

## Peranan Fosfor dalam Meningkatkan Toleransi Tanaman Sorgum terhadap Cekaman Aluminium

### *The Role of Phosphorus in Improving Sorghum Tolerance to Aluminum Stress*

Tri Lestari<sup>1,2</sup>, Trikoesoemaningtyas<sup>3</sup>, Sintho Wahyuning Ardie<sup>3</sup>, dan Didy Sopandie<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agronomi dan Hortikultura, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor  
<sup>2</sup>Jurusan Agroteknologi, Universitas Bangka Belitung  
Kampus Terpadu Desa Balunijuk, Kabupaten Bangka 33126, Indonesia  
<sup>3</sup>Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor  
(Bogor Agricultural University), Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

Diterima 13 Oktober 2015/Disetujui 16 Juni 2016

#### ABSTRACT

*The management of P nutrition can be a good solution for aluminum toxicity and P nutrient deficiency in acid soil. This study was aimed to determine the role of phosphorus in improving the tolerance of sorghum to Al stress in nutrient culture. This research was conducted at green house of Bogor Agricultural University, tissue culture laboratory in the Department of Agronomy and Horticulture Bogor Agricultural University and Indonesian Center for Agricultural Post Harvest Research and Development (ICAPOSTRD) Cimanggu Bogor, from January to November 2014. A completely randomized factorial design was used in three experiments. The results revealed that addition of P improved the tolerance of two sorghum genotypes to Al stress as indicated by the reduction in root length inhibition by Al, where P was more effective in tolerant genotype Numbu. Addition of P reduced the accumulation of Al in the root tissues as shown by the lighter intensity of hematoxylin staining, especially in Numbu. Aluminum stress increased the secretion of oxalate acid in both sorghum genotypes, where P lowered oxalate acid secretion in both genotypes. These facts showed that the role of P in improving the tolerance of sorghum to Al stress might be associated with the inhibition of Al absorption into the root tissues, although the mechanism is not yet known.*

*Keywords: Al stress, organic acid secretion, role of P, root staining method, sorghum*

#### ABSTRAK

*Pengelolaan hara P dapat menjadi solusi untuk mengatasi cekaman aluminium dan defisiensi hara P di tanah masam. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan peran fosfor dalam meningkatkan toleransi tanaman sorgum terhadap cekaman Al pada kultur hara. Percobaan dilaksanakan di rumah kaca IPB Bogor, laboratorium kultur jaringan Departemen AGH IPB dan Balai Besar Pasca Panen Cimanggu Bogor pada bulan Januari sampai Nopember 2014. Penelitian ini terdiri atas tiga percobaan yang menggunakan rancangan acak lengkap faktorial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian P dapat meningkatkan toleransi sorgum terhadap cekaman Al, yang ditunjukkan oleh pengurangan pada penghambatan panjang akar oleh Al. Peran P lebih efektif pada genotipe toleran Numbu. Pemberian P menurunkan akumulasi Al pada jaringan akar, yang ditunjukkan oleh intensitas pewarnaan hematoksilin yang lebih ringan, terutama pada Numbu. Cekaman aluminium meningkatkan sekresi asam oksalat pada kedua genotipe sorgum, namun P dapat menurunkan sekresi asam oksalat pada akar kedua genotipe tersebut. Fakta ini menunjukkan bahwa P dapat meningkatkan toleransi sorgum terhadap cekaman Al mungkin berkaitan dengan penghambatan absorpsi Al ke dalam jaringan akar; walaupun mekanismenya belum diketahui.*

*Kata kunci: cekaman Al, fosfor, pewarnaan akar, sekresi asam organik, sorgum*

#### PENDAHULUAN

Permasalahan dalam pengembangan tanaman di tanah masam adalah cekaman aluminium karena tanaman tidak tahan terhadap kejenuhan Al yang tinggi. Keracunan Al

mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Gejala keracunan Al pada tanaman adalah gangguan pertumbuhan akar yang menyebabkan penyerapan air dan hara terganggu (Caniato *et al.*, 2007; Panda *et al.*, 2009).

Gangguan pertumbuhan tanaman juga terjadi karena pengaruh langsung interaksi Al dengan P sehingga P menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Aluminium membentuk ikatan dengan adenosin trifosfat (ATP) yang menjadikan energi

\* Penulis untuk korespondensi. e-mail: [didysopandie@gmail.com](mailto:didysopandie@gmail.com)

tidak tersedia (Marschner, 2012). Cekaman Al dan defisiensi P sangat menghambat proses pembelahan sel sehingga menjadi kendala dalam produksi tanaman di tanah masam (Kochian *et al.*, 2005; Zheng, 2010).

