

DISTRIBUSI DAN AKUMULASI ALUMINIUM PADA AKAR SORGUM (*Sorghum bicolor* (L) Moench) MELALUI UJI PEWARNAAN HEMATOKSILIN

Karlin Agustina^{1,*}, Didy Sopandie², Trikoesoemaningtyas², Desta Wirnas²
dan Wiwik Hardaningsih³

¹ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas IBA Palembang/

² Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
Jalan Meranti Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

³ Program Studi B.T. Pangan, Politeknik Pertanian Universitas Andalas, Payakumbuh Padang

*Corresponding author: karlinagustina_92@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian pada akar sorgum bertujuan untuk memperoleh informasi tentang mekanisme toleransi sorgum terhadap cekaman Al melalui uji pewarnaan hematoksilin, yaitu membedakan antara genotipe dengan mekanisme eksternal dan mekanisme internal. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang disusun secara faktorial dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah kombinasi konsentrasi larutan Al dan lama perendaman, terdiri dari tanpa Al (H0), 74 µM Al-6 jam (H1), 74 µM Al-24 jam (H2), 74 µM Al-48 jam (H3), 148 µM Al-6 jam (H4), 148 µM Al-24 jam (H5), 148 µM Al-48 jam (H6), 222 µM Al-6 jam (H7), 222 µM Al-24 jam (H8) dan 222 µM Al-48 jam (H9). Faktor kedua adalah genotipe sorgum yaitu Numbu (T1), ZH-30-29-07 (T2), B-69 (P1) dan B-75 (P2). Hasil penelitian menunjukkan, ujung akar tanaman peka mengakumulasi Al lebih banyak dan memiliki perakaran lebih pendek daripada tanaman toleran. Tanaman toleran menunjukkan mekanisme eksternal terhadap cekaman Al. Semakin lama tanaman terdedah cekaman, semakin tinggi nilai skoring dan semakin banyak akumulasi Al pada ujung akar.

Kata-kata kunci: akar sorgum, akumulasi Al, hematoksilin

PENDAHULUAN

Sorgum manis (*Sorghum bicolor* L. Moench) merupakan tanaman yang dapat dijadikan sebagai salah satu solusi krisis pangan dan energi yang dihadapi Indonesia saat ini. Menurut Yudiarto (2006) serta Reddy dan Dar (2007), biji sorgum dapat dijadikan sebagai bahan pangan utama sumber karbohidrat, sedangkan batang dan juga bijinya dapat dikonversi menjadi bioetanol melalui proses fermentasi. Keunggulan sorgum lainnya terletak pada daya adaptasi agroekologi yang luas, tahan terhadap kekeringan, produksi yang tinggi, serta lebih tahan terhadap hama dan penyakit dibanding tanaman pangan lainnya. Beberapa kandungan nilai gizi yang dimiliki sorgum melebihi kandungan beras, seperti protein, lemak, kalsium, besi, fosfor, dan vitamin B-1 (Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI, 1992).

Pengembangan sorgum manis harus terus diupayakan baik melalui intensifikasi maupun ekstensifikasi. Akan tetapi, ekstensifikasi terkendala oleh ketersediaan tanah pertanian yang semakin menyusut akibat alih fungsi tanah ke penggunaan non pertanian (Mattjik, 2007), sehingga pengembangan sorgum akan diarahkan pada ketersediaan tanah yang marginal, dengan kondisi pH rendah. Kondisi ini akan memberikan pengaruh buruk bagi tanaman, antara lain dengan meningkatnya kandungan senyawa bersifat toksik seperti aluminium (Al) dan defisiensi fosfor.

Sasaran utama cekaman Al pada akar adalah tudung akar. Rusaknya tudung akar akan mengakibatkan berkurangnya sekresi *mucilage*. Keracunan Al dapat menghambat pertumbuhan tajuk dengan cara menghambat pasokan hara, air dan sitokinin dari akar karena buruknya penetrasi akar ke subsoil atau kondisi hidrolik akar rendah (Marschner 1995). Menurut Sopandie (2006), perbaikan tanaman pada tanah marginal sangat memerlukan pemahaman ilmu fisiologi tentang mekanisme yang mendasari peningkatan potensi hasil (*yield potential*) dan perbaikan adaptasi tanaman terhadap berbagai cekaman lingkungan abiotik.

