ABSTRACT

A study on physiological mechanism of sorghum to aluminum (Al) toxicity and phosphorous (P) deficiencies was conducted using several sorghum genotypes in rhizotron. The study was conducted in the greenhouse of the University Farm, Bogor Agricultural University from August to October 2009. The experiment was carried out as a Factorial experiment in a Completely Randomized Design with three replications. The first factor was sorghum genotypes consisted of Numbu (tolerant) and B-75 (sensitive), and the second factor was combination of lime and phosphorous fertilization consisted of: no lime-no P (R1), no lime-low P (R2), no lime-sufficient P (R3), lime-no P (R4), lime-low P (R5) and lime-sufficient P (R6). The results showed that all variables were significantly affected by the interaction of media and genotype, except for length of shoot and total P uptake. Under low P and Al toxicity, sorghum variety Numbu showed a higher nutrient efficiency than B-75 with ability of forming greater dry mass. The sensitive genotypes showed a higher nutrient uptake but a lower P nutrient use efficiency under Al toxicity and P deficiency. Total P uptake and P nutrient use efficiency were highly correlated with root growth and dry material accumulation.

Keywords: sorghum, Al toxicity, P deficiencies, P nutrient use efficiency, P uptake.

PENDAHULUAN

Luas lahan kering di Indonesia mencapai 148 juta ha, dan diperkirakan 102,8 juta ha diantaranya berupa lahan kering masam (*ultisols*). Faktor pembatas utama untuk produksi pada lahan kering masam adalah kesuburan tanah yang rendah karena toksitas aluminium (Al) dan defisiensi hara-hara penting seperti fosfor (P), kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) (Marschner, 1995). Keracunan Al merupakan faktor pembatas utama, karena dapat menyebabkan terganggunya pertumbuhan akar, sehingga tanaman mengalami hambatan dalam penyerapan air dan hara (Kochian *et al.*, 2004).

Ketersediaan lahan kering masam yang luas ini sangat potensial untuk pengembangan tanaman. Tanaman yang mempunyai daya adaptasi agroekologi luas seperti sorgum, dapat dikembangkan di lahan ini. Menurut Reddy dan Dar (2007) sorgum dapat dijadikan sebagai bahan baku bioetanol. Produktivitas bioetanol dari sorgum lebih tinggi dibandingkan tanaman lain yang dapat mencapai

8,419 L ha⁻¹ tahun⁻¹ di atas tebu (6,679 L ha⁻¹ tahun⁻¹) atau ubi kayu yang hanya 3,835 L ha⁻¹ tahun⁻¹ (Ditjen Tanaman Pangan, 2007). Selain produktivitasnya yang tinggi dan biaya produksinya rendah, sorgum juga tidak berkompetisi dengan tanaman pangan lain (Hoeman, 2007).

Sorgum ideal dikembangkan sebagai bahan baku bioetanol di Indonesia karena tanaman ini lebih sesuai untuk dikembangkan di lahan kering (Hoeman, 2007). Untuk mencapai tujuan pengembangan sorgum di lahan kering masam, diperlukan upaya mengembangkan varietas sorgum yang mampu beradaptasi pada kondisi agroekologi tersebut melalui program pemuliaan tanaman yang didukung dengan pemahaman aspek fisiologi adaptasi tanaman (Sopandie, 2006). Program permuliaan tanaman sorgum untuk lahan masam diarahkan untuk meningkatkan daya toleransi tanaman sorgum terhadap cekaman keracunan Al dan defisiensi P. Untuk itu diperlukan penelitian yang bertujuan mengetahui mekanisme toleransi keracunan Al dan efisiensi penyerapan dan penggunaan P. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai informasi kajian fisiologi untuk proses seleksi tanaman sorgum toleran tanah masam dalam program pemuliaan, serta dapat membantu pemerintah dalam mengatasi krisis pangan dan energi di masa depan.