Meningkat luasnya tanah masam dengan P rendah di Indonesia, pengembangan varietas sorgum yang toleran pada kondisi tersebut dipandang sangat strategis. Strategi untuk meningkatkan produktivitas tanaman di lahan marjinal adalah melalui program pemuliaan tanaman yang didukung oleh pemahaman tentang aspek fisiologi adaptasi tanaman (Sopandie, 2014). Aspek fisiologi meliputi pengelolaan hara P pada kondisi ketersediaan P terbatas di tanah masam dapat menjadi solusi untuk masalah ini.

Fosfor diperlukan oleh tanaman untuk mensintesis senyawa adenosin trifosfat (ATP) yaitu, suatu senyawa organik yang berperan penting dalam berbagai reaksi energetik pada proses metabolisme (Marschner, 2012). Permasalahan pada tanah masam adalah rendahnya ketersediaan hara P sehingga kemampuan menyerap hara P akan menentukan tingkat toleransinya terhadap cekaman Al. Tanaman mengembangkan strategi yang berbeda dalam menghadapi cekaman Al dan P rendah yaitu dengan meningkatkan penyerapan atau efisiensi penggunaan sehingga mampu mencegah kekurangan hara P.

Beberapa penelitian untuk mendapatkan genotipe sorgum toleran tanah masam telah dilakukan. Penelitian Agustina *et al.* (2010a) dan Agustina *et al.* (2010b), menunjukkan bahwa faktor pembatas utama pertumbuhan sorgum di tanah masam adalah defisiensi P. Genotipe Numbu dan ZH 30-29-07 lebih mampu mempertahankan pertumbuhan akar pada keadaan tercekam Al dibandingkan dengan galur peka B-75. Genotipe Numbu juga dapat tumbuh baik ditanah masam hasil seleksi Sungkono *et al.* (2009), namun pengembangan sorgum yang toleran terhadap P rendah belum banyak dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan peran fosfor dalam meningkatkan toleransi tanaman sorgum terhadap cekaman Al.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahapan, yaitu : 1) pengaruh pemberian fosfor terhadap panjang akar sorgum dalam kondisi cekaman aluminium, 2) pengaruh pemberian fosfor terhadap akumulasi Al pada akar sorgum, dan 3) akumulasi dan sekresi asam organik pada akar sorgum yang tercekam Al dan defisiensi P. Percobaan pertama dan ke dua dilaksanakan di rumah kaca kebun percobaan Cikabayan University Farm IPB Bogor. Percobaan ke tiga di Laboratorium Kultur Jaringan 3 Departemen AGH, IPB dan Laboratorium Balai Besar Pasca panen Cimanggu Bogor pada bulan Januari sampai November 2014.

Bahan tanaman yang digunakan adalah dua genotipe sorgum Numbu (toleran Al) dan UPCA-S1 (peka Al) hasil penelitian Lestari *et al.* (2014). Komposisi larutan yang digunakan mengacu pada Ohki (1987) dengan komposisi sebagai berikut 0.24 mM  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 0.03 mM  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; 0.088 mM  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 0.38 mM  $\text{KNO}_3$ ; 1.27 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0.27 mM  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0.14 mM  $\text{NaCl}$ ; 6.6  $\mu\text{M}$   $\text{H}_3\text{BO}_3$ ;

5.1  $\mu\text{M}$   $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; 0.61  $\mu\text{M}$   $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0.16  $\mu\text{M}$   $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 0.1  $\mu\text{M}$   $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 45  $\mu\text{M}$   $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -EDTA. Fosfor diberikan dalam bentuk  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Cekaman aluminium diberikan dalam bentuk  $\text{AlCl}_3$ .

