



TANGGAP VARIETAS KELAPA SAWIT TERHADAP CEKAMAN ALUMINIUM

Nanang Supena, Andy Soegianto¹, Lita Soetopo¹, Yurna Yenni, dan A. Razak Purba

Abstrak Aluminium (Al) bersifat racun terhadap tanaman pada saat suasana tanah sangat masam. Reaksi tanah pada lahan masam cenderung mengubah bentuk Al menjadi kation trivalen (Al^{3+}) sehingga akan mengganggu aktivitas ujung-ujung akar menjalankan fungsi pembelahan dan pemanjangan sel yang berakibat pada tidak optimalnya hasil tanaman. Penelitian tentang cekaman Al terhadap tanaman budidaya perkebunan seperti kelapa sawit saat ini masih sangat sedikit, oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mempelajari tanggap pertumbuhan beberapa varietas kelapa sawit pada media tanam yang diberi perlakuan cekaman Al. Percobaan dilakukan di rumah kaca menggunakan rancangan acak lengkap dengan dua faktor yaitu varietas kelapa sawit dan konsentrasi Al. Varietas yang digunakan terdiri dari lima *oil palm progenies* (OPP) yaitu PPKS239, PPKS540, PPKS718, Simalungun, dan Dumpy. Varietas ditanam ke media pasir steril dalam bentuk kecambah dan diberi perlakuan Al dengan lima konsentrasi berbeda-beda 0, 75, 150, 225, dan 300 ppm. Al diberikan pada saat tanaman berumur 4 hingga 12 minggu setelah tanam. Pengamatan dilakukan pada beberapa peubah pertumbuhan morfologis dan fisiologis pada bagian tajuk dan perakarannya. Hasil penelitian menunjukkan adanya interaksi antara varietas dan Al pada peubah panjang akar primer dan kandungan gula reduksi. Kandungan gula reduksi pada tajuk berkurang sebanyak 24% saat pemberian Al 300 ppm. Varietas Simalungun memiliki tingkat ketahanan Al yang lebih baik ditandai dari

panjang akar primer yang lebih stabil saat konsentrasi Al 300 ppm sementara varietas rentan PPKS718 dan PPKS540 menurun masing-masing sebanyak 24,3 dan 12,4%. Selain itu ketahanan varietas Simalungun juga ditandai dari kandungan gula reduksi tajuk yang paling rendah dibanding varietas lainnya. Rendahnya kandungan gula reduksi saat diberi Al ini merupakan pertanda adanya mekanisme ketahanan tanaman terhadap toksisitas Al dengan sejumlah gula diangkut dari tajuk ke perakaran untuk membatasi Al akibatnya kandungan gula pada tajuk menurun.

Kata kunci : cekaman Al, cekaman Al, indeks ketahanan cekaman

Abstract Aluminum (Al) is toxic to plants when soil is very acid. Soil reaction on acid condition tends to turn Al into trivalent cation (Al^{3+}) and then disturbing the root end cells in doing the division and elongating function. This research was aimed to study the growth responses of oil palm to Al stress. The research was conducted on a greenhouse used a completely randomized design with two factors. The first factor was Al stress which consisted of five levels i.e. 0, 75, 150, 225, and 300 ppm of Al. The second was varieties treatment which consisted of five levels. It were DxP PPKS239, DxP PPKS540, DxP PPKS718, DxP Simalungun, and DxP Dumpy. Each varieties had the same opportunity to receive a five level treatment of Al stress that there were 25 units of the combination treatments. Each unit consisted of 15 seeds and repeated 3 times. Observations were conducted when the plants were 2-3 months in the pre-nursery stage at some characters. The characters were plant height, stem diameter, number of leaves, fresh weight of the shoot, shoot dry weight, chlorophyll content, primary root length, total root length, root surface area, root volume, root fresh weight, root dry weight, nutrient content (N, P, and K), and shoot and root sugar content. The levels of resistance of each varieties to Al were calculated by

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Nanang Supena (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia
Email: nsp_koenangz@yahoo.co.id

¹ Staf pengajar Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman
Universitas Brawijaya, Malang

stress tolerance index (STI) and its standard deviations. The results showed that, the oil palm varieties had different responses at primary root length (at $\alpha = 0.05$ level), K nutrient ($\alpha = 0.01$), shoot sugar reducing ($\alpha = 0.01$) and root sugar reducing content ($\alpha = 0.01$). Each oil palm variety had different on tolerance level to Al stress. Simalungun was the best tolerance variety to Al stress. After Simalungun, we found Dumpy, PPKS540, PPKS239, and PPKS718 as the next tolerance to Al stress.

Keywords : oil palm, Al stress, stress tolerance index

PENDAHULUAN

Saat ini kelapa sawit masih merupakan komoditi perkebunan yang cukup menguntungkan. Produk kelapa sawit berupa *crude palm oil* (CPO) dan *kernel palm oil* (PKO) digunakan secara luas untuk kebutuhan sehari-hari seperti minyak goreng, margarin, sabun, kosmetik, obat-obatan dan bahkan berpeluang digunakan sebagai bahan bakar alternatif menggantikan bahan bakar yang bersumber dari fosil. Menurut Darmosarkoro (2006), keberhasilan usaha perkebunan kelapa sawit di Indonesia tidak terlepas dari peranan beberapa faktor pendukung, antara lain kondisi agroklimat yang sesuai, perkembangan pasar, penelitian dan pengembangan, serta kebijakan pemerintah.

Kegiatan perbaikan material genetik kelapa sawit pada saat ini selain diarahkan pada produktivitas yang tinggi juga harus memiliki sifat sekunder yang adaptif secara spesifik pada lahan-lahan marjinal misalnya lahan rawa pasang surut, lebak, salin, atau lahan dengan musim kering yang nyata (Purba *et al.*, 2009). Satu dari sekian permasalahan yang terjadi pada lahan-lahan marjinal ialah tanah yang bersifat masam. Di Indonesia luas lahan masam mencapai 6,7 juta ha yang tersebar luas di Pulau Kalimantan, Papua, Sumatera, dan Sulawesi (Nugroho *et al.*, 1991) dengan sebagian besarnya merupakan lahan terlantar, baik yang berada di kawasan budidaya pertanian maupun kawasan budidaya kehutanan (Mulyani *et al.*, 2004). Beberapa karakteristik lahan masam ditandai oleh pH tanah yang rendah, kapasitas tukar kation (KTK) rendah, kejenuhan basa rendah, dan C-organik yang rendah, serta kandungan logam berat seperti aluminium dan besi yang tinggi (Soepardi, 2001). Al meracuni tanaman dalam bentuk kation trivalen (Al^{3+}) yang menyebabkan terhambatnya

pembelahan dan pemanjangan sel pada ujung-ujung akar dan akan mengurangi kemampuan pengambilan air dan nutrisi (Samac dan Tesfaye, 2003) yang berakibat berkurangnya produksi tanaman (Delhaize dan Ryan, 1995).