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: karlinagustina_92@yahoo.co.id

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan di rumah kaca di Kebun Percobaan University Farm IPB Cikabayan, Bogor. Waktu penelitian dimulai pada bulan Agustus hingga Oktober 2009. Percobaan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial dengan tiga ulangan. Perlakuan terdiri dari kombinasi antara genotipe sorgum dan tingkat cekaman pada media. Tanaman yang diuji adalah dua genotipe sorgum hasil seleksi di lahan masam Lampung yang teridentifikasi toleran dan peka terhadap lahan masam yaitu Numbu dan B-75 (Sungkono 2007). Cekaman media adalah kombinasi antara dosis Al dan P, yaitu tanpa kapur - tanpa P (R1), tanpa kapur - P kurang (R2), tanpa kapur - P cukup (R3), kapur - tanpa P (R4), kapur - P kurang (R5) dan kapur - P cukup (R6). Batasan nilai cukup dan kurang didasarkan pada hasil analisis erapan P tanah lahan percobaan yang dilaksanakan di Balai Penelitian Tanah Bogor. Dosis cukup adalah 1x dosis dan nilai kurang adalah 0.5x dosis pupuk SP-36 hasil uji erapan. Data yang didapatkan dianalisis menggunakan sidik ragam, dan untuk membedakan nilai tengah antar perlakuan digunakan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf nyata 5% atau 1%. Untuk mengetahui keeratan hubungan antar peubah yang diamati, dilakukan uji korelasi. Peubah yang diamati terdiri dari : panjang akar primer, diameter perakaran, bobot kering akar, bobot kering tajuk, nisbah tajuk akar, total serapan P, rasio efisiensi serapan P dan efisiensi penggunaan P.

Alat utama yang digunakan adalah rhizotron dan papan paku (*pin board*). Bahan-bahan penelitian antara lain, pupuk Urea, SP-36, KCl, dan kapur pertanian (CaCO_3). Tanah untuk media tanam diambil dari tempat percobaan lapang UPTD Tenjo Kabupaten Bogor. Jenis tanah lahan percobaan adalah Podsolik Merah Kuningan dengan pH awal pada lahan yang diberi kapur berkisar antara 4.3 hingga 4.5 serta kandungan Al rata-rata 2.73 me (100 g)⁻¹. Untuk lahan yang belum pernah dikapur, pH berkisar antara 4.1 hingga 4.3 dengan kandungan Al 11.2 me (100 g)⁻¹. Perlakuan kapur (CaCO_3) diberikan satu bulan sebelum penanaman.

Tanaman ditumbuhkan dalam rhizotron, yaitu pot kayu dengan dua sisi kaca setebal 3 mm berukuran 30 cm x 20 cm x 30 cm. Bagian kaca depan dibuat dengan posisi miring 25°. Bagian bawah pot kaca diberi lubang agar air dapat mengalir. Penanaman dilakukan mendekati sisi kaca miring sebanyak satu tanaman tiap rhizotron. Pemupukan menggunakan Urea dan KCl masing-masing dengan dosis 100 kg ha⁻¹. Pupuk N diberikan dua kali, yaitu ½ bagian pada saat tanam bersamaan dengan pemberian pupuk P dan K, sedangkan sisanya diberikan pada saat tanaman berumur tiga minggu. Pupuk P diberikan sesuai perlakuan. Untuk dosis P cukup pada tanah tanpa kapur diberikan sebanyak 28.8 g tiap tanaman (setara 5,760 kg ha⁻¹), sedangkan P cukup untuk tanah yang dikapur sebanyak 21.89 g tiap tanaman (setara 4,367 kg ha⁻¹). Panen dilakukan setelah tanaman berumur enam minggu. Panen dilakukan dengan membuka dua sisi pot kaca, selanjutnya akar dipindahkan ke *pin board* dan dibersihkan dari tanah dengan cara mengalirkan air secara perlahan, kemudian dilakukan pengamatan

sistem perakaran, panjang akar, diameter, percabangan, dan biomassa akar serta tajuk tanaman.

