

UJI KETAHANAN TERHADAP ALUMINIUM DAN pH RENDAH PADA JAGUNG (*Zea mays* L) VARIETAS PIONEER DAN SRIKANDI SECARA *IN VITRO*

Sri Romaito Dalimunthe^{1*}, Abdullah Bin Arif² dan Irpan Badrul Jamal²

¹Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sumatera Utara, Medan 20143

²Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Bogor 16114

*Corresponding author : romaito_d@yahoo.com

ABSTRACT

One effort to increase maize productivity is by using marginal land for maize plantation. The marginal land that can be used is acid soil, but the problem are Al toxicity and low pH. To cope with these problems, cultivars having tolerance to Al toxicity and low pH are needed. Plant material used in this research were two maize varieties (Pioneer and Srikandi). Media selection is used there are 4 doses treatment aluminium (0, 250, 500 and 750 ppm AlCl₃). All variables were observed except at the variable width of the leaf in this results showed that the treatment of aluminium (AlCl₃) would not influence. Treatment combination Variety Srikandi and 250 ppm AlCl₃ produces plant height, leaf length and leaf width is the shortest compared to other treatments. Variety Pioneer and Srikandi are suspected of varieties resistant aluminum and low pH values based on relative root length.

Key words: *Zea mays* L, Aluminium toxicity, soil pH, *in vitro* selection.

ABSTRAK

Salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas jagung yaitu dengan menggunakan lahan marginal untuk ditanami jagung. Lahan marginal yang dapat digunakan adalah tanah masam, tetapi masalahnya adalah keracunan aluminium dan pH rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan kultivar-kultivar yang toleran keracunan aluminium dan pH rendah. Bahan tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah 2 varietas jagung (pioneer dan srikandi). Media seleksi yang digunakan adalah 4 perlakuan dosis aluminium (0, 250, 500 dan 750 ppm AlCl₃). Semua peubah yang diamati pada penelitian ini kecuali lebar daun menunjukkan perlakuan aluminium tidak berpengaruh. Perlakuan kombinasi varietas srikandi dan AlCl₃ 250 ppm menghasilkan tinggi tanaman, panjang daun dan lebar daun paling pendek dibandingkan perlakuan yang lainnya. Varietas Pioneer dan Srikandi diduga sebagai varietas yang tahan terhadap aluminium dan pH rendah berdasarkan panjang akar relatif.

Kata kunci: *Zea mays* L, Keracunan aluminium, pH tanah, seleksi *in vitro*

PENDAHULUAN

Tingginya kebutuhan masyarakat akan jagung (*Zea mays* L.) di Indonesia baik sebagai pangan maupun pakan, menyebabkan pemerintah harus mengimpor jagung untuk memenuhi kebutuhan nasional. Hal ini disebabkan produksi nasional masih rendah. Pada

tahun 2008 sebesar 16.317 juta ton, tahun 2009 sebesar 17.629 juta ton dan tahun 2010 sebesar 18.364 juta ton (BPS, 2010). Namun demikian, peningkatan produksi jagung yang telah dicapai masih belum dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah pengembangan tanaman jagung dengan memanfaatkan lahan

bermasalah (marginal), diantaranya adalah lahan masam. Lahan masam di Indonesia cukup luas meliputi tanah podsolik, organosol, latosol dan alluvialhidromorf. Masalah yang dijumpai pada tanah ini antara lain adalah tingkat erosi yang tinggi dan pencucian hara, sehingga gejala kekurangan unsur Ca, Mg, P, K dan N serta keracunan Al sering ditemukan. Dengan demikian lahan masam yang banyak mengandung Al dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Rao *et al.*, 1993). Salah satu faktor pembatas utama terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman, khususnya tanaman jagung pada lahan kering yang bereaksi masam di daerah tropis basah adalah keracunan Al.

Keracunan Al dapat menyebabkan kerusakan dan terhambatnya pertumbuhan akar tanaman. Kerusakan akar yang disebabkan oleh Al mengakibatkan rendahnya kemampuan tanaman menyerap hara dan air, sehingga tanaman akan kekurangan hara dan mudah kekeringan yang pada akhirnya mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Marshner, 1995; Gupta, 1997; Sasaki *et al.*, 1996). Gejala umum yang dijumpai adalah sistem perakarannya yang tidak berkembang (pendek dan tebal) karena proses pemanjangan sel yang terlambat dan rusaknya plasmalema sel-sel akar (Wagatsuma, 1988).