Beberapa penelitian yang menunjukkan adanya pengaruh Al yang mengganggu fisiologis tanaman antara lain berkurangnya produk fotosintesis pada tanaman jeruk karena dengan semakin meningkatnya kandungan Al menyebabkan menurunnya efisiensi penggunaan air. Penurunan ini disebabkan karena berkurangnya fotosintesis bersih dan meningkatnya tingkat transpirasi. Fotosintesis yang berkurang dimungkinkan disebabkan terjadinya kerusakan struktural pada bagian tilakoid (Pereira *et al.*, 2000). Mekanisme lain yang berpengaruh akibat adanya cekaman Al ialah terhambatnya sintesis selulosa pada perakaran tanaman *barley* dan *wheat* (Teraoka *et al.*, 2002), terganggunya metabolisme lipid pada membran sel tanaman *Coffea arabica* (Martinez *et al.*, 2003) dan adanya signal yang ditransduksi dan mengarah pada kematian sel yang terpapar Al (Yakimova *et al.*, 2007). Berdasarkan pengamatan Teraoka *et al.* (2002) penghambatan penggabungan ^{14}C -glukosa bersama dengan fraksi selulosa terjadi sangat cepat dengan perlakuan pemberian Al selama 15 menit. Penurunan sintesis glukosa semakin kuat terjadi pada kultivar gandum yang sensitif Al dibanding gandum yang toleran Al. Hal ini menjadi dugaan Teraoka *et al.* (2002) bahwa berkurangnya atau terhambatnya pemanjangan akar disebabkan menurunnya sintesis glukosa.

Mekanisme tanaman dalam menghadapi cekaman Al ini berbeda-beda diantaranya dengan menyiapkan sistem ketahanannya. Menurut Scott dan Fisher (1989), ada dua mekanisme ketahanan tanaman terhadap cekaman Al yaitu mekanisme eksternal dan mekanisme internal. Mekanisme eksternal ialah sistem ketahanan yang dibuat dengan cara mencegah Al untuk tidak masuk ke dalam sistem simplas, bentuknya dapat berupa immobilisasi Al pada dinding sel, permeabilitas selektif dari membran plasma, penghalang pH di rhizosfer, eksudasi ligan pengkelat Al, efluks Al-fosfat. Mekanisme eksternal ini dijelaskan oleh Zheng *et al.* (2005) pada tanaman *buckwheat*, karena tanaman toleran Al memiliki kemampuan immobilisasi Al melalui pelepasan fosfat anorganik akar dan Yang *et al.* (2008) pada tanaman padi karena Al di dinding sel pada spesies *indica* (kultivar sensitif) lebih banyak dibanding spesies *japonica* (kultivar toleran). Mekanisme internal terjadi

dalam bentuk pengkelatan Al oleh asam organik, protein atau ligan organik lainnya di sitoplasma, kompartementasi Al dalam vakuola, induksi sintesis protein pengikat Al, pengembangan enzim ketahanan, sintesis protein terikat Al yang spesifik pada membran plasma yang akan menurunkan serapan Al ataupun peningkatan pengeluaran Al. Pada tanaman kelapa sawit, penelitian tentang mekanisme toleransi terhadap cekaman Al belum banyak dilakukan.

Satu di antara penelitian yang telah ada pada pertanaman kelapa sawit menunjukkan tanah yang jenuh Al berpengaruh pada berkurangnya unsur P-tersedia sehingga tanaman menunjukkan gejala defisiensi fosfor (Koedadiri, 2003). Selanjutnya Cristancho *et al.* (2011) melaporkan tanggap tanaman kelapa sawit pada beberapa tingkat kandungan Al pada media hara yang hasilnya menunjukkan adanya interaksi sangat jelas antara konsentrasi Al dengan progeni pada peubah jumlah daun, volume akar, panjang akar lateral, kandungan Mg dan K dalam jaringan akar dan pucuk, serta kandungan Ca dan N dalam jaringan pucuk.

Penelitian ini mempelajari tanggap fenotipik dan fisiologis beberapa varietas hasil persilangan DxP kelapa sawit pada media pasir yang diberi perlakuan Al dengan peubah yang diamati meliputi kandungan klorofil, unsur hara pada tajuk, dan kandungan gula reduksi pada tajuk dan akar.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat

Penelitian dilaksanakan pada November 2012 hingga April 2013 di Rumah Kaca Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Bahan dan Alat

Bahan yang dibutuhkan : (1) kecambah kelapa sawit yang terdiri dari 5 genotipe hasil persilangan dura dan pisifera (DxP) yang berasal dari program pemuliaan kelapa sawit *reciprocal recurrent selection* (RRS) Pusat Penelitian Kelapa Sawit; (2) media pasir yang telah disterilkan; (3) larutan hara menurut Hoagland dan Arnon (1950); (4) aluminium klorida ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); (5) NaOH dan H_2SO_4 untuk menstabilkan pH pada level yang diinginkan.

Alat-alat yang diperlukan seperti jangka sorong, timbangan digital, pengaduk larutan (*electrical magnetic stirrer*), pH meter, kamera digital, SPAD, *scanner areameter*, spektrofotometer, gelas ukur, dan wadah untuk larutan hara.

Metode Penelitian

Percobaan menggunakan rancangan acak lengkap dengan dua faktor. Faktor pertama ialah perlakuan pemberian $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber cekaman aluminium sedangkan faktor kedua ialah perlakuan genotipe kelapa sawit. Perlakuan cekaman aluminium terdiri dari lima (5) taraf berdasarkan konsentrasinya yaitu 0, 75, 150, 225, dan 300 ppm Aluminium (dalam bentuk $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ke dalam larutan hara menurut Hoagland dan Arnon (1950) yang telah disiapkan terlebih dahulu. Taraf konsentrasi aluminium ini mengacu pada Cristancho *et al.* (2011) yang sedikit dimodifikasi. Perlakuan genotipe terdiri dari lima (5) persilangan kelapa sawit (DxP) PPKS yaitu DxP PPKS239, DxP PPKS540, DxP PPKS718, DxP Simalungun dan DyxP Dumpy. Masing-masing varietas menerima lima taraf perlakuan cekaman aluminium sehingga terdapat 25 unit perlakuan dari kombinasi dua perlakuan tersebut. Setiap unit terdiri dari 15 bibit dan diulang sebanyak 3 kali.