Bahan tanaman yang diambil pada bagian akar, batang dan daun dikeringkan dalam oven pada suhu 50 °C selama 72 jam untuk dianalisis kadar P jaringannya. Serapan P tanaman ditetapkan dengan menghaluskan 1 g jaringan tanaman (tajuk dan akar) dalam asam nitrat dan hipoklorat pekat, kemudian dianaskan sampai diperoleh larutan (ekstrak) jernih. Pengukuran kadar P dilakukan dengan metode spektrofotometri, yaitu dengan mengukur absorban ekstrak ditambah pereaksi ammonium molibdat-vanadat dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 420 nm. Kadar P jaringan digunakan untuk menentukan jumlah P dalam jaringan yang dinyatakan juga sebagai Rasio Efisiensi P (REP), dan Efisiensi Penggunaan P (EPP), dihitung berdasarkan persamaan :

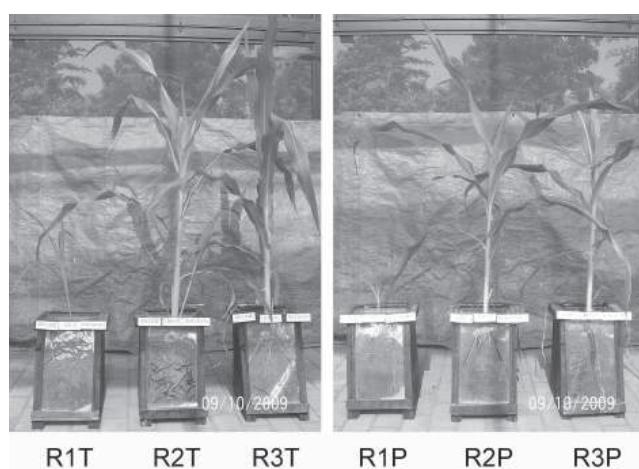
$$\text{REP} = \frac{\text{bobot kering yang terbentuk (mg)}}{\text{bobot P dalam jaringan (mg)}}$$

$$\text{EPP} = \frac{\text{bobot kering total (g)}}{\text{konsentrasi P jaringan (mg P (100 g bobot kering)⁻¹)}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanaman toleran dan peka menunjukkan pertumbuhan yang seragam pada minggu pertama percobaan, tetapi memasuki minggu kedua mulai terlihat penghambatan pertumbuhan tajuk tanaman peka pada perlakuan tanpa kapur - tanpa P (R1P). Tanaman toleran pada perlakuan tanpa kapur - tanpa P (R1T) baru terlihat tertekan memasuki minggu ke empat (Gambar 1).

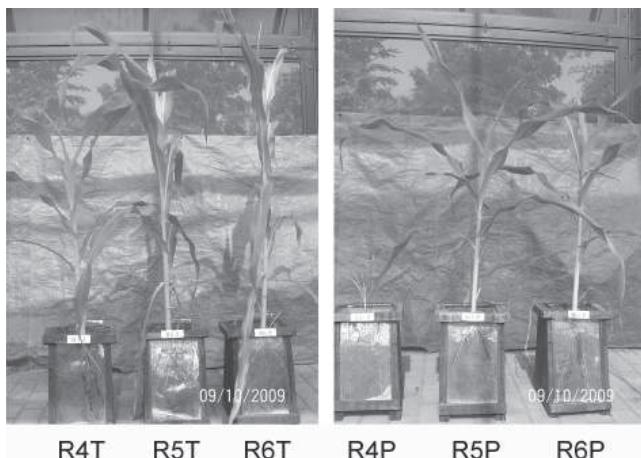
Tanaman pada perlakuan tanpa kapur - P kurang, baik pada genotipe peka maupun toleran (R2P dan R2T) menunjukkan penampilan yang cukup baik. Hal ini mengindikasikan bahwa sorgum sangat responsif terhadap pemberian hara P. Secara visual sorgum menunjukkan respon