Kendala pertumbuhan tanaman jagung di lahan masam antara lain adalah pertumbuhan tanaman relatif mengalami gangguan bila kadar aluminium lebih dari 60% (Sanchez, 1976). Pada kejenuhan aluminium 40% tanaman jagung masih mampu memberikan hasil yang relatif tinggi (Kamprath, 1970). Pada tanah dengan kejenuhan Al tinggi, tanaman jagung cenderung tumbuh pendek, tepi daun yang menguning berubah menjadi coklat lalu kering, tanaman akan mudah rebah, karena batangnya lemah (Ismunadji, 1976).

Upaya untuk mengatasi keracunan Al antara lain dengan ameliorasi menggunakan kapur, bahan organik atau

dengan pemupukan tinggi. Pendekatan ini memerlukan biaya tinggi dan terkadang sarana produksi tersebut tidak tersedia pada saat dibutuhkan, sehingga sulit diadopsi dengan baik oleh petani. Pilihan lain adalah berupa penggunaan varietas yang tangguh. Secara umum, tanaman jagung dapat beradaptasi baik pada kejenuhan Al <40% (Fathan *et al.*, 1988).

Sampai saat ini baru varietas Antasena yang telah dilepas sebagai varietas yang beradaptasi baik pada tanah masam. Oleh karena itu dibutuhkan varietas baru yang dapat dijadikan pilihan dalam mengembangkan tanaman jagung di lahan kering masam. Dalam pembentukan varietas jagung yang beradaptasi baik pada tanah masam, diperlukan pengujian ketanggungan terhadap Al. Salah satu metode untuk mempercepat dan mempermudah pengujian ketanggungan tanaman terhadap cekaman Al adalah dengan menumbuhkan pada media kultur air yang mengandung larutan hara.

Dalam upaya perbaikan tanaman jagung untuk meningkatkan sifat ketahanan terhadap Al dan pH rendah, maka kultur *in vitro* digunakan sebagai teknologi pilihan yang dapat memberikan harapan. Seleksi *in vitro* merupakan salah satu metode yang lebih efektif dan efisien karena perubahan lebih terarah kepada sifat yang diinginkan. Teknik seleksi *in vitro* dapat mengurangi mutasi yang tidak diinginkan (Husni *et al.* 2004). Keragaman pada seleksi *in vitro* dapat muncul akibat penggandaan dalam kromosom, perubahan jumlah dan struktur kromosom, perubahan gen serta perubahan sitoplasma (Kumar dan Mathur 2004). Variasi somaklonal dalam kultur jaringan terjadi akibat penggunaan zat pengatur tumbuh dan tingkat konsentrasinya, lama fase pertumbuhan kalus, tipe kultur yang digunakan serta digunakan atau tidaknya media seleksi dalam kultur *in vitro* (Jain 2001). Pada berbagai tanaman, seleksi *in vitro* telah berhasil mendapatkan varietas baru yang tahan penyakit dan cekaman abiotik serta sifat tersebut diwariskan ke

keturunannya (Yunita 2009; Farid *et al.* 2006; Husni *et al.* 2006; Salaem *et al.* 2005; dan Mariska *et al.* 2004). Hasil penelitian Sutjahjo (2006) menunjukkan bahwa tanaman somaklon jagung yang diperoleh dari hasil regenerasi dan seleksi *in vitro* mempunyai ketenggangan yang relatif lebih baik dari pada tanaman asalnya.

Untuk mengatasi permasalahan produktivitas jagung yang relatif rendah di lahan masam, maka diperlukan varietas jagung yang toleran terhadap Al. Percobaan ini merupakan langkah awal untuk mendapatkan varietas jagung yang toleran Al.

Percobaan ini bertujuan untuk mendapatkan tanaman jagung hasil seleksi *in vitro* yang tenggang terhadap aluminium dan pH rendah serta dapat menghasilkan.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan pada bulan September – November 2009 di Laboratorium Bioteknologi Tanaman Departemen Agronomi dan Hortikultura Institut Pertanian Bogor. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua varietas jagung yaitu varietas pioneer hibrida (ph) dan varietas srikandi (s). Bagian yang digunakan adalah Benih / biji dari kedua varietas tersebut.

Media tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah media Murashige dan Skoog (MS), yang ditambahkan 2,4 D dan sukrosa (gula pasir) serta manitol dengan pH 4.0. Selain itu digunakan $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ untuk seleksi terhadap ketahanan aluminium.