Salah satu cara untuk mendeteksi distribusi Al pada ujung akar adalah menggunakan metode uji pewarnaan hematoksilin (*Hematoxylin staining*). Metode hematoksilin adalah metode yang sederhana dan berdasarkan pewarnaan pada ujung akar. Metode ini sangat efektif untuk menyaring tanaman jagung yang

toleran Al (Nur, 2009). Lapisan terluar ujung akar akan berwarna hematoksilin apabila pada ujung akar terdapat Al, karena Al bertindak sebagai alat pengikat hematein yang merupakan komponen oksida dari larutan hematoksilin. Akar yang berwarna hematoksilin menunjukkan distribusi penyerapan Al. Pewarnaan lebih intensif pada ujung akar, karena ujung akar merupakan daerah perpanjangan sel.

Secara umum, tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan informasi dari bidang kajian fisiologi toleransi tanaman terhadap cekaman aluminium di tanah masam dalam rangka pengembangan tanaman sorgum sebagai bahan pangan alternatif dan bahan baku bioetanol. Hasil penelitian ini akan menjadi informasi penting untuk perbaikan tanaman melalui program pemuliaan tanaman.

BAHAN DAN METODE

Percobaan ini dilaksanakan di Rumah Kaca Kebun Percobaan University Farm, IPB Cikabayan dan Laboratorium Micro Technique IPB pada bulan Oktober 2009. Bahan tanaman yang digunakan dalam percobaan ini merupakan hasil seleksi Sungkono (2007) di tanah masam Lampung, yaitu dua genotipe sorgum toleran tanah masam (Numbu dan ZH 30-29-07) serta dua genotipe peka (B-69 dan B-75). Bahan lainnya adalah larutan hematoksilin, aquades, media larutan 0.5 mM CaCl_2 , larutan AlCl_3 , NaOH 1 M, HCl 1 M, gabus busa lunak, dan styrofoam. Pot pertumbuhan berdiameter 15 cm, serta alat pendukung lainnya.

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang disusun faktorial dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah kombinasi konsentrasi larutan Al dan lama perendaman dalam hematoksilin, terdiri dari tanpa Al (H0), 74 μM Al-6 jam (H1), 74 μM Al-24 jam (H2), 74 μM Al-48 jam (H3), 148 μM Al-6 jam (H4), 148 μM Al-24 jam (H5), 148 μM Al-48 jam (H6), 222 μM Al-6 jam (H7), 222 μM Al-24 jam (H8) dan 222 μM Al-48 jam (H9). Faktor kedua adalah genotipe sorgum yaitu Numbu (T1), ZH-30-29-07 (T2), B-69 (P1) dan B-75 (P2).

Media tanam yang digunakan pada percobaan pewarnaan adalah media sederhana yaitu 0.5 mM CaCl_2 . Satuan percobaan berupa pot pertumbuhan dengan dua liter larutan hara. Perlakuan cekaman Al dilakukan dengan penambahan 74, 148 dan 222 μM AlCl_3 ke larutan hara dengan lama perendaman 6, 24 dan 48 jam. pH larutan diatur pada 4.0 ± 0.1 dengan penambahan NaOH 1 M dan HCl 1 M.

Kecambah normal yang berumur satu minggu dengan panjang akar seragam dipindahkan ke media percobaan. Batang kecambah dibalut dengan gabus busa lunak kemudian dimasukkan ke lubang styrofoam yang telah disiapkan dan diapungkan dalam larutan hara. Akar yang telah ditumbuhkan pada kultur hara dengan perlakuan Al selama 6, 24 dan 48 jam dicuci dengan aquades untuk menghilangkan Al yang masih menempel di *mucilage*. Akar kemudian dicelupkan ke dalam larutan hematoksilin 2 mg/l selama 60 menit kemudian dicuci kembali dengan aquades. Uji hematoksilin hanya dilakukan terhadap tanaman yang mendapat cekaman Al.

