

**SELEKSI KETAHANAN BEBERAPA KULTIVAR PADI (*Oryza sativa* L.) LOKAL
ASAL KALIMANTAN TIMUR TERHADAP CEKAMAN ALUMINIUM
PADA FASE PERKECAMBAHAN**

*(Selection of East Kalimantan Local Rice (*Oryza sativa* L.) Tolerance Against Aluminum Stress
on Germination Stage)*

Nurul Aini, Susyowati, Nurhasanah,

Department of Agroecotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Mulawarman.

Jl. Pasir Balengkong, Kampus Gunung Kelua,

Samarinda 75119, East Kalimantan, Indonesia. Tel: +62-812-5802-743

Koresponden email: susy_rusdi2@yahoo.com

Article Submitted : 11-05-2019

Article Accepted : 22-05-2019

ABSTRACT

Food security and sovereignty can be realized through the expansion of agricultural land to the marginal lands. One type of marginal land is acidic soils with high levels of aluminum (Al) toxicity. An efficient and environmentally friendly approach to utilizing acidic soils as agricultural land is by using rice varieties which have a high tolerance to aluminum stress on acidic soils. The purpose of this study was to determine the effect of aluminum stress on the growth of the local rice from East Kalimantan and to select the tolerant cultivars against aluminum stress at the germination stage. The study was conducted for three months (May-July 2018), at Laboratory of Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Mulawarman, Samarinda. This study used a Split Plot Design with three replications. As the main plot was Aluminum stress concentration (A) consisting of 3 levels, namely 0, 250 and 500 ppm of $AlCl_3$ and as subplots were 25 rice genotypes, consisting of 23 local rice cultivars from East Kalimantan (V) and two genotypes as tolerant (Mekongga) and sensitive (IR64) controls. Assessment of aluminum tolerance level was carried out by calculating plant sensitivity index values against aluminum stress based on the Relative Root Growth (RRG) and Relative Shoot Growth (SRG) parameters. Other plant growth parameter data, root and shoot fresh and dry weight, were analyzed using analysis of variance at the test level $\alpha = 0.05$, and the post-hoc test using Honestly Significant Difference test (HSD). Aluminum stress caused disruption of the East Kalimantan local rice cultivars growth, especially root growth. Aluminum concentration at either 250 ppm or 500 ppm reduced relative root growth and further damage the root system of the rice plants causing roots stunted and thickened. Likewise with shoot growth parameter, there was a relative shoot growth decline due to the aluminum stress on the plants. Two local rice cultivars of East Kalimantan, Pulut Mayang and Pulut Linjuang, were consistently tolerant to aluminum stress either in 250 ppm or 500 ppm of $AlCl_3$; while Kawit, Bentian, Mayas Putih and Ketan putih cultivars were only classified as tolerant at a concentration of 250 ppm aluminum. On the other hand, a control sensitive variety IR64 showed the susceptibility to 250 and 500 ppm aluminum stress.

Keywords: *Selection, East Kalimantan Local Rice, Aluminum Stress, Tolerant*

PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman pangan yang sangat penting di dunia setelah gandum dan jagung. Padi merupakan komoditas pangan strategis yang masih terus mendapatkan perhatian khusus dari pemerintah mengingat beras merupakan makanan pokok bagi sebagian besar penduduk Indonesia. Selain itu di Indonesia beras masih dipandang sebagai produk kunci bagi kestabilan perekonomian dan politik (Purnamaningsih, 2006).