Pengamatan dilakukan pada peubah-peubah bagian tajuk tanaman dan perakaran tanaman saat tanaman berumur 3 bulan yang meliputi panjang akar primer (cm), panjang total akar (cm), jumlah akar, luas permukaan akar, volume akar, kandungan hara N, P, dan K serta kandungan gula reduksi tajuk. Panjang akar primer diukur mulai dari batas pangkal akar hingga ujung akar paling bawah, sedangkan panjang total akar, diperoleh dengan mengukur panjang seluruh akar yang ada mulai dari akar primer, sekunder dan ujung-ujung akar. Panjang akar primer, panjang total akar beserta luas dan volume akar diukur dengan menggunakan *GiaRoot Software* (Galkovskyi *et al.*, 2012). Kandungan gula reduksi diukur mengikuti metode Nelson-Somogyi berdasarkan Sudarmadji *et al.* (1997).

Persiapan media tanam

Media tanam yang digunakan adalah pasir yang homogen dan steril. Pertama-tama pasir diayak dengan menggunakan ayakan ukuran 3 mm untuk mendapatkan ukuran pasir yang seragam. Selanjutnya

pasir dibersihkan dengan air mengalir dan direndam dengan air yang mengandung desinfektan (NaClO 5,25%) selama 15 menit kemudian dibilas kembali dengan air mengalir. Setelah itu pasir dikukus dengan air mendidih. Selanjutnya dikeringanginkan selama 24 jam kemudian dimasukkan ke dalam polybag ukuran 15 x 15 cm.

Pembuatan larutan hara

Untuk membuat larutan hara berdasarkan formula Hoagland dan Arnon (1950) pertama-tama dibuat larutan stok. Bahan kimia seperti $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan KH_2PO_4 masing-masing ditimbang sebanyak 236,1, 101,1, 246,5 dan 136,1 g. Kemudian masing-masing bahan yang telah ditimbang tersebut dilarutkan ke dalam gelas ukur yang berisi *aquadest* hingga menjadi 1 l larutan sehingga masing-masing bahan yang dilarutkan memiliki konsentrasi 1 M. Untuk memudahkan pelarutan bahan kimia digunakan pengaduk menggunakan *electrical magnetic stirrer*. Selanjutnya setiap larutan dimasukkan ke dalam botol dan siap sebagai larutan stok. Untuk kebutuhan hara mikro, garam H_3BO_3 , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ditimbang masing-masing sebanyak 2,86, 1,81, 0,08, dan 0,22 g. Garam-garam tersebut dijadikan satu dilarutkan ke dalam *aquadest* hingga menjadi 1 l larutan.

Satu liter larutan Hoagland terdiri dari 5 ml larutan stok $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 5 ml KNO_3 , 2 ml $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1 ml KH_2PO_4 , 1 ml larutan stok hara mikro dan selebihnya *aquadest*. Untuk tambahan disiapkan juga 1 ml larutan stok FeEDTA yang ditambahkan ke dalam larutan hara.

Penanaman kecambah kelapa sawit

Kecambah kelapa sawit yang terdiri dari lima varietas, DxP PPKS239, DxPPPKS540, PPKS718, DxP Simalungun, dan DxP Dumpy masing-masing sebanyak 100 butir ditanam ke *polybag* berukuran 15 cm x 15 cm yang telah berisi media yang telah disiapkan. Sebelumnya pada setiap media dalam *polybag* telah dibuatkan lubang tanam sedalam 3 cm dengan diameter 1,5 cm. Penanaman dilakukan dengan memasukkan cangkang kecambah ke dalam lubang tanam dengan ujung radikula menghadap ke bawah dan plumula ke bagian atas kemudian ditutup kembali dengan pasir. Setelah penanaman, media disiram satu kali dengan air bebas ion terlebih dahulu sebanyak 100 ml/polybag.

Selanjutnya penyiraman dilakukan dengan menggunakan larutan hara setiap hari.

Perlakuan cekaman aluminium dan varietas

Perlakuan cekaman aluminium dengan lima taraf konsentrasi yang berbeda-beda mulai diberikan secara bersama-sama pada kelima varietas pada saat 4 minggu setelah penanaman. Al diberikan bersamaan dengan dilakukannya penyiraman. Hal ini disebabkan $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang berperan sebagai sumber cekaman aluminium telah dicampurkan secara merata ke dalam larutan hara Hoagland dengan konsentrasi sesuai dengan taraf yang telah ditentukan. Sebelum pencampuran aluminium ke dalam larutan hara, terlebih dahulu dibuatkan larutan stok $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 1 l. Konsentrasi larutan stok ini dibuat hingga mencapai 0,1 M yang berarti sebanyak 21.443 g $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan ke dalam *aquadest* hingga volume larutan menjadi 1 l. Taraf yang pertama, konsentrasi aluminium 0 ppm yang berarti pada larutan hara tidak diberikan aluminium dan berfungsi sebagai kontrol. Taraf kedua, 75 ppm berarti sebanyak 7,5 ml larutan stok $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan ke dalam larutan hara hingga volumenya menjadi 10 l larutan. Demikian seterusnya untuk konsentrasi 150, 225 dan 300 ppm yang berarti masing-masing sebanyak 15, 22,5 dan 30 ml larutan stok dilarutkan hingga volume menjadi liter 10 l larutan. Pengaturan pH larutan diatur dengan menggunakan larutan H_2SO_4 0,1 N. Pada taraf 0 ppm pH larutan $\pm 5,5$ sedangkan pada taraf 75, 150, 225 dan 300 ppm pH larutan diatur menjadi $\pm 3,5$. Perlakuan cekaman aluminium bersamaan dengan penyiraman, dilakukan setiap dua hari sekali pada saat pagi atau sore hari. Volume larutan saat penyiraman sekitar 100 ml per polybag. Pemberian Al ini dilakukan hingga tanaman selesai diamati yaitu berkisar saat tanaman berumur tiga bulan.