Pembuatan Sediaan Mikroskopis Akar. Akumulasi Al pada jaringan akar diamati dengan membuat sediaan mikroskopis akar. Akar tanaman diambil dari setiap perlakuan yang telah diwarnai dengan larutan hematoksilin pada analisis histokimia. Selanjutnya akar disayat melintang mulai dari ujung akar sampai daerah 1 mm. Akumulasi Al jaringan akar ditandai dengan lapisan berwarna ungu muda hingga ungu gelap yang diamati menggunakan foto-mikroskopis Olympus BX-41.

Pengamatan Akumulasi Aluminium secara Visual. Hasil pewarnaan dengan hematoksilin juga diamati dengan melihat kuantitas dari total akar yang berwarna secara visual. Hasil pengamatan visual ini kemudian dikuantitatifkan menggunakan nilai skoring pada skala 1-5 dengan penggolongan skoring sebagai berikut: skoring 1 bila akar berwarna 0-20%, skoring 2 bila akar berwarna 20-40%, skoring 3 bila akar berwarna 40-60%, skoring 4 bila akar berwarna 60-80%, dan skoring 5 bila akar berwarna 80-100%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, penetrasi Al hanya dibedakan secara kualitatif yang ditentukan oleh intensitas pewarnaan hematoksilin dan dikuantitatifkan dengan nilai skoring. Pengamatan kualitas pewarnaan memiliki tingkat ketelitian lebih tinggi dari penelitian Fatimah (1997) yang tidak melakukan pengamatan secara mikroskopis, tetapi pada penelitian ini tidak didapatkan pola penetrasi Al yang lebih jelas, karena tidak tersedianya alat *Hematocymeter* seperti pada penelitian Sopandie *et al.* (2000). Hasil uji keragaman menunjukkan panjang akar dan skoring warna pada perendaman dalam larutan hematoksilin 6, 24, dan 48 jam dipengaruhi secara nyata oleh konsentrasi Al, genotipe, serta interaksi keduanya (Tabel 1).

Tabel 1. Rekapitulasi nilai sidik ragam pengaruh konsentrasi Al dan genotipe, terhadap panjang akar dan nilai skoring warna sorgum fase bibit pada lama cekaman Al 6 jam, 24 jam dan 48 jam

Parameter	Konsentrasi Al	Genotipe	Interaksi
	KT	KT	KT
Panjang akar pada 6 jam cekaman Al	81.23**	24.78**	1.06**
Panjang akar pada 24 jam cekaman Al	89.74**	28.34**	0.77**
Panjang akar pada 48 jam cekaman Al	92.43**	42.26**	0.52*
Skoring warna pada 6 jam cekaman Al	25.94**	3.39**	0.49**
Skoring warna pada 24 jam cekaman Al	28.08**	1.53**	0.29**
Skoring warna pada 48 jam cekaman Al	32.23**	0.59**	0.35**

KT = Kuadrat Tengah * = berpengaruh nyata, ** = berpengaruh sangat nyata

Nilai rata-rata panjang akar pada berbagai konsentrasi perlakuan cekaman Al dengan lama cekaman yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 2, 3, dan 4 di bawah ini.

Tabel.2. Nilai rata-rata pengaruh konsentrasi Al dan genotipe, terhadap panjang akar sorgum selama 6 jam tercekam Al

Perlakuan	Rata-rata nilai panjang akar(cm)			
	Numbu	ZH-30-29-07	B-69	B-75
Tanpa Al/ Kontrol	11.93	10.60	9.83	10.39
74 μ M Al	11.20(93.88)	7.35(69.34)	6.20(63.07)	6.95(66.89)
148 μ M Al	7.88(66.05)	5.32(50.19)	5.07(51.58)	5.50(52.94)
222 μ M Al	6.66(55.85)	4.42(41.70)	3.52(35.81)	4.37(42.06)

Keterangan: Angka dalam kurung adalah panjang akar relatif (PAR) dibandingkan kondisi tanpa cekaman Al