Konsentrasi $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ adalah 0, 250, 500 dan 750 ppm.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor, yaitu terdapat empat perlakuan $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan dua varietas. Masing-masing perlakuan diulang tiga kali, sehingga terdapat 24 satuan percobaan.

Bahan tanaman yang berupa benih jagung perlu disterilisasi terlebih dahulu dalam larutan clorox 30% selama 30 menit kemudian dibilas dengan air steril. Benih ditanam dan diseleksi pada media yang mengandung $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada beberapa taraf (0, 250, 500 dan 750 ppm) dan pH rendah

Pengamatan yang dilakukan terhadap beberapa peubah antara lain adalah: jumlah akar, panjang akar, jumlah daun, panjang daun, lebar daun dan tinggi tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan Al tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah akar. Semakin meningkat konsentrasi AlCl_3 0 sampai dengan 750 ppm tidak berbeda nyata terhadap jumlah akar yang terbentuk (Tabel 1). Rata-rata jumlah akar masing-masing perlakuan AlCl_3 dapat dilihat pada Tabel 1. Arif (2008) menyatakan bahwa perlakuan AlCl_3 tidak berpengaruh nyata terhadap pembentukan akar pada jagung melalui jalur embriosomatik.

Perlakuan varietas juga tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah akar, begitupun interaksi antara keduanya. Rata-rata jumlah akar akibat pengaruh perlakuan varietas dan interaksi antara varietas dan perlakuan AlCl_3 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Jumlah Akar pada Masing-Masing Perlakuan dan Interaksinya.

Varietas	Perlakuan AlCl_3 (ppm)				Rata-rata
	0	250	500	750	
Srikandi	10.67	9.00	12.00	13.40	11.28
Pioneer	15.50	13.20	9.80	11.25	12.44
Rata-rata	13.09	11.10	10.90	12.33	

Seperti halnya jumlah akar setelah 4 minggu setelah tanam (MST), semua perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap peubah panjang akar, baik akibat perlakuan $AlCl_3$ dan interaksi antara keduanya (Tabel 2). Hasil penelitian Arif (2008) menunjukkan bahwa perlakuan $AlCl_3$ tidak berpengaruh nyata terhadap panjang akar pada jagung melalui jalur embriosomatik. Marschner (1995) menyatakan bahwa akumulasi Al yang tinggi pada inti sel tudung akar yang menghambat pertumbuhan akar merupakan akibat dari kerusakan sel

tudung akar yang berfungsi sebagai sensor terhadap cekaman lingkungan. Hal ini menyebabkan permukaan akar berwarna coklat kekuningan, berbintik dan mudah patah. Menurut Matsumoto (1991) Al berikatan dengan DNA pada daerah ujung akar sehingga dapat menghambat pembelahan sel. Hasil penelitian Delhaize dan Ryan (1995) menunjukkan bahwa pada tanaman yang peka, pertumbuhan akar dihambat oleh Al walaupun Al hanya terdeteksi pada lapisan rhizodermis dan korteks.

Tabel 2. Rata-rata Panjang Akar pada Masing-Masing Perlakuan dan Interaksinya Pada Saat 4 MST.

Varietas	Perlakuan $AlCl_3$ (ppm)				Rata-rata (cm)
	0	250	500	750	
Srikandi	12.20	1.95	10.02	12.18	10.10
Pioneer	12.75	17.40	9.40	12.50	13.09
Rata-rata (cm)	12.42	12.99	9.71	12.32	

Tidak terdapat perbedaan diantara dua varietas yang diuji terhadap peubah panjang akar relatif (PAR), rata-rata panjang akar relatif disajikan pada Tabel 3. Hasil penelitian Purnamaningsih dan Ika (2008) menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi aluminium ($AlCl_3$) tidak berpengaruh terhadap panjang akar relatif pada tanaman padi. Berdasarkan Tabel 3, secara umum kedua varietas tersebut dapat dinyatakan tergolong varietas yang tenggang terhadap aluminium dan pH rendah, hal ini dikarenakan nilai PAR > 0.7. Berdasarkan nilai PAR, ketenggangan tanaman terhadap Al dapat dikelompokkan sebagai berikut: tenggang (PAR > 73.7%), moderat-tenggang (PAR 69 – 73.7 %), dan peka (< 69%) (Syafudin *et al.*, 2006). Pengelompokan ini berbeda dengan yang umum digunakan dimana PAR > 50% dianggap tenggang baik pada tanaman jagung (Rais 1997 dan Baligar *et al.* 1997)