### *Pengaruh Pemberian Fosfor terhadap Panjang Akar Sorgum dalam Kondisi Cekaman Aluminium*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian P dalam peningkatan toleransi sorgum terhadap cekaman aluminium berdasarkan panjang akar. Percobaan dilaksanakan dengan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial. Faktor pertama adalah dua genotipe sorgum Numbu dan UPCA-S1, sedangkan faktor ke dua adalah 8 kombinasi perlakuan 4 tingkatan P (0, 0.01, 0.1, 1 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dalam kondisi cekaman Al (0 dan 74  $\mu\text{M}$   $\text{AlCl}_3$ ). Kecambah normal berumur satu minggu dengan panjang akar yang seragam dipindahkan ke media percobaan. Perlakuan cekaman Al dilakukan dengan penambahan 74  $\mu\text{M}$   $\text{AlCl}_3$  ke larutan hara dengan lama perendaman selama 14 hari, pH larutan Ohki (1987) diatur pada  $4.0 \pm 0.1$  dengan penambahan 1 M  $\text{NaOH}$  dan 1 M  $\text{HCl}$ .

### *Pengaruh Pemberian Fosfor terhadap Akumulasi Al pada Akar Sorgum*

Penelitian ini ditujukan untuk menentukan pengaruh pemberian P dalam mengurangi akumulasi Al pada jaringan akar kedua genotipe sorgum tersebut melalui metode pewarnaan akar dengan hematoksilin. Percobaan dilaksanakan dengan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial. Faktor pertama adalah dua genotipe sorgum (Numbu dan UPCA-S1) dan faktor ke dua adalah 2 perlakuan P (0 dan 0.1 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dalam kondisi cekaman 74  $\mu\text{M}$   $\text{AlCl}_3$ . Media yang digunakan adalah kultur hara dengan komposisi larutan hara mengacu pada Ohki (1987) dengan modifikasi pada konsentrasi  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dan dengan penambahan 74  $\mu\text{M}$   $\text{AlCl}_3$ . Tanaman diberi perlakuan P dan Al selama 48 jam kemudian dipanen untuk uji kerusakan akar secara visual menggunakan 2 pewarnaan, yaitu pewarnaan hematoksilin dalam 0.02% (w/v)  $\text{KIO}_3$  dan reagen Schiff's.

### *Akumulasi dan Sekresi Asam Organik pada Akar Sorgum yang Tercekam Al dan Defisiensi P*

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh perlakuan P terhadap akumulasi dan sekresi asam organik pada akar kedua genotipe sorgum dalam kondisi cekaman Al dan defisiensi P. Percobaan dilaksanakan dengan menggunakan rancangan acak lengkap faktorial. Faktor pertama adalah dua genotipe sorgum (Numbu dan UPCA-S1) dan faktor kedua adalah dua perlakuan P (0 mM dan 0.1 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) dalam kondisi cekaman 74  $\mu\text{M}$   $\text{AlCl}_3$ . Identifikasi asam organik dilakukan pada hari ke 5 setelah perlakuan. Analisis asam organik yang disekresikan akar menggunakan HPLC dengan kolom analitik ion-exclusion (Pellet *et al.*, 1995).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Pengaruh Pemberian Fosfor terhadap Panjang Akar Sorgum dalam Kondisi Cekaman Aluminium*

Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan Al ( $74 \mu\text{M AlCl}_3$ ) pada kondisi tanpa P ( $0 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$ ) memiliki panjang akar yang tidak berbeda nyata dengan kontrol tanpa Al ( $0 \mu\text{M AlCl}_3$ ) dan tanpa P ( $0 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$ ). Cekaman Al menghambat pertumbuhan panjang akar kedua genotipe sorgum jika dibandingkan dengan kontrol. Pemberian P  $0.01 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$  pada kondisi cekaman Al ( $74 \mu\text{M AlCl}_3$ ) dapat meningkatkan panjang akar sorgum setara dengan panjang akar sorgum pada kondisi kontrol tanpa Al ( $0 \mu\text{M AlCl}_3$ ) dan tanpa P ( $0 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$ ). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian P secara eksogenous dapat mengurangi toksisitas Al terhadap panjang akar sorgum, terutama pada varietas Numbu. Pada percobaan ini genotipe Numbu menunjukkan respon yang lebih baik dibandingkan dengan genotipe UPCA-S1 pada setiap perlakuan Al dan P.

Keberadaan P meningkatkan toleransi sorgum terhadap cekaman Al karena terlihat perbedaan pada sorgum yang diberi perlakuan P dan tanpa P. Genotipe Numbu (toleran) dan UPCA-S1 (peka) mengalami perubahan perbedaan panjang akar terhadap defisiensi P (Tabel 1). Karakter panjang akar dapat digunakan sebagai karakter seleksi karena panjang akar sangat menentukan tingkat toleransi tanaman terhadap cekaman aluminium (Roslim *et al.*, 2010).