Pengelompokan tingkat toleransi tanaman terhadap Al dapat didasarkan pada nilai PAR. Tanaman yang memiliki nilai PAR > 50 % menunjukkan tanaman tersebut toleran seperti hasil penelitian pada jagung (Baligar *et al.* 1997), kedelai (Sopandie *et al.* 2000) dan padi (Jagau, 2000). Panjang akar relatif pada konsentrasi Al 74 μ M dan 148 μ M pada lama cekaman 6 jam memperlihatkan nilai rata-rata PAR di atas 50 % pada semua genotipe sorgum yang diuji (Tabel 2).

Genotipe peka B-75 pada penelitian ini ternyata menunjukkan tingkat toleransi yang cukup baik pada konsentrasi 148 μ M Al dengan lama terdedah cekaman 24 jam (Tabel 3). Pada lama cekaman Al 48 jam dengan konsentarsi 222 μ M Al didapatkan tidak satupun genotipe yang mampu mempertahankan panjang akarnya (Tabel 4). Secara umum dapat ditunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Al dan semakin lama terdedah cekaman, tingkat toleransi tanaman berdasarkan nilai PAR semakin rendah.

Tabel 3. Nilai rata-rata pengaruh konsentrasi Al dan genotipe, terhadap panjang akar sorgum selama 24 jam tercekam Al

Perlakuan	Rata-rata nilai panjang akar(cm)			
	Numbu	ZH-30-29-07	B-69	B-75
Tanpa Al/ Kontrol	13.17	12.26	11.00	11.37
74 μ M Al	11.60(88.08)	7.73(63.05)	6.59(59.91)	7.23(63.59)
148 μ M Al	8.43(64.01)	5.61(45.76)	5.45(49.55)	5.77(50.75)
222 μ M Al	7.07(53.68)	4.79(39.07)	3.90(35.45)	4.68(41.16)

Keterangan: Angka dalam kurung adalah panjang akar relatif (PAR) dibandingkan kondisi tanpa cekaman Al

Tabel 4. Nilai rata-rata pengaruh konsentrasi Al dan genotipe, terhadap panjang akar sorgum selama 48 jam tercekam Al

Perlakuan	Rata-rata nilai panjang akar(cm)			
	Numbu	ZH-30-29-07	B-69	B-75
Tanpa Al/ Kontrol	17.20	15.83	15.23	14.40
74 μ M Al	13.49(78.43)	9.21(58.18)	8.64(56.73)	8.56(59.44)
148 μ M Al	10.62(61.74)	7.03(44.41)	6.89(45.24)	6.71(46.60)
222 μ M Al	7.58(45.64)	6.00(37.90)	5.47(35.92)	5.80(40.28)

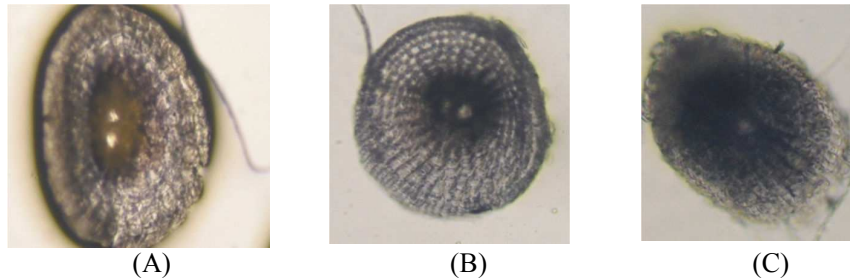
Keterangan: Angka dalam kurung adalah panjang akar relatif (PAR) dibandingkan kondisi tanpa cekaman Al

Nilai skoring pewarnaan pada lama perendaman dalam larutan bercekaman Al selama 48 jam yang dikuantitatifkan dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil penelitian ini menunjukkan genotipe peka terwarnai lebih banyak oleh hematoksilin pada konsentrasi 222 μM Al mulai 6 jam perlakuan waktu cekaman. Hasil ini diperjelas lagi pada gambar potongan mikroskopis jaringan ujung akar (Gambar 1 dan 2). Menurut Polle dan Konzak (1990) hal ini menunjukkan bahwa ujung akar banyak menyerap Al dan akan terwarnai oleh hematoksilin, karena Al bertindak sebagai pengikat hematein yang merupakan komponen oksida dari larutan hematoksilin.