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan sidik ragam. Apabila terdapat perbedaan yang nyata pada interaksi varietas dan Al maka analisis dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf nyata 5% ($\alpha=0,05$). Selanjutnya untuk menentukan varietas yang memiliki tingkat ketahanan Al yang paling baik, dilakukan penghitungan nilai kriteria seleksi pada peubah-peubah yang secara nyata dipengaruhi oleh interaksi varietas dan Al. Nilai kriteria

seleksi yang dipakai ialah *selection tolerance index* (STI) sebagaimana dijelaskan Fernandez (1992) dengan pendekatan :

$$STI = \frac{Y_p * Y_s}{\hat{Y}_p^2}$$

dengan Y_p sebagai nilai rata-rata varietas tanpa cekaman Al, Y_s sebagai nilai rata-rata varietas pada saat diberi cekaman Al, dan \hat{Y}_p sebagai rata-rata seluruh varietas tanpa diberi cekaman Al. Penentuan tingkat ketahanan varietas didasarkan pada perbandingan nilai STI varietas terhadap nilai rerata STI seluruh varietas dan simpangan bakunya. Tingkat ketahanan ini diadopsi dari Purwani dan Marjani (2009) yang terdiri dari lima kriteria yaitu tahan (T), agak tahan (AT), moderat (M), agak rentan (AR) dan rentan (R). Varietas dikategorikan tahan jika STI varietas tersebut lebih besar dari rerata STI seluruh varietas yang telah ditambah dengan nilai simpangan bakunya. Varietas dikategorikan agak tahan jika STI varietas lebih besar dari rerata STI seluruh varietas setelah ditambah setengah dari nilai simpangan bakunya. Varietas dikategorikan moderat jika STI varietas lebih besar dari rerata STI seluruh varietas setelah dikurangi dengan setengah dari simpangan bakunya. Varietas dikategorikan agak rentan jika STI varietas lebih kecil dari rerata STI seluruh varietas yang telah dikurangi dari $\frac{1}{2}$ simpangan bakunya.

Selanjutnya varietas dikategorikan rentan jika STI varietas lebih kecil dari rerata STI seluruh varietas yang telah dikurangi simpangan bakunya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan secara umum menunjukkan adanya interaksi perlakuan Al dan varietas pada peubah panjang akar primer (pada $\alpha=0,05$), kandungan hara kalium ($\alpha=0,01$), gula reduksi tajuk ($\alpha=0,01$), dan gula reduksi akar ($\alpha=0,01$). Peubah-peubah yang hanya dipengaruhi Al ialah diameter batang, panjang total akar, luas permukaan akar, volume akar, dan unsur hara N. Sedangkan peubah yang hanya dipengaruhi varietas ialah berat kering tajuk, berat segar dan kering akar, serta kandungan klorofil (Tabel 1).

Pengaruh Al Terhadap Pertumbuhan Perakaran

Berdasarkan Tabel 1, interaksi Al dan varietas secara nyata mempengaruhi panjang akar primer (PAP) pada $\alpha=0,05$. Hasil uji DMRT menunjukkan PAP kelima varietas pada Al 0 ppm tidak berbeda nyata dengan PAP pada Al 75 dan 150 ppm (Tabel 2). PAP varietas PPKS239 dan Simalungun bahkan tidak berbeda nyata hingga Al diberikan 225 ppm (Gambar 1).

Pada saat Al 225 ppm PAP varietas PPKS718 dan PPKS540 meningkat masing-masing sebesar 16,1 dan 13,7 % dan berbeda secara nyata dari kondisi saat

Tabel 1. Hasil sidik ragam beberapa peubah yang diamati.

No	Peubah Pengamatan	Al x Var
		Signifikansi
1	Panjang akar primer	*
2	Panjang total akar	tn
3	Luas permukaan akar	tn
4	Volume akar	tn
5	Kandungan Nitrogen (N) pada tajuk	tn
6	Kandungan Fosfor (P) pada tajuk	tn
7	Kandungan Kalium (K) pada tajuk	**
8	Kandungan gula reduksi tajuk	**
9	Kandungan gula reduksi akar	**

Ket. * = berbeda nyata pada $\alpha=0,05$; ** = berbeda nyata pada $\alpha=0,01$; tn = tidak berbeda nyata

Tabel 2. Peubah pengamatan panjang akar primer, kandungan hara K, dan kandungan gula reduksi pada tajuk dan akar pada lima taraf Al.

Peubah Pengamatan	Taraf Al (ppm)	PPKS239	PPKS718	PPKS540	Simalungun	Dumpy	Rata-rata
Panjang akar primer (cm)	0	13.74 ab	14.32 abc	14.66 abc	15.50 bcd	15.51 bcd	14.75
	7	14.83 abc	14.33 abc	14.68 abc	15.51 bcd	14.36 abc	14.75
	150	16.01 bcd	14.47 abc	13.82 abc	14.23 abc	16.40 d	14.99
	225	15.38 bcd	16.62 d	16.67 d	15.63 bcd	14.52 abc	15.77
	300	16.27 cd	12.58 a	14.61 abc	16.57 d	14.84 abc	14.98
Kandungan hara K	0	0.38 i	0.50 k	0.35 h	0.15 a	0.21 bc	0.31 b
	75	0.32 g	0.22 cd	0.39 ij	0.52 l	0.32 g	0.35 c
	150	0.41 j	0.72 n	0.33 gh	0.61 m	0.73 n	0.56 d
	225	0.19 b	0.25 ef	0.23 de	0.21 bc	0.39 ij	0.25 ab
	300	0.14 a	0.26 f	0.14 a	0.19 b	0.23 de	0.19 a
Gula reduksi tajuk	0	3.055 j	2.82 gh	2.910 hi	2.230 b	3.030 ij	2.809 c
	75	2.510 c	2.95 ij	2.910 hi	3.260 k	2.800 fgh	2.887 c
	150	2.680 def	2.76 defg	2.640 d	2.760 defg	3.305 k	2.828 c
	225	2.670 de	2.32 b	2.230 b	2.470 c	2.780 efg	2.493 b
	300	2.265 b	2.35 b	2.055 a	1.975 a	2.040 a	2.137 a
Gula reduksi akar	0	0.357 j	0.388 m	0.309 g	0.337 i	0.329 h	0.344 d
	75	0.389 m	0.365 k	0.288 f	0.368 k	0.378 l	0.357 d
	150	0.173 b	0.149 a	0.148 a	0.192 c	0.194 c	0.171 a
	225	0.148 a	0.212 d	0.216 d	0.196 c	0.314 g	0.217 b
	300	0.247e	0.247 e	0.286 f	0.217 d	0.249 e	0.249 c

Ket. : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata pada $\alpha=0,05$.