Numbu merupakan genotipe yang lebih tahan terhadap cekaman Al, defisiensi P dan lebih tanggap terhadap pemberian P dibandingkan UPCA-S1. Ketahanan Numbu terhadap cekaman Al menggunakan mekanisme menghindari, yaitu dengan mengurangi penghambatan pertumbuhan akar. Berdasarkan hasil penelitian tersebut pemberian P sangat penting bagi tanaman guna mengatasi gejala keracunan Al. Menurut Marschner (2012) kemampuan menyerap hara mineral dengan baik pada keadaan tercekam merupakan suatu bentuk adaptasi penghindaran terhadap cekaman defisiensi hara.

Serapan P yang tinggi pada tanaman dapat dipertahankan melalui 2 sistem penyerapan, yaitu (1) sistem berafinitas rendah yang bekerja ketika P-cukup, sedangkan (2) sistem berafinitas tinggi yang bekerja ketika P-rendah (Marschner 2012).

### *Pengaruh Pemberian Fosfor terhadap Akumulasi Al pada Akar Sorgum*

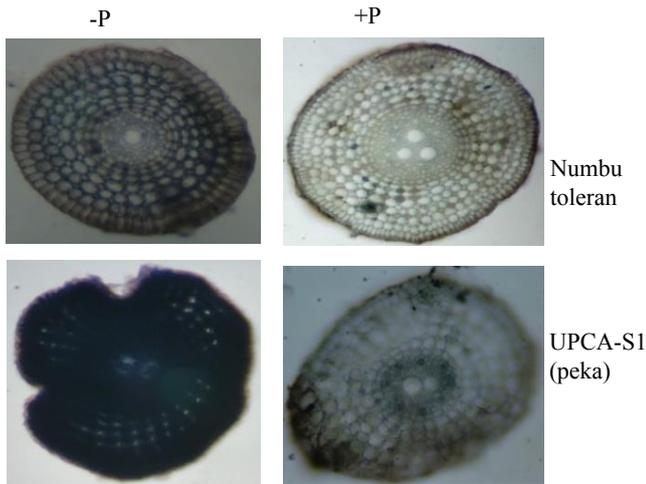
Akar yang tercekam aluminium akan menunjukkan warna ungu kehitaman pada jarak 1 cm dari ujung akar. Irisan melintang di sepanjang jaringan tersebut juga menunjukkan pewarnaan oleh hematoksilin pada epidermis hingga endodermis (Gambar 1). Genotipe Numbu (toleran) dengan perlakuan Al tanpa P ditemukan adanya pewarnaan. Pemberian P menyebabkan warna lebih terang atau bahkan tidak terwarnai oleh hematoksilin yang menandakan tidak terdapatnya aluminium. Perlakuan Al tanpa P pada genotipe UPCA-S1(peka) menyebabkan warna lebih gelap (paling gelap) dibandingkan pada Numbu (toleran). Pemberian P menunjukkan kurang efektivitas dalam mengurangi pewarnaan yang mengindikasikan Al tetap masuk ke dalam jaringan akar pada UPCA-S1. Pengurangan intensitas pewarnaan oleh hematoksilin pada kondisi pemberian P menunjukkan bahwa keberadaan P di dalam jaringan memiliki peran dalam mengurangi toksisitas Al, walaupun mekanisme secara internal ini belum diketahui. Penelitian Miftahudin *et al.*, (2007) menunjukkan bahwa akumulasi Al juga dijumpai pada epidermis dan sub epidermis akar padi. Hasil penelitian tidak terdapat perbedaan yang nyata dalam akumulasi Al akar kedua genotipe padi.

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa sebagian besar Al berada di apoplas akar dan hanya sebagian kecil yang masuk ke simplas pada genotipe Numbu (Gambar 1). Semakin banyak Al yang berada di apoplas akar akan memperkecil peluang Al mencapai tajuk karena akan terhalang pita kaspari sebelum masuk ke endodermis. Genotipe UPCA-S1 tidak mampu menahan lebih banyak Al di apoplas sehingga Al lebih mudah mengikuti jalur simplas