Gambar 1. Perbandingan kondisi tanaman sorgum yang ditumbuhkan dalam media tanpa kapur - tanpa P (R1), tanpa kapur - P kurang (R2), dan tanpa kapur - P cukup (R3) pada tanaman toleran (T) dan peka (P)

lebih besar terhadap kondisi ketersediaan P daripada kondisi cekaman toksitas Al dalam rhizotron. Hal ini didukung oleh penampilan tanaman yang diberi kapur - tanpa P (R4P dan R4T). Pada kondisi ini, sorgum mengalami hambatan pertumbuhan, akan tetapi tanaman toleran menunjukkan ketahanan yang jauh lebih baik daripada tanaman peka (Gambar 1 dan 2).

Hasil analisis ragam pengaruh faktor tunggal perlakuan media tanam menunjukkan pengaruh sangat nyata terhadap semua peubah yang diamati. Genotipe sorgum nyata pengaruhnya terhadap panjang akar dan diameter akar, serta sangat nyata terhadap panjang tajuk, bobot kering tajuk, bobot kering akar, bobot kering batang dan bobot basah batang. Interaksi perlakuan menunjukkan pengaruh sangat nyata pada panjang akar, diameter akar, bobot kering akar, bobot kering tajuk, bobot basah batang, dan bobot kering batang, tetapi tidak nyata pengaruhnya terhadap panjang



Gambar 2. Perbandingan kondisi tanaman sorgum yang ditumbuhkan dalam media kapur - tanpa P (R4), kapur - P kurang (R5), dan kapur - P cukup (R6) pada tanaman toleran (T) dan peka (P)

Tabel 1. Rekapitulasi analisis ragam pengaruh kondisi cekaman, genotipe dan interaksinya terhadap pertumbuhan sorgum, total serapan P, rasio efisiensi P dan efisiensi penggunaan P dalam rhizotron

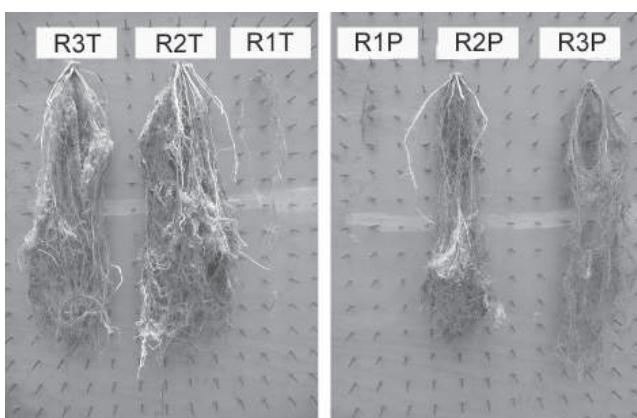
Peubah	Kondisi cekaman		Genotipe		Interaksi	
	KT	F-hit	KT	F-hit	KT	F-hit
Panjang tajuk	7910.42	77.03**	1263.86	12.31**	79.97	0.78tn
Panjang akar	1165.41	16.18**	499.82	6.94*	293.13	4.07**
Bobot kering tajuk	1888.95	51.31**	7564.57	205.48**	246.9	6.71**
Bobot kering akar	336.81	93.87**	139.84	38.81**	7.78	2.16*
Diameter akar	69.8	7.75**	60.81	6.75*	39.32	4.37**
Bobot kering batang	1030.62	26.56**	5941.88	153.10**	216.91	5.59**
Bobot basah batang	6730.52	54.74**	21827.27	177.54**	915.79	7.45**
Total serapan P	0.14	21.01**	0.02	3.17tn	0.01	0.05tn
Rasio efisiensi P	529712.81	71.69**	78221.95	10.59**	2248.79	3.04**
Efisiensi penggunaan P	1.42	0.80**	7.9	15.03**	3.07	5.84**

Keterangan: KT = Kuadrat Tengah; * = nyata pada taraf $\alpha= 5\%$; ** = nyata pada taraf $\alpha= 1\%$; tn = tidak nyata