Al 0 ppm. Penurunan PAP ini diduga disebabkan terjadinya penurunan aktivitas perkembangan sel pada perakaran. Menurut Delhaize dan Ryan (1995), gejala terhambatnya pertumbuhan akar merupakan yang paling mudah dikenal dari toksisitas Al dan merupakan ukuran yang paling diterima untuk cekaman Al pada tanaman. Hasil ini sejalan dengan Cristancho *et al.* (2011) pada tanaman muda kelapa sawit. Menurut Fitter dan Hay (1991), penurunan pertumbuhan akar ini disebabkan oleh terjadinya gangguan proses pembelahan sel pada ujung-ujung akar karena dinding sel pada ujung akar memiliki

ketahanan yang sangat kecil terhadap pergerakan Al^{3+} , dimana ion-ion Al dengan cepat menembus ke dalam sel-sel meristem dan menghambat sintesis DNA. Selain itu melambatnya pertumbuhan akar juga akibat dari terbentuknya ikatan antara Al dengan membran plasma akar (Matsumoto *et al.*, 1992) dan pada dinding sel akar (Ma *et al.*, 1999) dimana hal tersebut akan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan sel dan fungsi akar. Selanjutnya, Basset *et al.* (2010) menambahkan, terganggunya proses pembelahan dan pemanjangan sel disebabkan Al yang mampu menghambat penyerapan air dan sukrosa.

Pengaruh Al Terhadap Kandungan Unsur Hara

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa walaupun Al tidak mempengaruhi kandungan hara P, namun Al dapat mempengaruhi N dan K dengan sangat nyata pada $\alpha=0,01$. Pada Tabel 2 menunjukkan kandungan K tertinggi terdapat pada saat konsentrasi Al 150 ppm yaitu sebesar 0,56% sedangkan K terendah pada saat Al maksimal (300 ppm) yaitu 0,19%. Berdasarkan hasil uji DMRT nilai K terendah ini berbeda tidak nyata dengan nilai K saat keadaan normal (kontrol) dan taraf 225 ppm Al. Seluruh varietas memiliki nilai K tertinggi saat berada pada konsentrasi Al 150 ppm kecuali PPKS540. Kandungan K tertinggi dimiliki varietas Dumpy sebesar 0,73% kemudian diikuti PPKS718 dan PPKS239 masing-masing 0,72 dan 0,61%. Pada saat tersebut varietas PPKS540 berada pada nilai terendah diantara varietas lainnya dengan nilai 0,33%. Varietas PPKS540 hanya mampu menaikkan kandungan K pada saat konsentrasi Al 75 ppm setelah itu kandungan K terus mengalami penurunan. Selanjutnya hingga pada saat Al maksimal (300 ppm) dimana nilai K masing-masing varietas berada pada nilai terendah, PPKS718 berada pada nilai tertinggi yaitu sebesar 0,26% dan berbeda nyata terhadap varietas lainnya. Pada konsentrasi Al maksimal varietas PPKS540 dan PPKS239 merupakan yang terendah masing-masing bernilai 0,14%.

Rata-rata kandungan hara K seluruh varietas meningkat saat diberikan Al 75 ppm. Peningkatan hara K tersebut terjadi hingga Al diberikan 150 ppm namun setelah itu menurun saat Al 225 ppm walaupun nilai penurunan tersebut tidak signifikan dengan kandungan hara K saat Al 0 ppm. Penurunan kandungan hara K rata-rata terus terjadi hingga Al diberikan maksimal (300 ppm) dimana pada saat tersebut kandungan hara merupakan terendah dan berbeda nyata dibandingkan kandungan hara K saat Al 0 ppm. Bersamaan dengan menurunnya kandungan K pada saat cekaman Al maksimal (300 ppm), kandungan N juga berada dalam keadaan paling rendah senilai 2,37%. Nilai kandungan N menurun secara perlahan dengan semakin bertambahnya konsentrasi Al. Kandungan N tertinggi pada saat Al 0 ppm sebesar 2,83%. Saat Al diberikan 75 ppm, kandungan hara N tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan saat Al 0 ppm. Perbedaan yang nyata mulai terjadi saat Al diberikan 150 ppm, dimana kandungan hara N menurun sebanyak 12,5%. Nilai kandungan hara N terus mengalami penurunan hingga Al diberikan 225 dan 300 ppm masing-masing

menurun sebanyak 13,4% dan 16,2%. Pengamatan ini sejalan dengan hasil penelitian Pineros dan Kochian (2001) dimana Al dapat mengubah kemampuan membran plasma dalam mengambil beberapa unsur hara dalam bentuk kation diantaranya ialah K^+ dan NH_4^+ . Perubahan ini berkaitan dengan interaksi Al^{3+} secara langsung dengan *ion channel* pada membran plasma dan perubahan pada potensial membran.

Ketidakeimbangan hara yang disebabkan paparan Al telah dilaporkan pada beberapa spesies tanaman. Sebelas famili pteridophita menunjukkan ketidakeimbangan nutrisi (kebanyakan pada Ca, Mg, P, K) yang berbeda-beda yang diakibatkan oleh akumulasi Al (Olivares *et al.*, 2009). Pada penelitian Sirait (2004), dilaporkan bahwa kandungan hara N jagung menurun signifikan dengan semakin bertambahnya Al. Selain mempengaruhi unsur hara N, Al juga mempengaruhi pengambilan unsur hara Ca dan Mg sebagai hara makro dan Mn dan Zn sebagai hara mikro pada tanaman jagung (Mariano dan Keltjens, 2005). Namun pada genotipe yang toleran Al, tanaman mampu mengakumulasi konsentrasi Ca, Mg (Mariano dan Keltjens, 2005) dan K (Giannakoula *et al.*, 2008) dari pada genotipe sensitif. Pada tanaman gandum kedua genotipe toleran dan sensitif menunjukkan adanya penurunan kandungan K dan Mg pada perakaran sedangkan Ca, Al dan Si meningkat (Silva *et al.*, 2010). Namun bagaimanapun genotipe gandum yang sensitif menunjukkan ketidakeimbangan hara dan akumulasi Al (di tajuk dan perakaran) yang lebih tinggi baik dari pada genotipe toleran (Silva *et al.*, 2010).