Tabel 1. Rata-rata nilai pengaruh interaksi antara kondisi cekaman Al dan P terhadap panjang akar kedua genotipe sorgum

| Perlakuan        |                          | Panjang akar (cm) |         |
|------------------|--------------------------|-------------------|---------|
| $\text{AlCl}_3$  | $\text{KH}_2\text{PO}_4$ | Numbu             | UPCA-S1 |
| $0 \mu\text{M}$  | $0.00 \text{ mM}$        | 19.60bcd          | 15.36ab |
| $0 \mu\text{M}$  | $0.01 \text{ mM}$        | 19.00cd           | 16.33ab |
| $0 \mu\text{M}$  | $0.10 \text{ mM}$        | 22.70abc          | 17.23a  |
| $0 \mu\text{M}$  | $1.00 \text{ mM}$        | 24.50a            | 18.10a  |
| $74 \mu\text{M}$ | $0.00 \text{ mM}$        | 16.36d            | 10.60ab |
| $74 \mu\text{M}$ | $0.01 \text{ mM}$        | 18.28cd           | 12.43ab |
| $74 \mu\text{M}$ | $0.10 \text{ mM}$        | 23.67ab           | 17.67a  |
| $74 \mu\text{M}$ | $1.00 \text{ mM}$        | 18.67cd           | 16.85a  |

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT  $\alpha = 5\%$ . KK = 13.9%

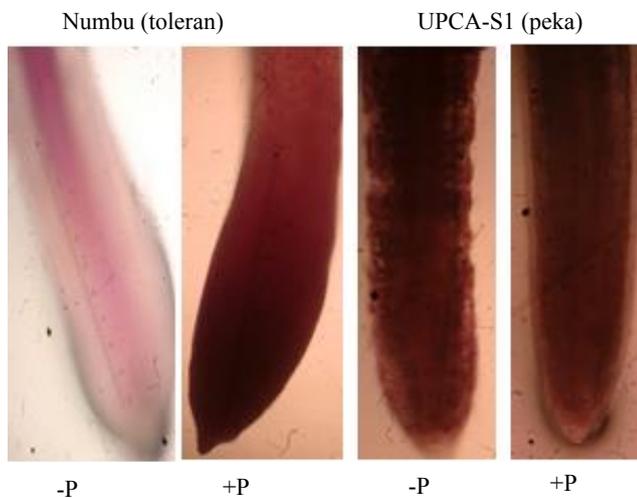


Gambar 1. Potongan melintang akar sorgum Numbu dan UPCA-S1 setelah mendapatkan cekaman Al ( $74 \mu\text{M AlCl}_3$ ) 48 jam dengan pewarnaan hematoksin konsentrasi  $0 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$  (-P) dan  $0.1 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$  (+P)

yang tidak memiliki pita kaspari. Akibatnya, Al bebas masuk mencapai jaringan pembuluh melalui plasmodesmata (Taiz dan Zeiger, 2010). Dugaan ini terbukti melalui penelusuran distribusi dengan hematoksin menunjukkan perbedaan respon antar genotipe sorgum.

Akar sorgum yang tercekam aluminium tanpa pemberian fosfor mengalami degradasi. Kerusakan akar terjadi karena adanya peroksidasi lipid pada membran sel dari jaringan epidermis hingga korteks. Peroksidasi lipid tersebut dapat ditunjukkan oleh warna merah jambu dengan penggunaan reagen Schiff's (Gambar 2). Peroksidasi ini terjadi ketika Al memicu terbentuknya *reactive oxygen species* (ROS) yang menginduksi peroksidasi lipid di membran plasma dan organel di dalam sitosol (Jones *et al.*, 2006).

Pemberian P dapat mencegah masuknya Al sehingga mengurangi kerusakan akar. Hal ini menunjukkan bahwa



Gambar 2. Ujung akar sorgum Numbu dan UPCA-S1 setelah mendapatkan cekaman Al ( $74 \mu\text{M AlCl}_3$ ) 48 jam dengan pewarnaan reagen Schiff's pada konsentrasi  $0 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$  (-P) dan  $0.1 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$  (+P)

keberadaan P pada jaringan dapat mengurangi degradasi akar akibat peroksidasi lipid pada kedua genotipe sorgum tersebut. Numbu (toleran) lebih responsif terhadap pemberian P pada kondisi cekaman Al. Pemberian P pada media mengurangi intensitas pewarnaan hematoksin pada genotipe Numbu (Gambar 1). Berkurangnya Al pada jaringan menunjukkan bahwa keberadaan P memiliki peran dalam mengurangi toksisitas Al. Kemampuan mengurangi akumulasi Al merupakan salah satu mekanisme pertahanan tanaman terhadap cekaman Al (Kochian *et al.*, 2005).