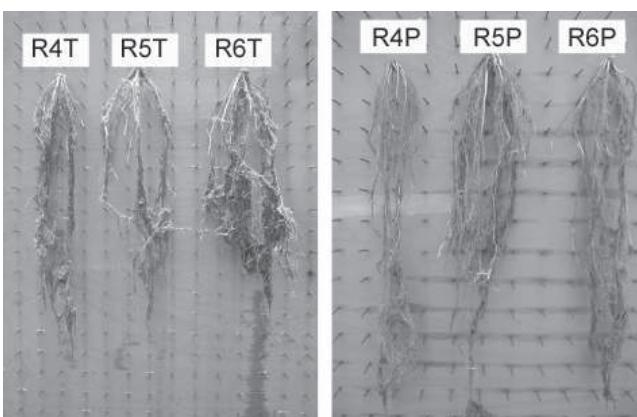
Tabel 2. Pengaruh kondisi cekaman dan genotipe terhadap panjang akar dan diameter akar sorgum dalam rhizotron

Kondisi cekaman	Panjang akar (cm)		Diameter akar (cm)	
	Numbu (T)	B-75 (P)	Numbu (T)	B-75 (P)
Tanpa kapur - tanpa P (R1)	52.20a	12.87b	8.85cd	5.10d
Tanpa kapur - P kurang (R2)	64.50a	60.33a	16.5a	12.67abc
Tanpa kapur - P cukup (R3)	66.33a	69.40a	14.33abc	15.00ab
Kapur - tanpa P (R4)	60.00a	55.87a	12.67abc	9.50bcd
Kapur - P kurang (R5)	68.33a	63.00a	17.67a	13.67abc
Kapur - P cukup (R6)	68.33a	66.33a	17.33a	14.83abc

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji DMRT pada taraf $\alpha=5\%$; T = toleran; P = peka



Gambar 3. Perbandingan morfologi akar sorgum yang ditumbuhkan dalam media tanpa kapur - tanpa P (R1), tanpa kapur - P kurang (R2), dan tanpa kapur - P cukup (R3) pada tanaman toleran (T) dan peka (P)



Gambar 4. Perbandingan morfologi akar sorgum yang ditumbuhkan dalam media kapur - tanpa P (R4), kapur - P kurang (R5), dan kapur - P cukup (R6) pada tanaman toleran (T) dan tanaman peka (P)

Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa tanaman toleran memiliki kemampuan mempertahankan pertumbuhan yang jauh lebih baik dibandingkan tanaman peka yang

ditunjukkan dari bobot biomassa tajuk dan bobot kering akar (Tabel 3). Tanaman toleran yang ditumbuhkan dalam media tanpa hara P (R4T dan R1T) menunjukkan penghambatan pertumbuhan akar dan tajuk (Gambar 1 dan 2).

Tabel 3 juga menunjukkan bahwa pada media berkapur - tanpa P (R4) tanaman masih tetap memberikan bobot kering akar dan tajuk yang lebih tinggi dibandingkan pada media tanpa kapur - tanpa P (R1). Hal ini diduga karena kapur yang diberikan mampu menetralisir sebagian besar Al yang terdapat pada tanah masam dan meningkatkan ketersediaan hara P yang terdapat dalam tanah walaupun tanpa diberi hara P tambahan, sehingga mampu memberikan pertumbuhan dan pembentukan biomassa yang lebih tinggi dibanding pada media tanpa pengapuran. Pengaruh Al pada tanaman yang ditumbuhkan pada tanah masam antara lain dapat mengurangi jumlah kation bervalensi dua yang diserap oleh akar tanaman khususnya Ca. Penghambatan Al terjadi dengan cara menggantikan kedudukan Ca yang melekat pada Calmodulin di dinding sel. Menurut Matsumoto *et al.* (2003) bahwa ikatan Al dengan karboksil ($RCOO^-$) membentuk ikatan kuat sehingga sel tidak mampu membesar. Aluminium dapat pula menghambat fungsi sel-sel pada jaringan meristem akar melalui penetrasi Al ke dalam protoplasma akar dan menghasilkan morfologi akar yang tidak normal dan dapat mengganggu proses penyerapan hara tanaman, serta menurunkan adsorpsi anion (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , dan Cl^-) karena meningkatnya daerah jerapan positif pada rizosfir dan apoplas akar.