maupun pada tanaman lainnya seperti kedelai (Sopandie *et al.*, 2000) dan padi (Jagau, 2000). Pengelompokan genotipe toleran Al berdasarkan nilai PAR pada tanaman padi berbeda-beda antar beberapa peneliti. Khatiwada *et al.* (1996) menyebutkan bahwa pertumbuhan akar pada genotipe peka berkurang lebih dari 50%, yang berarti bahwa pengelompokan hanya ada dua, yaitu toleran dan peka. Nasution dan Suhartini (1991), mengelompokkan menjadi 3 kelompok berdasarkan nilai PAR yaitu toleran jika ≥ 0.7 , moderat antara 0.62 – 0.69 dan peka ≤ 0.61 . Wu *et al.* (1997) mengelompokkan menjadi tiga kelompok juga tetapi dengan angka yang berbeda dengan yang dilaporkan Nasution dan Suhartini (1991), yaitu toleran jika PAR > 0.9, moderat antara 0.7 – 0.9 dan peka jika < 0.7.

Tabel 3. Rata-rata Panjang Relatif Akar pada Masing-Masing Perlakuan dan Interaksinya Pada Saat 4 MST

Varietas	Perlakuan AlCl_3 (ppm)		
	250	500	750
Srikandi	0.16	0.82	0.83
Pioneer	1.36	0.74	0.98

Tanaman yang toleran terhadap keracunan Al memiliki kemampuan untuk menekan pengaruh buruk keracunan Al tersebut. Beberapa kriteria tanaman yang toleran adalah (1) akar sanggup tumbuh terus dan ujung akar tidak rusak, (2) dapat mengubah pH di daerah perakaran, dan (3) mempunyai mekanisme tertentu di mana Al tidak sanggup menghambat serapan Ca, Mg, dan K sehingga tanaman dapat tetap memenuhi kebutuhan unsur haranya (Purnamaningsih dan Ika, 2008) .

Perlakuan AlCl_3 tidak berpengaruh nyata terhadap peubah tinggi tanaman, Tinggi tanaman rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil penelitian Arif (2008)

menunjukkan bahwa pengaruh AlCl_3 tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman jagung setelah dilakukan seleksi *in vitro* terhadap ketenggangan AlCl_3 .

Perlakuan Varietas berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman. Varietas Pioneer Hibrida lebih baik dibandingkan Varietas Srikandi (Tabel 4). Perlakuan Interaksi antara varietas dan perlakuan AlCl_3 berpengaruh nyata terhadap peubah tinggi tanaman. Perlakuan varietas Srikandi dan perlakuan AlCl_3 250 ppm menghasilkan tinggi tanaman yang paling pendek dibandingkan perlakuan yang lainnya (Tabel 4).

Tabel 4. Rata-rata Tinggi Tanaman pada Masing-Masing Perlakuan dan Interaksinya Pada Saat 4 MST.

Varietas	Perlakuan AlCl_3 (ppm)				Rata-rata (cm)
	0	250	500	750	
Srikandi	5.33 ^{Aa}	0.60 ^{Bb}	5.96 ^{Aa}	6.62 ^{Aa}	4.63 ^b
Pioneer	7.50 ^a	7.90 ^a	6.70 ^a	6.38 ^a	7.12 ^a
Rata-rata (cm)	6.42	4.25	6.33	6.50	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf kapital pada baris yang sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

Perlakuan AlCl_3 varietas tidak berpengaruh nyata terhadap peubah jumlah daun, tetapi varietas dan interaksi antara varietas dan perlakuan AlCl_3 berpengaruh nyata terhadap jumlah daun yang dihasilkan (Tabel 5). Varietas Pioneer menghasilkan jumlah daun yang lebih

banyak dibandingkan Varietas Srikandi (Tabel 5). Perlakuan Varietas Srikandi dan perlakuan AlCl_3 250 ppm menghasilkan jumlah daun yang paling sedikit dibandingkan perlakuan yang lainnya (Tabel 5).

Tabel 5. Rata-Rata Jumlah Daun Pengaruh Masing-Masing Perlakuan dan Interaksinya

Varietas	Perlakuan AlCl_3 (ppm)				Rata-rata
	0	250	500	750	
Srikandi	3.33 ^{Aa}	0.00 ^{Bb}	3.60 ^{Aa}	3.80 ^{Aa}	2.683 ^b
Pioneer	4.50 ^a	4.20 ^a	4.00 ^a	4.00 ^a	4.175 ^a
Rata-rata	3.92	2.10	3.80	3.90	

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf kapital pada baris yang sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

Panjang daun pada Varietas Pioneer lebih panjang dibandingkan Varietas Srikandi (Tabel 6). Perlakuan Varietas Srikandi dan perlakuan AlCl_3 250 ppm menghasilkan panjang daun yang paling pendek dibandingkan perlakuan yang lainnya (Tabel 6). Pada perlakuan

AlCl_3 lebar daun yang dihasilkan paling pendek dibandingkan perlakuan AlCl_3 yang lainnya (Tabel 7). Perlakuan Varietas Srikandi dan perlakuan AlCl_3 250 ppm menghasilkan lebar daun yang paling pendek dibandingkan perlakuan yang lainnya (Tabel 7).