#### *Akumulasi dan Sekresi Asam Organik pada Akar Sorgum yang Tercekam Al dan Defisiensi P*

Tabel 2 menunjukkan bahwa akumulasi kadar asam organik akar sorgum defisiensi P terdiri atas asam oksalat, asam sitrat, dan asam malat. Asam oksalat yang dihasilkan kedua genotipe sorgum memiliki jumlah yang lebih banyak dibandingkan asam sitrat dan asam malat. Pemberian P dapat meningkatkan jumlah asam organik kedua genotipe sorgum yang tercekam aluminium dibandingkan tanpa pemberian P. Produksi asam organik merupakan salah satu mekanisme eksternal penting (detoksifikasi) yang memungkinkan tanaman bertahan saat menghadapi cekaman Al.

Tabel 3 menunjukkan bahwa sekresi asam organik yang dihasilkan oleh akar sorgum yang tercekam Al dan defisiensi P adalah asam oksalat. Asam oksalat akan disekresikan lebih banyak ketika terjadi defisiensi P (tanpa P) pada kedua genotipe sorgum. Pemberian P  $0.1 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$  dapat menurunkan sekresi asam oksalat pada akar kedua genotipe sorgum. Pemberian P  $0.1 \text{ mM KH}_2\text{PO}_4$  pada kondisi tidak tercekam Al (kontrol) efektif menurunkan sekresi asam oksalat terhadap genotipe Numbu sebesar 99.7% dan UPCA-S1 sebesar 17.6%, sedangkan pada kondisi tercekam Al efektif menurunkan sekresi asam oksalat terhadap genotipe Numbu sebesar 46.5% dan UPCA-S1 sebesar 20.6%.

Pemberian P dapat menurunkan sekresi asam oksalat pada kedua genotipe sorgum dibandingkan tanpa pemberian P. Numbu (toleran) jika diberi P, memproduksi asam oksalat lebih sedikit, namun sebaliknya UPCA-S1 memproduksi asam oksalat lebih banyak untuk mendetoksifikasi Al. Peningkatan sekresi asam oksalat di akar sorgum diduga juga berkaitan dengan usaha tanaman untuk mendetoksifikasi Al yang sudah masuk ke dalam jaringan akar. Aluminium yang masuk ke dalam akar dikelat oleh asam organik, dan kemudian di bawa ke dalam vakuola untuk didetoksifikasi di dalam organel tersebut (Kochian *et al.*, 2005).

Sekresi dan akumulasi asam organik akar sorgum yang terdiri asam malat, asam sitrat dan asam oksalat merupakan salah satu bentuk respon tanaman terhadap cekaman Al, baik itu pada tanaman monokotil maupun dikotil (Kochian *et al.*, 2005). Hasil penelitian Liang *et al.* (2013), keracunan Al di akar kedelai pada tanah masam menyebabkan sekresi asam malat meningkat pada kondisi defisiensi P. Akar gandum genotipe yang sensitif Al lebih meningkatkan akumulasi asam malat dibandingkan dengan genotipe toleran Al (Andrade *et al.*, 2011).

Data hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanpa penambahan P dapat menginduksi sekresi asam oksalat.

Tabel 2. Akumulasi asam organik akibat cekaman Al (74  $\mu$ M  $AlCl_3$ ) dan P pada akar sorgum genotipe Numbu dan UPCA-S1

| Genotipe | Perlakuan         | Kandungan asam organik (ppm) |        |         |
|----------|-------------------|------------------------------|--------|---------|
|          |                   | Oksalat                      | Sitrat | Malat   |
| Numbu    | 0.0 mM $KH_2PO_4$ | 1,590.3a                     | 131.5a | 128.1b  |
|          | 0.1 mM $KH_2PO_4$ | 2,040.7ab                    | 172.3a | 233.3ab |
| UPCA-S1  | 0.0 mM $KH_2PO_4$ | 2,338.3a                     | 186.4a | 194.7ab |
|          | 0.1 mM $KH_2PO_4$ | 2,315.1a                     | 199.9a | 267.8a  |

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama pada masing perlakuan menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT  $\alpha = 5\%$ . KK = 15.9%