Ketersediaan akan padi harus terus dipertahankan dan bahkan ditingkatkan seiring dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk. Jika hanya mengandalkan produksi pertanian pada lahan yang subur, maka dapat dipastikan tidak akan mampu memenuhi kebutuhan pangan nasional yang semakin meningkat. Untuk itu diperlukan upaya-upaya yang komprehensif dalam mempertahankan dan meningkatkan produksi padi setiap tahun (Rusdi *et al.*, 2009). Pilihan untuk mewujudkan ketahanan dan kedaulatan pangan adalah dengan perluasan lahan pertanian pada lahan-lahan marginal, salah satunya dengan memanfaatkan tanah masam. Tingginya curah hujan di sebagian wilayah Indonesia menyebabkan tingkat pencucian hara tinggi terutama basa-basa, sehingga basa-basa dalam tanah akan segera tercuci keluar lingkungan tanah dan yang tinggal dalam kompleks adsorpsi liat dan humus adalah ion H dan Al. Akibatnya tanah menjadi bereaksi masam dengan kejenuhan basa rendah dan menunjukkan kejenuhan aluminium (Al) yang tinggi (Subagyo *et al.*, 2000). Menurut bentuk lahan di Indonesia menunjukkan bahwa 54% luas daratan Indonesia tertutup oleh tanah-tanah masam diantaranya tanah podsolik merupakan bagian yang terluas yaitu, 27% luas daratan tanah (Muljadi dan Arsjad, 1967). Sumatera merupakan pulau terluas yang memiliki jenis tanah masam, yaitu 20.6 juta hektar, disusul Kalimantan yaitu 16.1 juta hektar, Maluku 3.231 juta hektar dan Sulawesi 2.0 juta hektar,

sedangkan Jawa dan Madura hanya 0.325 juta hektar (Sudjadi, 1984).

Pendekatan yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk menanggulangi hambatan tersebut adalah melalui pemuliaan menggunakan varietas-varietas tanaman padi yang mempunyai toleransi yang tinggi terhadap cekaman Al, disamping mempunyai produktivitas dan mutu yang tinggi. Langkah utama yang perlu dilakukan untuk pengembangan varietas padi unggul yang tahan terhadap cekaman aluminium dan pH rendah adalah memiliki penapisan varietas padi yang toleran terhadap cekaman tersebut. Penanaman di tanah asam dengan kandungan Al tinggi untuk menapis plasma nutfah padi merupakan salah satu cara untuk mengidentifikasi derajat toleransi Al tanaman padi. Namun demikian, uji lapang ini membutuhkan areal yang luas, dan membutuhkan banyak tenaga dan waktu yang lama untuk memperoleh data, karena pengamatan dilakukan sampai tanaman dewasa dan berproduksi. Oleh karena itu perlu suatu metode yang efisien dan cepat yaitu pengamatan pada fase awal pertumbuhan tanaman atau fase kecambah.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan kurang lebih tiga bulan (bulan Mei-Juli 2018), bertempat di Laboratorium Bioteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Samarinda.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 25 genotipe padi yang terdiri atas 23 kultivar padi lokal asal Kalimantan Timur dan 2 varietas unggul Nasional yaitu varietas IR64 dan Mekongga. Larutan khloroks 10%, air destilasi, larutan HCl, larutan KOH, media hara Yoshida, larutan AlCl₃, aluminium foil, dan tisu.

Alat yang digunakan adalah botol kaca, alat pengukur pH, Erlenmeyer, gelas ukur, pinset, spatula, kertas saring, *seed*

germinator, media bak//nampan, spon/busa, timbangan analitik, saringsn teh, aerator, label perlakuan, penggaris, alat tulis, dan alat dokumentasi.

Rancangan Percobaan

Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Petak Terpisah (Split Plot) dengan 3 ulangan. Sebagai petak utamanya adalah konsentrasi cekaman Aluminium (A) dengan menggunakan larutan $AlCl_3$ yang terdiri atas 3 taraf yaitu: $a_0 = 0$ ppm, $a_1 = 250$ ppm, dan $a_2 = 500$ ppm $AlCl_3$. Sebagai anak petaknya yaitu kultivar padi lokal asal Kalimantan Timur (V), yang terdiri atas: 25 genotipe padi, yang terdiri atas 23 kultivar padi lokal asal Kalimantan Timur (V) dan dua genotipe sebagai kontrol toleran (Mekongga) dan sensitif (IR64).