Tabel 6. Rata-Rata Panjang Daun Pengaruh Masing-Masing Perlakuan dan Interaksinya

Varietas	Perlakuan AlCl_3 (ppm)				Rata-rata (cm)
	0	250	500	750	
Srikandi	7.50 ^{AB}	0.00 ^{Bb}	10.92 ^A	17.56 ^A	8.99 ^b
Pioneer	21.00 ^a	21.30 ^a	15.82 ^a	16.75 ^a	18.72 ^a
Rata-rata (cm)	14.25	10.65	13.37	17.16	

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf kapital pada baris yang sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

Tabel 7. Rata-Rata Lebar Daun Pengaruh Masing-Masing Perlakuan dan Interaksinya

Varietas	Perlakuan AlCl_3 (ppm)				Rata-rata (cm)
	0	250	500	750	
Srikandi	1.03 ^A	0.00 ^{Bb}	1.46 ^A	1.20 ^A	0.92
Pioneer	1.56 ^a	1.14 ^a	0.92 ^a	1.00 ^a	1.16
Rata-rata (cm)	1.29 ^A	0.57 ^B	1.19 ^A	1.10 ^A	

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom yang sama dan angka-angka yang diikuti huruf kapital pada baris yang sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan taraf 5%.

SIMPULAN

Secara umum perlakuan aluminium (AlCl_3) tidak berpengaruh terhadap semua peubah yang diamati kecuali pada peubah lebar daun. Perlakuan Varietas Srikandi dan perlakuan AlCl_3 250 ppm menghasilkan tinggi tanaman, panjang daun dan lebar daun yang paling pendek dibandingkan perlakuan yang lainnya. Varietas Pioneer dan Srikandi merupakan varietas yang diduga tahan aluminium dan pH rendah berdasarkan nilai panjang akar relatif (PAR).

DAFTAR PUSTAKA

Arif, A.B. 2008. Seleksi In Vitro Terhadap Ketenggangan Aluminium pada Empat Varietas Jagung (*Zea mays* L). Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Baligar, V.C., H.L. Dos Santos, G.V.E. Pitta, E.C. Filho, C.A. Vasconcellos, A.F. deC Bahia Filho. 1989. Aluminum effects on growth, grain yield and nutrient use efficiency ratios in sorghum genotypes. *Plant and Soil*. 116: 257-264.

Baligar V.C., G.V.E. Pitta, E.E.G. Gama, R.E. Schaffert, E.C. Filho, C.A. Vasconcellos, A.F. deC Bahia Filho, R.B. Clark. 1997. Soil acidity effect on nutrient use efficiency in exotic maize genotypes. *Plant and Soil*. 192:9-13.

Delhaize, E., P.R. Ryan. 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiol*. 107: 315-321.

Farid, M.B., Y. Musa, Nassaruddin dan Darmawan. 2006. Variasi somaklonal tebu tahan salinitas