Tabel 3. Sekresi asam oksalat akibat cekaman Al dan P pada akar sorgum genotipe Numbu dan UPCA-S1

| Perlakuan  |            | Sekresi asam oksalat (ppm) |               |
|------------|------------|----------------------------|---------------|
| $AlCl_3$   | $KH_2PO_4$ | Numbu                      | UPCA-S1       |
| 0 $\mu$ M  | 0.0 mM     | 33.72bc(99.7)              | 58.65ab(17.6) |
| 0 $\mu$ M  | 0.1 mM     | 0.10d                      | 48.29abc      |
| 74 $\mu$ M | 0.0 mM     | 41.84abc(46.5)             | 71.50a(20.6)  |
| 74 $\mu$ M | 0.1 mM     | 22.35cd                    | 56.73ab       |

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama pada masing-masing perlakuan menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT  $\alpha=5\%$ . Angka dalam kurung menunjukkan peningkatan (%). KK = 20.64%

Asam oksalat yang disekresikan diduga dapat mengkelat Al, proses ini akan menyebabkan terlepasnya P dari kompleks Al-P sehingga P menjadi tersedia dan dapat diserap oleh tanaman. Jumlah asam oksalat yang relatif sedikit disekresikan oleh genotipe kemungkinan tidak mencukupi untuk mengurangi toksisitas aluminium.

Tanaman umumnya merespon cekaman Al dengan meningkatkan sekresi asam organik. Sekresi oksalat di akar sorgum meningkat seiring meningkatnya cekaman Al, tetapi sekresi oksalat justru berkurang dengan pemberian fosfor. Diduga Al diikat P sehingga kebutuhan tanaman untuk menghasilkan asam organik berkurang. Hal ini menyebabkan sedikit energi yang dibutuhkan untuk mendetoksifikasi Al. Menurut Liao *et al.* (2006), P memainkan peran dalam toleransi Al pada kedelai. Genotipe yang efisien P mungkin dapat meningkatkan Al melalui interaksi Al-P, tetapi juga melalui interaksi langsung dengan sekresi asam organik yang mengkelat Al.

Respon tanaman terhadap cekaman Al dapat terjadi secara eksternal ataupun eksternal-internal. Tanaman sorgum memberikan respon terhadap Al hanya secara eksternal berupa sekresi asam malat ke rhizosfer (Kochian *et al.*, 2005). Liao *et al.* (2006), melaporkan bahwa pola sekresi asam organik berbeda pada tanaman kedelai. Asam sitrat adalah asam organik utama yang disekresikan oleh akar yang tercekam Al dan P, tetapi jumlah asam malat lebih sedikit. Asam oksalat diinduksi hanya ketika terjadi defisiensi P. Hasil penelitian Bertham dan Nusantara (2011) memperlihatkan kondisi kahat P pada tanaman kedelai mengeksudasi asam oksalat dan malat yang berbeda setiap genotipe.

Genotipe sorgum yang toleran terhadap defisiensi P tidak saja harus memiliki kemampuan untuk memperoleh P yang lebih besar (efisiensi eksternal) tetapi juga dapat menggunakan P yang diserap secara lebih efisien (efisiensi internal) sehingga mampu mencegah pengaruh kekurangan hara. Menurut Marschner (2012) efisiensi eksternal dapat ditingkatkan melalui perkembangan akar yang lebih baik atau dengan peningkatan eksudasi asam organik. Efisiensi internal dapat ditingkatkan melalui pembagian P dalam tanaman (remobilisasi) dan penggunaan P pada tingkat seluler.

Numbu merupakan genotipe yang lebih tahan terhadap cekaman Al, defisiensi P dan lebih tanggap terhadap pemberian P dibanding UPCA-S1. Ketahanan Numbu terhadap cekaman Al menggunakan mekanisme menghindar, yaitu dengan mengurangi penghambatan pertumbuhan akar, menghasilkan asam oksalat yang dapat mengkelat Al lebih banyak, menjaga Al berada di apoplas akar dan mengurangi peroksidasi lipid pada membran sel mulai epidermis sampai korteks akar.