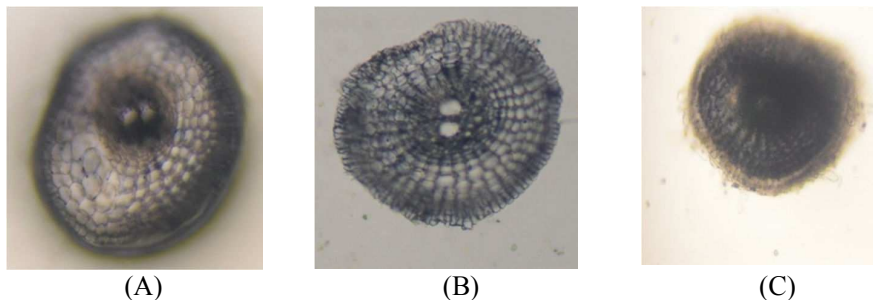
Tabel 5. Pengaruh konsentrasi Al dan genotipe, terhadap nilai kuantitatif pewarnaan hematoksilin pada sorgum fase bibit dengan lama cekaman 48 jam

Perlakuan	Rata-rata nilai skoring pewarnaan akar 48 jam tercekam Al			
	Numbu	ZH-30-29-07	B-69	B-75
74 μM Al	2.89	3.67	3.67	3.56
148 μM Al	3.67	3.89	4.78	4.44
222 μM Al	4.33	4.78	5.00	5.00

Gambar histokimia distribusi dan akumulasi Al pada jaringan akar sorgum dengan perlakuan perendaman selama 6 jam dalam larutan bercekaman Al yang difoto melalui mikroskop binokuler Olympus BX-41 dengan pembesaran 40x dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Perbandingan potongan melintang akar sorgum genotipe B-75 pada perlakuan 6 jam tercekam Al. A) 74 μM Al, B) 148 μM Al, dan C) 222 μM Al

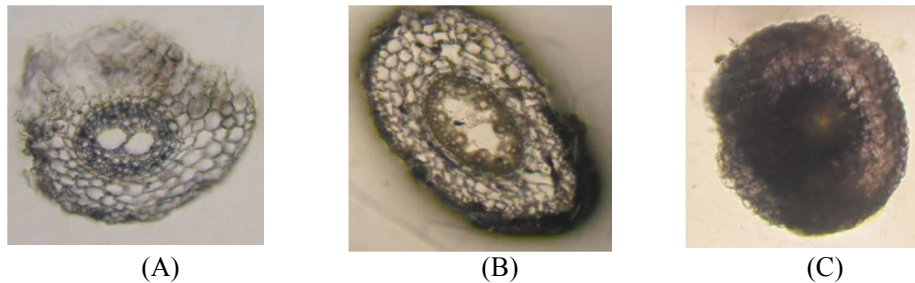


Gambar 2. Genotipe B-69 pada perlakuan 6 jam tercekam Al. A) 74 μM Al, B) 148 μM Al, dan C) 222 μM Al