Pengaruh Al terhadap kandungan gula reduksi

Pengaruh Al secara nyata terlihat jelas pada gula reduksi baik yang terkandung pada bagian tajuk maupun pada bagian perakaran. Kandungan gula reduksi pada bagian tajuk mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya konsentrasi Al yang diberikan. Kandungan gula kelima varietas tidak berbeda nyata pada taraf 0; 75; dan 150 ppm Al namun mengalami penurunan dengan sangat nyata pada saat Al ditambah menjadi 225 dan 300 ppm. Pada saat Al 300 ppm gula reduksi tajuk berada pada nilai yang paling rendah yaitu 2,14% dan berbeda nyata dengan kandungan gula pada saat taraf Al sebelum dinaikkan.

Sementara pada bagian perakaran, kandungan gula reduksi meningkat sebesar 3,8% pada saat Al 75

Tabel 3. Tingkat ketahanan terhadap cekaman Al kelima varietas pada peubah panjang akar primer (PAP).

Varietas	STI pada level Al				Rata-Rata STI	Status Toleransi
	75 ppm	150 ppm	225 ppm	300 ppm		
PPKS239	0.94	0.98	0.85	1.00	0.94	M
PPKS718	0.94	0.92	0.96	0.80	0.91	AR
PPKS540	0.99	0.90	0.98	0.96	0.96	M
Simalungun	1.11	0.98	0.97	1.15	1.05	AT
Dumpy	1.02	1.13	0.91	1.03	1.02	M
Rata-rata					0.98	
Simpangan Baku					0.06	

Ket. : STI = stress tolerance index; T=tahan; AT= agak tahan; M=moderat; AR=agak rentan; R=rentan

ppm kemudian berkurang dengan tajam sebesar 50% saat Al 150 ppm. Setelah taraf Al diberikan 225 dan 300 ppm, gula reduksi kembali meningkat masing-masing 0,2 g per 100 g bobot akar. Ini menjelaskan bahwa kandungan gula reduksi pada akar yang paling rendah dijumpai pada saat Al 150 ppm yang bernilai 0,17 g dalam setiap 100 g bobot segar akar. Gula reduksi yang diamati merupakan kombinasi antara golongan *monosakarida* (seperti *glukosa*, *fruktosa* dan *malnosa*) dan *disakarida* (seperti *laktosa* dan *maltosa* kecuali *sukrosa*). Kandungan gula reduksi tajuk seluruh varietas mulai menurun saat Al diberikan 225 ppm dan selanjutnya berada pada nilai terendah saat Al maksimal (300 ppm). Menurut Koch (2004), rendahnya kandungan gula pada saat diberikan Al menunjukkan adanya mekanisme ketahanan tanaman terhadap toksisitas Al. Koch (2004) menjelaskan selama proses pembelahan dan pembesaran sel, sukrosa diambil dan dihidrolisis menjadi glukosa dan fruktosa oleh enzim invertase ekstraseluler kemudian mensekresikannya ke dinding sel yang suasananya asam. Pada saat tersebut, besar kemungkinan bahwa proses perubahan sukrosa menjadi glukosa dan fuktosa oleh enzim invertase yang diinduksi Al³⁺ menjadi bagian dari mekanisme resistensi dinding terhadap toksisitas aluminium.

Berdasarkan Koch (2004), tanaman yang toleran terhadap Al ditunjukkan melalui penurunan kandungan gula saat diberikan cekaman Al. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka jika ditinjau kembali kandungan gula reduksi akan terlihat bahwa DxP Simalungun merupakan varietas yang memiliki mekanisme ketahanan yang paling baik diikuti oleh DxP Dumpy dan DxP PPKS540 (Tabel 2). Hal ini

tentunya karena saat Al diberikan 300 ppm varietas-varietas tersebut memiliki nilai kandungan gula reduksi tajuk yang paling sedikit diantara varietas lainnya. Mekanisme ketahanan tanaman terhadap Al yang memiliki pola hubungan negatif seperti ini juga telah dilaporkan sebelumnya (De Lima dan Copeland, 1990), Al menginduksi terjadinya penurunan kandungan gula reduksi kultivar yang toleran pada tanaman gandum. Beberapa penelitian lain diantaranya Scott *et al.* (1991), yang melaporkan bahwa pati dan fruktan pada gandum kultivar toleran dan sensitif meningkat dengan seiring ditambahkan konsentrasi Al namun kandungan fruktan kultivar sensitif lebih tinggi dari pada yang toleran. Scott *et al.* (1991) menjelaskan penumpukan fruktan tersebut sebagai tanda bahwa kultivar sensitif tidak mampu mengekspor gula ke perakaran sebagai tanggap tanaman terhadap Al. Selanjutnya Chen *et al.* (2005) menunjukkan Al menghambat kemampuan akar tanaman jeruk mengambil gula dan air pada proses pemanjangan sel namun pada bagian tajuk, Al merangsang peningkatan kinerja enzim-enzim yang terlibat dalam siklus Kelvin seperti *ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase* (Rubisco), *NADP-glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase* (GAPDH), *phosphorribulokinase* (PRK), *fructose-1,6-bisphosphatase* (FBPase), dan sebuah enzim penting digunakan dalam sintesis pati, *ADP-glucose pyrophosphorylase* (AGPase). Pada tanaman tembakau, Basset *et al.* (2010) menjelaskan bahwa Al dapat menghambat akar dalam pengambilan gula dari larutan yang mengandung sukrosa karena secara potensial dapat menghambat pemanjangan sel walaupun tidak sampai bersifat meracuni tanaman.