## KESIMPULAN

Pemberian P 0.1 mM  $KH_2PO_4$  dapat meningkatkan panjang akar genotipe Numbu dibandingkan tanpa P, 0.01 mM  $KH_2PO_4$  dan 1 mM  $KH_2PO_4$  pada kondisi tercekam Al (74  $\mu$ M  $AlCl_3$ ). Numbu merupakan genotipe yang lebih tahan terhadap cekaman Al, defisiensi P dan lebih tanggap terhadap pemberian P dibanding UPCA-S1. Pemberian P dapat mengurangi toksisitas Al terutama pada genotipe

Numbu. Pemberian P dapat mengurangi penghambatan panjang akar dan menurunkan sekresi asam oksalat.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Doktor tahun 2014 kepada penulis.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, K., D. Sopandie, Trikoesoemaningtyas, D. Wirnas. 2010a. Uji adaptasi sorgum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] pada lahan kering masam terhadap toksisitas aluminium dan defisiensi fosfor. Prosiding Pekan Serealia Nasional. Maros, Sulawesi Selatan, 26-30 Juli 2010.
- Agustina, K., D. Sopandie, Trikoesoemaningtyas, D. Wirnas. 2010b. Tanggap fisiologi akar sorgum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] terhadap cekaman aluminium dan defisiensi fosfor di dalam rhizotron. J. Agron. Indonesia 38:88-94.
- Andrade, L.R.M., M. Ikeda, L.I.V. Amaral, J. Ishizuka. 2011. Organic acid metabolism and root excretion of malate in wheat cultivars under aluminum stress. Plant Physiol. Biochem. 49:55-60.
- Bertham, Y.H., A.D. Nusantara. 2011. Mekanisme adaptasi genotipe baru kedelai dalam mendapatkan fosfor dari tanah mineral masam. J. Agron. Indonesia 39:24-30.
- Caniato, F., C.T. Guimaraes, S. 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.
- Jones, D.L., Blancaflor, L.V. Kochian, S. Gilroy. 2006. Spatial coordination of aluminum uptake, production of reactive oxygen species, callose production and wall rigidification in maize roots. Plant Cell Environ. 29:1309-1318.
- Kochian, L.V., M.A. Piñeros, O.A. Hoekenga. 2005. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. Plant Soil 274:175-195.
- Lestari, T., D. Sopandie, Trikoesoemaningtyas, S.W. Ardie. 2014. Screening of several sorghum genotypes on acid soil tolerance. Int. J. Agr. Res. 5:170-176.
- Liang, C., M.A. Pineros, J. Tian, Z. Yao, L. Sun, J. Liu, J. Shaff, A. Coluccio, L.V. Kochian, H. Liao. 2013. Low pH, aluminum, and phosphorus coordinately regulate malate exudation through GmALMT1 to improve soybean adaptation to acid soils. Plant Physiol. 161:1347-1361.
- Liao, H., H. Wan, J. Shaff, X. Wang, X. Yan, L.V. Kochian. 2006. Phosphorus and aluminum interactions in soybean in relation to aluminum tolerance: exudation of specific organic acids from different regions of the intact root system. Plant Physiol. 141:674-684.
- Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. 3th ed. Academic Press Harcourt Brace and Company Publishers, London.
- Miftahudin, Nurllaela, Juliarni. 2007. Uptake and distribution of aluminum in root apices of two rice varieties under aluminum stress. Hayati J. Biosci. 14:110-114.
- Ohki, K. 1987. Aluminum stress on sorghum growth and nutrient relationships. Plant Soil 98:195-202.
- Panda, S.K., F. Baluska, Matsumoto. 2009. Aluminum stress signaling in plant. Plant Signal. Behav. 4:592-597.
- Pellet, D.M., D.L. Grunes, L.V. Kochian. 1995. Organic acid exudation as aluminum tolerance mechanism in maize. Planta 196:788-795.
- Roslim, D.I., Miftahudin, U. Suharsono, H. Aswindinnor, A. Hartana. 2010. Character root re-growth as parameters tolerance aluminum on rice. J. Natur Indonesia 13:82-88.
- Sopandie D. 2014. Fisiologi Adaptasi Tanaman terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika. Bogor (ID): IPB Pr.
- Sungkono, Trikoesoemaningtyas, D. Wirnas, D. Sopandie, S. Hoeman, H.M. Yudiarto. 2009. Pendugaan parameter genetik dan seleksi galur mutan sorgum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] di tanah masam. J. Agron. Indonesia 37:220-225.
- Taiz, L., E. Zeiger. 2010. Plant Physiology. 5th ed. Sinauer Associates, Inc., Publ. Sunderland, Massachusetts, USA.
- Zheng, S.J. 2010. Crop production on acidic soils: Overcoming aluminum toxicity and phosphorus deficiency. Ann. Bot. 106:183-184.