Total serapan dan efisiensi penggunaan P pada berbagai perlakuan media dapat dilihat pada Tabel 4, sedangkan nilai tengah total serapan P pada kedua genotipe yang diuji pada Tabel 5. Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa total serapan P tertinggi didapatkan pada perlakuan kapur - P cukup (R6) dan terendah pada perlakuan tanpa kapur - tanpa P (R1), dan terlihat efisiensi penggunaan hara P yang berbeda nyata antara tanaman toleran dan peka, kecuali pada perlakuan tanpa kapur - tanpa P (R1). Hasil ini menunjukkan pengaruh cekaman toksitas Al yang cukup besar sehingga menyebabkan terhambatnya pertumbuhan akar tanaman dan selanjutnya dapat menghambat penyerapan hara. Penghambatan ini telah banyak dilaporkan, seperti pada kedelai (Sopandie *et al.*, 2000), dan gandum (Delhaize dan Ryan, 1995). Hasil penelitian Zheng *et al.* (1998)

Tabel 3. Pengaruh kondisi cekaman dan genotipe terhadap bobot kering akar dan bobot kering tajuk sorgum dalam rhizotron

Kondisi cekaman	Bobot kering akar (g)		Bobot kering tajuk (g)	
	Numbu (T)	B-75 (P)	Numbu (T)	B-75 (P)
Tanpa kapur - tanpa P (R1)	0.51f	0.01f	0.78e	0.39e
Tanpa kapur - P kurang (R2)	21.49a	17.22c	59.86a	23.78cd
Tanpa kapur - P cukup (R3)	20.48abc	12.60d	62.18a	29.48c
Kapur - tanpa P (R4)	10.00de	7.00e	42.97b	13.54d
Kapur - P kurang (R5)	21.03ab	17.12c	67.18a	30.92c
Kapur - P cukup (R6)	21.52a	17.72bc	67.13a	30.88c

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$; T = toleran; P = peka

Tabel 4. Pengaruh kondisi cekaman terhadap efisiensi penggunaan P tanaman sorgum dalam rhizotron

Kondisi cekaman	Efisiensi Penggunaan P ($\text{g}^2 \text{ bkt } (\text{mg P})^{-1}$)	
	Numbu (T)	B-75 (P)
Tanpa kapur - tanpa P (R1)	0.17b	2.07b
Tanpa kapur - P kurang (R2)	2.55a	1.04b
Tanpa kapur - P cukup (R3)	2.28a	1.01b
Berkapur - tanpa P (R4)	1.07a	1.07b
Berkapur - P kurang (R5)	2.41a	1.20b
Berkapur - P cukup (R6)	2.00a	0.97b

Keterangan: angka yang diikuti huruf sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$; bkt = bobot kering total; T = toleran; P = peka

menunjukkan bahwa toksitas Al selain mengakibatkan tanaman kekurangan hara juga mengubah struktur dan fungsi dari membran plasma dan menghalangi pembelahan sel pada ujung-ujung akar. Gangguan terhadap pertumbuhan dan kerusakan akar oleh cekaman Al menyebabkan rendahnya kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara dan air, sehingga tanaman mengalami defisiensi hara dan hambatan pertumbuhan (Marschner, 1995). Toksisitas Al pada cerealia dapat menurunkan hasil 28-63% (Caniato *et al.*, 2007). Toksisitas Al juga mempengaruhi efluks Ca. Gangguan Al terhadap Ca pada ujung akar dapat menyebabkan defisiensi Ca pada sel apikal akar atau mengubah homeostasis Ca. Perubahan ini akan memicu penyimpangan fungsi metabolisme dalam sel ujung akar yang selanjutnya dapat menghambat pemanjangan akar (Huang *et al.*, 1992).