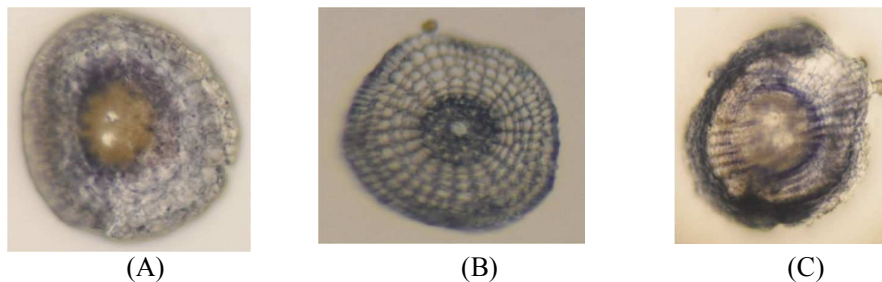
Distribusi Al pada konsentrasi 222 μM pada ujung akar sorgum peka B-69, B-75 dan sorgum toleran ZH-30-29-07 terlihat sudah merata sampai ke bagian tengah akar pada lama cekaman 6 jam, sedangkan pada Numbu masih terdistribusi pada daerah epidermis akar (Gambar 1, 2, 3 dan 4). Diduga genotipe toleran Numbu memiliki ketahanan dinding sel dan plasma membran yang lebih baik dibandingkan genotipe lain yang diuji. Menurut Sopandie *et al* (2000) dugaan tentang ketahanan dinding sel dan membran yang lebih baik pada genotipe toleran masih perlu diklarifikasi lebih lanjut dengan penelitian yang lebih spesifik dan rumit melalui teknik isolasi dinding sel dan membran.

Genotipe toleran diduga memiliki kemampuan untuk mencegah Al agar tidak menyeberangi membran plasma dan masuk ke simplas serta tempat lain yang peka terhadap Al di sitoplasma akar (Ma 2000). Dalam keadaan tercekam Al, kandungan Al apoplas sorgum toleran lebih rendah diduga akibat Kapasitas Tukar Kation (KTK) akar rendah dibandingkan genotipe peka. Menurut (Okada *et al.* 2003) Ca apoplas pada genotipe toleran lebih rendah dan tidak mudah digantikan oleh Al. Rendahnya jumlah muatan negatif dari dinding sel genotipe toleran menyebabkan interaksi Al dengan dinding sel genotipe toleran lebih

rendah dibandingkan genotipe peka (Kochian *et al.* 2005) sehingga konsentrasi Al di akar genotipe toleran juga lebih rendah. Fenomena ini juga telah dilaporkan beberapa peneliti sebelumnya (Sivaguru dan Paliwal 1993; Nursyamsi, 2000) bahwa tanaman padi toleran mempunyai mekanisme toleransi Al dengan mengurangi interaksi Al dengan dinding sel akar.



Gambar 3. Genotipe ZH-30-29-07 pada perlakuan 6 jam tercekam Al. A) 74 μ M Al, B) 148 μ M Al, dan C) 222 μ M Al



Gambar 4. Varietas Numbu pada perlakuan 6 jam tercekam Al. A) 74 μ M Al, B) 148 μ M Al, dan C) 222 μ M Al

Menurut Taylor (1991) mekanisme yang menunjukkan sedikitnya akumulasi Al dalam jaringan akar disebut mekanisme eksternal atau eksklusi Al yaitu pencegahan Al ke dalam jaringan akar. Akumulasi Al yang lebih sedikit pada Numbu dapat dihubungkan dengan keberadaan *mucilage* yang lebih banyak pada genotipe toleran. Menurut Iijima *et al.* (2004), peranan *mucilage* ini sangat penting dalam mengurangi hambatan mekanis di dalam tanah dan toleransi terhadap toksisitas Al, karena dapat mengikat Al (*imobilisasi* Al) sehingga akan sangat menghambat masuknya Al ke dalam jaringan meristem.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pada ketiga waktu perlakuan cekaman Al (6, 24 dan 48 jam) penetrasi Al pada sorgum Numbu lebih sedikit dibandingkan pada akar genotipe B-69, B-75, dan ZH-30-29-07. Ujung akar genotipe peka B-69 dan B-75 mengakumulasi Al lebih banyak dan memiliki perakaran lebih pendek daripada tanaman toleran. Batas konsentrasi Al yang masih bisa ditolerir oleh genotipe sorgum adalah 74 μ M Al dengan lama cekaman 24 jam. Panjang akar berkorelasi tinggi terhadap skoring pewarnaan hematoksilin dengan nilai negatif. Semakin lama tanaman terkena cekaman, semakin tinggi nilai skoring dan berarti semakin tinggi akumulasi Al pada ujung akar. Metode pewarnaan hematoksilin dengan pengukuran intensitas pewarnaan melalui histokimia (sediaan mikroskopis) untuk melihat penetrasi Al ke dalam akar dapat digunakan untuk melihat perbedaan toleransi sorgum terhadap Al.