Ketahanan varietas kelapa sawit terhadap Al

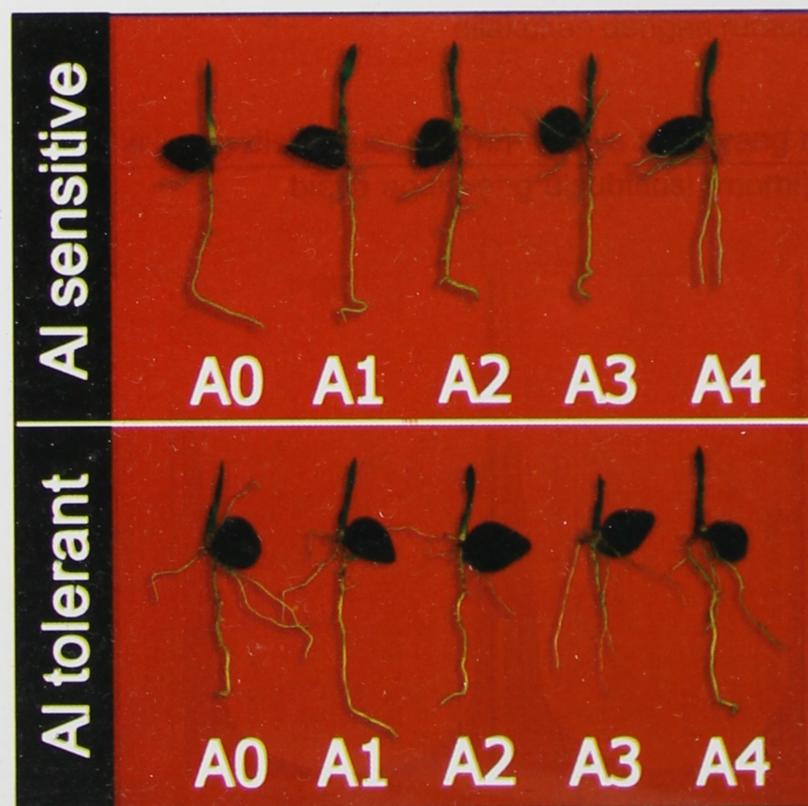
Sebagaimana ditunjukkan Tabel 3, varietas yang memiliki tingkat ketahanan berdasarkan nilai STI, mulai dari yang terbaik hingga terendah secara berturut-turut ialah Simalungun, Dumpy, PPKS540, PPKS239 dan PPKS718. Nilai STI varietas Simalungun berada di atas STI rata-rata varietas yang telah ditambah dengan $\frac{1}{2}$ dari simpangan bakunya, oleh karenanya varietas tersebut termasuk ke dalam kriteria agak tahan. Sedangkan, varietas PPKS718 masuk ke dalam kriteria agak rentan karena nilai STI-nya berada di bawah STI rata-rata varietas setelah dikurangi simpangan bakunya.

Ketahanan varietas Simalungun terhadap Al terlihat terjadinya penurunan yang nyata pada panjang akar primer, bahkan berdasarkan uji DMRT terlihat bahwa pada saat Al diberikan maksimal (300 ppm) panjang akar tidak berbeda nyata dengan panjang akar saat Al 0 ppm. Ketahanan varietas Simalungun tersebut diduga karena adanya mekanisme ketahanan terhadap toksisitas Al yang telah disiapkan yang terlihat dari kandungan gula reduksi pada tajuk yang menurun dengan nyata dan merupakan nilai paling rendah di antara varietas lainnya. Koch (2004) juga menjelaskan bahwa rendahnya

kandungan gula pada saat diberikan Al menunjukkan adanya mekanisme ketahanan tanaman terhadap toksisitas Al. Semakin rendah kandungan gula saat diberikan Al, berarti semakin baik pula mekanisme ketahanannya terhadap Al. Sebaliknya pada varietas yang paling mendekati golongan sensitif (PPKS718), terlihat dari nilai STI yang paling rendah dari varietas lainnya dan memiliki kategori agak rentan (AR). Hal ini tentunya dijelaskan karena selain panjang akar primer yang berada pada nilai paling pendek juga kandungan gula reduksi tajuk yang cukup besar diantara varietas lainnya saat diberi perlakuan Al 300 ppm.

KESIMPULAN

1. Pada saat pemberian Al, kelima varietas memberikan tanggap yang berbeda-beda pada peubah panjang akar primer, kandungan hara K, gula reduksi pada tajuk dan gula reduksi pada akar.
2. Berdasarkan pengukuran indeks ketahanan cekaman, varietas kelapa sawit memiliki ketahanan Al yang berbeda-beda satu sama lain. Varietas Simalungun memiliki tingkat ketahanan Al yang paling baik diikuti Simalungun, Dumpy, PPKS540, PPKS239 dan PPKS718.