Total serapan hara P pada tanaman peka lebih tinggi daripada tanaman toleran walaupun tidak berbeda nyata (Tabel 5). Hal ini diduga merupakan salah satu bentuk adaptasi tanaman dalam menghadapi cekaman hara mineral. Menurut Marschner (1995) dan Baligar *et al.* (1997), genotipe yang beradaptasi baik pada tanah masam selain harus toleran terhadap cekaman Al juga harus mempunyai

kemampuan untuk menyerap hara mineral dengan baik, agar dapat menghindari keadaan defisiensi hara mineral yang diinduksi oleh cekaman Al. Efisiensi penggunaan hara juga merupakan bentuk adaptasi terhadap defisiensi hara yang disebabkan kebutuhan hara mineral yang rendah dalam metabolisme dan proses retranslokasi yang efektif antara jaringan tua dengan jaringan meristematik.

Korelasi antara total serapan P dengan efisiensi penggunaan P dan panjang akar tidak nyata, tetapi terdapat korelasi nyata antara total serapan P dengan diameter akar dan bobot tajuk tanaman (Tabel 6). Hal ini mengindikasikan bahwa banyaknya hara yang terserap sangat dipengaruhi oleh diameter akar, dan selanjutnya akan memberikan pengaruh pula terhadap pembentukan biomassa tanaman. Menurut Duncan dan Baligar (1990), penyerapan hara mineral yang efisien sangat ditentukan oleh kondisi perakaran. Volume dan diameter akar yang besar memungkinkan tanaman mengeksplorasi volume tanah yang lebih luas. Genotipe yang efisien akan mengarahkan pembagian fotosintat yang lebih ke daerah akar untuk meningkatkan kemampuan akar menyerap hara mineral pada keadaan tercekam hara mineral rendah.

Tabel 5. Pengaruh kondisi cekaman dan genotipe terhadap total serapan P sorgum

Kondisi cekaman	Total serapan P (%)
Tanpa kapur - tanpa P (R1)	0.08c
Tanpa kapur - P kurang (R2)	0.36b
Tanpa kapur - P cukup (R3)	0.40ab
Berkapur - tanpa P (R4)	0.18c
Berkapur - P kurang (R5)	0.40ab
Berkapur - P cukup (R6)	0.49a
Genotipe	Total serapan P (%)
Numbu (Toleran)	0.34a
B-75 (Peka)	0.29a

Keterangan: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Tabel 6. Koefisien korelasi antara peubah total serapan P, efisiensi penggunaan P, bobot tajuk dan diameter akar sorgum

Peubah	Total serapan P	Effisiensi penggunaan P	Bobot tajuk	Panjang akar
Efisiensi penggunaan P	0.366tn (0.241)			
Bobot tajuk	0.949** (-0.000)	0.624* (-0.03)		
Panjang akar	0.510tn (-0.09)	0.742** (-0.006)	0.652* (-0.022)	
Diameter akar	0.729** (-0.007)	0.851** (-0.000)	0.874** (-0.000)	0.873** (-0.000)

Keterangan: Angka di dalam kurung menunjukkan nilai peluang; tn = korelasi tidak nyata; * = nyata pada taraf $\alpha = 5\%$; ** = nyata pada taraf $\alpha = 1\%$