Kegiatan Penelitian

1. Persiapan benih

Benih padi yang digunakan adalah bulir padi yang diseleksi dengan kriteria bulir bernas dan ukurannya seragam. Selanjutnya dilakukan sterilisasi benih dengan cara benih padi direndam dalam larutan khloroks 10% selama 15 menit dan dibilas dengan air destilata, kemudian benih direndam selama 24 jam dalam air destilata pada suhu ruang dan keadaan gelap. Benih yang digunakan untuk tahapan selanjutnya adalah benih yang tenggelam.

2. Perkecambahan benih

Benih yang dikecambahkan disusun sebanyak 25 benih padi per kultivar di atas kertas saring yang sudah dilembabkan dengan air. Kemudian ditutup dengan satu lembar kertas saring yang sudah dibasahi hingga tidak ada air yang menetes. Selanjutnya kertas benih yang telah digulung diletakkan di dalam germinator. Benih dikecambahkan selama tiga hari pada suhu ruang dan kondisi gelap. Benih-benih yang telah berkecambah dipilih sebanyak 18 kecambah per kultivar yaitu yang memiliki panjang akar yang seragam 1-1,5 cm.

3. Persiapan media kultur hara

Larutan hara Yoshida merupakan larutan yang terdiri dari beberapa unsur makro dan mikro yang telah dilarutkan dalam air. Pada penelitian ini diambil larutan stok masing-masing 5 mL untuk pembuatan 4 liter larutan hara Yoshida atau sesuai dengan volume bak/nampan yang akan digunakan. Kemudian untuk perlakuan $AlCl_3$ yaitu 250 ppm dan 500 ppm akan dikonversikan menjadi $g L^{-1}$, jadi untuk perlakuan $AlCl_3$ 250 ppm sama dengan $0,25 g L^{-1}$ dan perlakuan $AlCl_3$ 500 ppm sama dengan $0,5 g L^{-1}$.

4. Percobaan kultur hara

Kecambah yang telah diseleksi ditumbuhkan pada media bak/nampan yang berisi larutan hara (larutan hara yoshida) pada pH 5,8 selama 24 jam dengan cara menanam dua kecambah per varietas pada busa/spon yang telah diberi lubang tanam dengan cara memasukkan akar pada lubang tanam secara berlahan agar akar tidak terputus dengan posisi akar berada dibawah spon/busa yang akan terapung diatas larutan. Setelah 24 jam di dalam larutan hara, panjang akar dan panjang pucuk diukur sebagai panjang akar dan panjang pucuk awal. Pengukuran panjang akar awal diukur dari pangkal rumpun sampai ujung akar terpanjang, begitu pula panjang pucuk awal diukur dari pangkal rumpun sampai ujung pucuk terpanjang. Setelah diukur, tanaman dipindahkan pada larutan hara yang mengandung $AlCl_3$ sesuai dengan perlakuan yaitu 250 ppm dan 500 ppm pada pH 4. Penurunan pH dilakukan dengan memberikan HCl ke dalam larutan. Sebagai kontrol, tanaman ditumbuhkan pada larutan hara tanpa perlakuan larutan $AlCl_3$ pada pH 5,8.

Analisis Data

Penilaian tingkat keracunan Al dilakukan dengan menghitung nilai indeks sensitivitas tanaman terhadap cekaman aluminium. Indeks sensitivitas ini diukur berdasarkan parameter *Relative Root Growth* (RRG) dan *Relative Shoot Growth* (SRG). Menurut Fischer and Maurer (1978). Indeks

sensitivitas dihitung dengan menggunakan sebuah rumus sebagai berikut:

$$S = (1 - (Y_p/Y)) / (1 - X_p/X)$$

Keterangan :