DAFTAR PUSTAKA

- Baligar, V.C., G.V.E Pitta, E.E.G. Gama, R.E. Schaffert, E.C. Filho, C.A. Vasconcellos, Bahia Filho AF Dec, dan R.B. Clarck. 1997. Soil acidity effect on nutrient use efficiency in exotic maize genotypes. *Plant and Soil*. 192:9-13
- Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI. 1992. Daftar Komposisi Bahan Makanan. Bhartara, Jakarta. 57 hal

- Fatimah. 1997. Penentuan Gen Toleransi Kedelai terhadap Aluminium. Skripsi. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. 41 hal.
- Iijima, M., T. Higuchi and P.W. Barlow. 2004. Contribution of root cap *mucilage* and presence of an intact root cap in maize (*Zea mays* L) to the reduction of soil mechanical impedance. *Ann Bot J.* 93(3):473-477
- Jagau, Y. 2000. Fisiologi dan pewarisan efisiensi nitrogen dalam keadaan cekaman aluminium pada padi gogo (*Oryza sativa* L.). Disertasi. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Kochian, L.V. 1995. Cellular mechanism of aluminium toxicity and resistance in plant. *Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* 46:237-260
- Ma, J.F. 2000. Role of organic aids in detoxification in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 41(4):383-390.
- Marschner, Horst. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. London: Academic Press Harcourt Brace and Company Publishers. 889 p
- Mattjik, A.A. 2007. Konversi Lahan Melaju: UU Lahan Pertanian Pangan Abadi Tidak Bisa Ditunda. Kompas, Edisi Rabu, 4 April 2007.
- Nur, A. 2009. Identifikasi dan seleksi jagung Quality Protein Maize (QPM) resisten penyakit bulai (*Peronosclerospora maydis*) dan toleran kemasaman tanah. Tesis. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Nursyamsi, D. 2000. Aluminum tolerance of tropical crops (Tesis). Hokkaido: Graduate School of Agriculture, Hokkaido University.
- Okada, K., A.J. Fischer, F.A. Ferez-Salas, Y. Canon-Romero. 2003. Difference in retention of Ca and Al as possible mechanism of Al resistance in upland rice. *Soil Sci Plant Nutr* 49:889-895
- Polle, E.A., and C.F. Konzak. 1990. Genetics and breeding of cereals for acid soil and nutrient efficiency, p:81-131. *In* V.C. Balligar and R.R. Duncan (Eds). Crop as Enhancers of Nutrient Use. Academic Press. San Diego.
- Reddy, B.V.S. and D. Dar William. 2007. Sweet sorghum for Bioethanol. Makalah pada *workshop "Peluang dan Tantangan Sorgum Manis sebagai Bahan Baku Bioethanol"*. Dirjen Perkebunan, Departemen Pertanian, Jakarta. 8 hal
- Sivaguru, M. and K. Paliwal. 1993. Differential Al tolerance in some tropical rice cultivars. Growth performance. *J. of Plant Nutr.* 16:1705-1716
- Sopandie, D, M. Jusuf dan S. Aisah. 2000. Toleransi terhadap aluminium pada akar kedelai. Deteksi visual penetrasi aluminium dengan metode pewarnaan hematoxililin. *Comm.Ag.* 6(1):25:32
- Sopandie, D. 2006. Perspektif Fisiologi dalam Pengembangan Tanaman Pangan di Lahan Marjinal. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Fisiologi Tanaman. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, 16 September 2006.
- Taylor, G.J. 1991. Current views of the aluminium stress response. The physiological basis of tolerance. *Curr. Trop. Plant Biochem Physiol.* 10:57-93.
- Yudiarto, M.A. 2006. Pemanfaatan Sorgum sebagai Bahan Baku Bioetanol. Balai Besar Teknologi Pati (B2TP), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Lampung.