KESIMPULAN

Perlakuan media tanam dan genotipe serta interaksinya memberikan pengaruh nyata pada semua peubah yang diamati, kecuali panjang tajuk. Tanaman sorgum lebih peka terhadap defisiensi hara P dibandingkan cekaman Al. Kondisi hara P kurang memberikan hasil yang tidak berbeda nyata dengan P cukup pada tanaman toleran dan peka baik pada lahan berkapur maupun tidak dikapur. Genotipe peka yang diuji memiliki nilai total serapan P tinggi, akan tetapi nilai efisiensi penggunaan hara P nya lebih rendah daripada tanaman toleran. Total serapan P dan efisiensi penggunaan P berkorelasi tinggi dengan diameter akar dan pembentukan biomassa tanaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DITJENDIKTI DEPDIKNAS) yang telah mendanai penelitian ini melalui program Hibah Penelitian Tim Pascasarjana (HPTP) tahun 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- Baligar, V.C., G.V.E. Pitta, E.E.G. Gama, R.E. Schaffer, de Bahia Filho, R.B. Clark. 1997. Soil acidity affects on nutrient use efficiency in exotic maize genotypes. Plant Soil 192:9-13.
- Caniato, F.F., C.T. Guimaraes, R.E. Schaffert, V.M.C. Alves, L.V. Kochian, A. Borem, P.E. Klein J.V. Magalhaes. 2007. Genetic diversity for aluminum tolerance in sorghum. Theor. Appl. Genet. 114:863-876
- Delhaize, E., P.R. Ryan. 1995. Aluminium toxicity and tolerance in plant. Plant Physiol. 107:315-321
- Ditjen Tanaman Pangan. 2007. Arah Kebijakan Pengembangan Sorgum sebagai Sumber Bahan Baku Bioetanol. hal. 1-14. Makalah pada workshop "Peluang dan Tantangan Sorgum sebagai Bahan Baku Bioetanol". Departemen Pertanian. Jakarta, 23 September 2007.
- Duncan, R.R., V.C. Baligar. 1990. Genetics, breeding and physiological mechanism of nutrient uptake and use efficiency: An overview. p. 3-35. In V.C. Baligar, R. R. Duncan (Eds.) Crop as Enhancer of Nutrient Use. Academic Press, San Diego.
- Hoeman, S. 2007. Peluang dan potensi pengembangan sorgum. Makalah pada Workshop "Peluang dan tantangan sorgum sebagai bahan baku bioetanol". Departemen Pertanian. Jakarta, 23 September 2007.
- Huang J.W., J.E. Shaf, D.L. Grunes, L.V. Kochian. 1992. Aluminium and effect on calcium fluxes at the root apex of aluminium tolerant and aluminium sensitive wheat cultivars. Plant Physiol. 98:230-237
- Kochian, L.V., O.A. Heokenga, M.A. Pineros. 2004. How do crop plants tolerate acid soil? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. Annu. Rev. Plant Biol. 55:459-493.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press Harcourt Brace and Company Publ, London.
- Matsumoto, H., Y. Yamamoto, M. Kasai. 2003. Change of some properties of the plasma membrane enriched fraction of barley roots related to aluminium stress: membranes associated ATP-ase, aluminium, and calcium. Soil Sci. Plant Nutr. 38:411-419
- Rao, I.M., D.K. Friesen, M. Osaki. 1999. Plant adaptation to phosphorous-limited tropical soil. p. 61-81. In M. Pessarakli (Ed.) Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York.

Reddy, B.V.S., W.D. Dar. 2007. Sweet Sorghum for Bioethanol. Makalah pada workshop “Peluang dan Tantangan Sorgum sebagai Bahan Baku Bioetanol”. Ditjen Perkebunan, Departemen Pertanian, Jakarta.

Rengel, Z. 2000. Role of calcium in aluminium. New Phytol. 21:499-513.

Sopandie, D. 2006. Perspektif Fisiologi dalam Pengembangan Tanaman Pangan di Lahan Marjinal. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Fisiologi Tanaman. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Sopandie, D., M. Jusuf, T.D. Setyono. 2000. Adaptasi

kedelai (*Glycine max* L.Merr.) terhadap cekaman pH rendah dan aluminium. Analisis pertumbuhan akar. Comm. Ag. 5:61-69.

Sungkono. 2007. Seleksi tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) untuk produktivitas biji dan bioetanol tinggi pada tanah masam melalui pendekatan *Participatory Plant Breeding*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.

Zheng, S.J., J.F. Ma, H. Matsumoto. 1998. High aluminium resistance in buck wheat. Al-induced specific secretion of oxalic acid from root tips. Plant Physiol. 117:745-751