- melalui mutagenesis *in vitro*. Jurnal Agrivigor 5(3): 247-258.
- Fathan, R., M. Raharjo, A.K. Makarim. 1988. Hara tanaman jagung. Di dalam Subandi *et al.* (Eds). Jagung. Puslitbangtan. Bogor. Hal. 67-80.
- Gupta, U.S. 1997. Crop Improvement Stress Tolerance. Science. Publisher. New Hampshire. p. 34-559.
- Husni, A., S. Hutami, M. Kosmiatin dan I. Mariska. 2004. Seleksi *in vitro* tanaman kedelai untuk meningkatkan sifat toleran kekeringan. Jurnal Penelitian Pertanian. 23(2): 93-100.
- Husni, A., M. Kosmiatin dan I. Mariska. 2006. Peningkatan toleransi kedelai sindoro terhadap kekeringan melalui seleksi *in vitro*. Buletin Agronomi. 34(1): 25-31.
- Ismunadji, M., S. Partohardjono dan Satsijati. 1976. Peranan K dalam peningkatan produksi tanaman pangan. Dalam Ismunadji *et al.* (Eds). Kalium dan Tanaman Pangan. LP3 Bogor. 62 hal.
- Jagau, Y. 2000. Fisiologi dan pewarisan efisiensi nitrogen dalam keadaan cekaman aluminium pada padi gogo (*Oryza sativa* L.). (Disertasi). Institut Pertanian Bogor. Fakultas Pertanian.
- Jain, S.M. 2001. Tissue cultured-derived variation in crop improvement. Euphytica 118: 153-156.
- Kamprath, E. J. 1970. Exchangable aluminium as acriterion for liming leached mineral soil. Soil Sci. Amer Proc. 34: 252-254.
- Khatiwada, S.P., D. Senadhira, A.L. Carpena, R.S. Zeigler, P.G. Fernandez. 1996. Variability and genetics of tolerance for aluminum toxicity in rice. Theor. Appl. Genet. 93: 738-744.
- Kumar, P.S and V.L. Mathur. 2004. Chromosomal instability in callus culture of *pisum sativum*. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 49: 17-27.
- Mariska, I., E. Syamsudin, D. Sopandie, S. Hutami, A. Husni, M. Kosmiatin, dan A.V. Novianti. 2004. Peningkatan ketahanan tanaman kedelai terhadap aluminium melalui kultur *in vitro*. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian 23(2): 46–52.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London. p.596-680.
- Purnamaningsih, R. Dan I. Mariska. 2008. Pengujian Nomor-nomor Harapan Padi Tahan Al dan pH Rendah hasil Seleksi In Vitro dengan Kultur Hara. Jurnal Agrobiogen 4(1): 18-23.
- Rais, S.A. 1998. Evaluasi Plasma Nutfah padi jagung, kedelai dan kacang tanah. Laporan hasil penelitian Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan. Bogor. 31 hlm.
- Rao, I.M., R. A. Zeigler, R. Vera and S. Sarkarung. 1993. Selection and breeding for acid soil tolerance. *Crops Biology Science*. 43 : 454-465.
- Salaem, M.Y., Z. Mukhtar, A.A. Cheema and B.M. Atta. 2005. Induced mutation and in vitro techniques as a method to induced salt tolerance in Basmati rice (*Oryza sativa* L.) J. Environ. Sci. 2(2): 141-145.
- Sanchez, P.A. 1976. Properties and management of soil in the tropics John Wiley & Sons, New York.
- Sasaki, M., Y. Yamamoto, H. Matsumoto. 1996. Lignin deposition induced by Al in Wheat (*Trticum aestivum*) roots. *Physiol Plant*. 96:193-198.
- Sopandie, D., M. Yusuf, T.D. Setyono. 2000. Adaptasi kedelai (*Glycine max* MERR.) terhadap cekaman pH rendah dan aluminium: Analisis pertumbuhan akar. Comm. Ag. 5: 61 – 69.
- Sutjahjo, S.H., A. Ernawati, and O. Hancock. 2004. Seleksi *in vitro* untuk toleransi terhadap cekaman aluminium pada varian somaklon

- dua kultivar tomat (*lycopersicon esculentum* Mill) Zuriat 15(1):77-85.
- Sutjahjo, S.H. 2006. Seleksi *in vitro* untuk ketenggangan terhadap aluminium pada empat genotipe jagung. Dalam *Jurnal Akta Agrosia* 9(2):61-66.
- Syafrudin, D. Sopandie dan Trikoesoemaningtyas. 2006. Ketenggangan Genotipe Jagung (*Zea mays* L) Terhadap cekaman Aluminum. Buletin agronomi 34 (1):1-10.
- Wagatsuma, T. 1988. Plant nutritional studies on the mechanism of aluminium tolerance. Bull Yamagata University. *Agronomy Science*. 10(3): 637-745.
- Wu, P., B. Zhao, J. Yan, A. Luo, Y. Wu, D. Senadhira.1997. Genetic control of tolerance to aluminum toxicity in rice. *Euphytica*. 97: 289-293.
- Wu, P., C.Y. Liao, B. Hu, K.K. Yi, W.Z. Jin, J.J. Ni, C. He. 2000. QTLs and epistasis for aluminum tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) at different seedling stages. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1295-1303.
- Yunita, R. 2009. Pemanfaatan variasi somaklonal dan seleksi *in vitro* dalam perakitan tanaman toleran cekaman abiotik. *Jurnal Litbang Pertanian* 28(4): 142-148.