Gambar 1. Perakaran dari varietas yang tahan dan sensitif terhadap Al

DAFTAR PUSTAKA

- Basset, R.A., S. Ozuka, T. Demiral, T. Furuichi, I. Sawatani, T.I. Baskin, H. Matsumoto, and Y. Yamamoto. 2010. Aluminium reduces sugar uptake in tobacco cell cultures: a potential cause of inhibited elongation but not of toxicity. *Journal of Experimental Botany*. 61(6): 1597-1610.
- Chen, L.S., Y.P. Qi, B.R. Smith, and S.H. Liu. 2005. Aluminum-induced decrease in CO₂ assimilation in citrus seedlings is unaccompanied by decreased activities of key enzymes involved in CO₂ assimilation. *Tree Physiology*. 25: 317-324.
- Cristancho, R.J.A., M.M. Hanafi, S.R. Syed Omar and M.Y. Rafii. 2011. Variations in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progeny tanggapse to high aluminium concentration in solution culture. *Plant Biology*. 13 (2): 333-342.
- Darmosarkoro, W. 2006. Towards sustainable oil palm industry in Indonesia. In Sutarta et al. *Proceedings International Oil Palm Conference. Optimum Use of Resources : Challenge and Opportunities for Sustainable Oil Palm Development*. p: 1-12.
- Delhaize, E. and P.R. Ryan. 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology*. 107: 315-321.
- De Lima, M.L. and L. Copeland. 1990. The effect of aluminium on the germination of wheat seeds. *Journal of Plant Nutrition*. 13(12):1489-1497.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Department of Agricultural Economics, University of Nevada, Reno, USA : 257-270.
- Fitter, A.H. dan R.K.M. Hay. 1991. Fisiologi lingkungan tanaman. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Galkovskyi, T., Y. Mileyko, A. Bucksch, B. Moore, O. Symonova, C.A. Price, N.T. Topp, A.S. Iyer-Pascuzzi, P.R. Zurek, S. Fang, J. Harer, P.H. Benfey, and J.S. Weitz. 2012. Gia Root: software for the high throughput analysis of plant root system architecture. *BMC Plant Biology*. p: 1-12.
- Giannakoula, A., M. Moustakas, P. Mylona, I. Papadakis, and T. Yupsanis. 2008. Aluminium tolerance in maize carbohydrates and proline, and decreased levels of lipid peroxidation and Al accumulation. *Journal of Plant Physiology*. 165(4): 385-396.
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water-culture method for growing plants without soils. The college of Agriculture, University of California, Barkley. Circular 347.
- Koch, K. 2004. Sucrose metabolism: Regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. *Current Opinion in Plant Biology*. 7: 235-246.
- Koedadiri, A.D. 2003. Permasalahan fosfat (P) pada perkebunan kelapa sawit (studi kasus beberapa perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara). *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*. 11(1): 1-5.
- Ma, F.J., R. Yamamoto, D.J. Nevins, H. Matsumoto, and P.H. Brown. 1999. Al binding in the epidermis cell wall inhibits cell elongation of Okra hypocotyls. *Plant Cell Physiol*. 4(3): 549-556.
- Mariano, E.D. and W.G. Keltjens. 2005. Long-term effect of aluminium exposure on nutrient uptake by maize genotypes differing in aluminium resistance. *Journal of Plant Nutrition*. 28(2): 323-333.
- Martinez, M., G. Racagni, J.A. Munoz, L. Brito, V.M. Loyola, and S.M.T. Hernandez. 2003. Aluminium differentially modifies lipid metabolism from the phosphoinositide pathway in *Coffea arabica* cells. *Journal of Plant Physiology* 160: 1297-1303.
- Matsumoto, H., Y. Yamamoto, and M. Kasai. 1992. Changes of some properties of the plasma membrane-enriched fraction of barley roots related to aluminum stress: Membrane-associated ATPase, aluminum and calcium. *Soil Science and Plant Nutrition*. 38(3): 411-419.
- Mulyani, A., Hikmatullah, dan H. Subagyo. 2004. Karakteristik dan potensi tanah masam lahan kering di Indonesia. *Prosiding Simposium Nasional Tanah Masam*. Puslitbangtanak, Bogor. p: 1-32.

- Nugroho, K., Alkasuma, Paidi, W. Wahdini, Abdulrachman, H. Suhardjo, dan I.P.G. Widjaja-Adhi. 1991. Laporan Akhir. Penentuan Areal Potensial Lahan Pasang Surut, Rawa, dan Pantai skala 1:500.000. Puslittanah dan Agroklimat, Bogor.
- Olivares, E., E. Pena, E. Marcano, J. Mostacero, G. Aguiar, M. Benitez, and E. Rengifo. 2009. Aluminium accumulation and its relationship with mineral plant nutrients in 12 pteridophytes from Venezuela. *Environmental and Experimental Botany*. 65(1): 132-141.
- Pereira, W.E., D.L. Siqueira, C.A. Martinez, and M. Puiatti. 2000. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminium stress. *Journal of Plant Physiology*. 157 :513-520.
- Pineros, M.A., and L.V. Kochian. 2001. A patch-clamp study on the physiology of aluminium toxicity and aluminium tolerance in maize. Identification and characterization of Al^{3+} anion channels. *Plant Physiology*. 125(1): 292-305.
- Purba, A.R., E. Suprianto, N. Supena, dan M. Arif. 2009. Peningkatan produktivitas kelapa sawit dengan menggunakan bahan tanaman unggul. *Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit, JCC 28-29 Mei 2009*. p: 1-22.
- Purwani, R.D. dan Marjani. 2009. Evaluasi ketahanan plasma nutfah Kenaf terhadap cekaman Fe pada pH masam. *Buletin Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat*. (1): 28-40.
- Samac, D.A. and M. Tesfaye. 2003. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils, a review. *Journal of Plant Cell Tissue Organ Culture*. 75: 189-207.
- Scott, B.J., and J.A. Fisher. 1989. Selection of genotypes tolerant of aluminium and manganese In *Soil Acidity and Plant Growth*. Academic press Australia. p: 167-203.
- Scott, R., J. Hoddinot, G.J. Taylor, and K. Briggs. 1991. The influence of aluminium on growth, carbohydrate, and organic acid content of an aluminium-tolerant and an aluminium sensitive cultivar of wheat. *Canadian Journal of Botany*. 69(4): 711-716.
- Silva, S., O. Pinto-Carnide, P. Martins-Lopez, M. Matos, H. Guedes-Pinto, and C. Santos. 2010. Differential aluminium changes on nutrient accumulation and root differentiation in an Al sensitive vs. tolerant wheat. *Environmental and Experimental Botany*. 68(1): 91-98.
- Sirait, B. 2004. Penanda Galur Jagung (*Zea mays*, L) kandidat toleran Aluminium pada berbagai cekaman Al. *Jurnal Penelitian Bidang Ilmu Pertanian*. 2(3): 1-8.
- Soepardi, H.G. 2001. Strategi usahatani agribisnis berbasis sumber daya lahan. *Prosiding Nasional pengelolaan sumber daya lahan dan pupuk*. Puslitbangtanak, Bogor. p: 35-52.
- Sudarmadji, S., B. Haryono, dan Suhardi. 1997. *Prosedur analisa untuk bahan makanan dan pertanian*. Liberty. Yogyakarta.
- Teraoka, T., M. Kaneko, S. Mori, and E. Yoshimura. 2002. Aluminum rapidly inhibits cellulose synthesis in roots of barley and wheat seedlings. *Journal of Plant Physiology*. 159: 17-23.
- Yakimova, E.T., V.M. Kapchina-Toteva, E.J. Woltering. 2007. Signal transduction events in aluminium-induced cell death in tomato suspension cells. *Journal of Plant Physiology*. 164: 702-708.
- Yang, J.L. Y.Y. Li, Y.J. Zhang, S.S Zhang, Y.R. Wu, P. Wu, and S.J. Zheng. 2008. Cell wall polysaccharides are specifically involved in the exclusion of aluminium from the rice root apex. *Plant Physiology*. 146(2): 602-611.
- Zheng, S.J., J.L. Yang, Y.F. He, X.H. Yu, L. Zhang, J.F. You, R.F. Shen, and H. Matsumoto. 2005. Immobilization of aluminum with phosphorus in roots is associated with high Al resistance in buckwheat. *Plant Physiology*. 138: 297-3.