S = Indeks sensitivitas tanaman terhadap cekaman

Y_p = Nilai rata-rata pertumbuhan sebuah varietas dalam kondisi stress/cekaman

Y = Nilai rata-rata pertumbuhan sebuah varietas dalam kondisi normal

X_p = Nilai rata-rata pertumbuhan seluruh varietas dalam kondisi stress/cekaman

X = Nilai rata-rata pertumbuhan seluruh varietas dalam kondisi normal

Pengelompokan indeks sensitivitas tanaman adalah : toleran jika nilai $S < 0,5$; moderat toleran jika nilai $0,5 < S < 1,00$; dan sensitif jika nilai $S > 1,00$. Data Data parameter pertumbuhan tanaman (Bobot Basah dan Bobot Kering dari Akar dan Pucuk) dianalisis menggunakan Analisis Ragam pada taraf 5%, dan uji lanjut menggunakan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) taraf 5%. Pengelompokan kultivar padi dilakukan berdasarkan pengelompokan Indeks sensitive tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks sensitivitas tanaman (S) (Tabel 1) menunjukkan bahwa pada cekaman Aluminium dengan konsentrasi 250 ppm $AlCl_3$ (a_1), kultivar padi V_2 (Mekongga), V_5 (Kawit), V_7 (Bentian), V_{16} (Mayas Putih), V_{20} (Ketan Putih), V_{24} (Pulut Mayang) dan V_{25} (Pulut Linjuang) termasuk kategori kultivar yang toleran pada akar dengan nilai $S < 0,50$.

Sedangkan pada konsentrasi 500 ppm $AlCl_3$ (a_2) hanya V_2 (Mekongga), V_{24} (Pulut Mayang) dan V_{25} (Pulut Linjuang) yang tergolong kategori toleran pada akar. Kultivar yang tergolong moderat dengan nilai indeks sensitivitas $0,50 < S < 1,00$ baik pada cekaman Al dengan konsentrasi 250 ppm (a_1) dan 500 ppm $AlCl_3$ (a_2) yaitu V_4 (Mayas) dan V_9 (Bogor Hitam). Kemudian untuk kultivar V_1 (IR64), V_3 (Jala Mengo), V_6 (Awang), V_{11} (Sungkai), V_{12} (Tumiyang I), V_{13} (Melak), V_{15} (Mayas Kuning), V_{17} (Buyung), V_{19} (Ketalun Tawar), V_{21} (Ketan Huan), V_{22} (Ketan Lekatan) dan V_{23} (Ketan Putek Iting), tergolong kultivar yang tidak toleran atau sensitif terhadap cekaman Aluminium baik pada konsentrasi 250 ppm (a_1) dan 500 ppm $AlCl_3$ (a_2).

Kultivar yang termasuk dalam kategori toleran pada pucuk terhadap cekaman Aluminium baik pada konsentrasi 250 ppm (a_1) dan 500 ppm $AlCl_3$ (a_2) adalah V_2 (Mekongga), V_7 (Bentian), V_{14} (Bogor I), V_{24} (Pulut Mayang) dan V_{25} (Ketan Linjuang). Kemudian untuk kultivar yang dikatakan moderat pada konsentrasi Aluminium 250 ppm dan 500 ppm yaitu V_4 (Mayas), V_9 (Bogor Hitam), V_{13} (Melak), V_{19} (Ketalun Tawar) dan V_{21} (Ketan Huan). Sedangkan kultivar yang lain dikategorikan sebagai varietas yang sensitif pada pucuk terhadap cekaman aluminium baik pada konsentrasi $AlCl_3$: 250 ppm maupun 500 ppm yaitu pada V_1 (IR64), V_3 (Jala Mengo), V_6 (Awang), V_8 (Ritam), V_{11} (Sungkai), V_{15} (Mayas Kuning), V_{17} (Buyung), V_{22} (Ketan Lekatan) dan V_{23} (Ketan Putek Iting). Kultivar tanaman padi yang tergolong toleran dan sensitif disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kultivar yang termasuk kategori toleran pada Mekongga dan sensitif pada IR64

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa kultivar tanaman padi lokal asal Kalimantan Timur yang digunakan memberikan pengaruh yang nyata. Sedangkan konsentrasi cekaman Al yang diberikan berpengaruh tidak nyata pada masing-masing kultivar padi, demikian pula interaksi keduanya berpengaruh tidak nyata terhadap bobot basah akar tanaman. Berdasarkan pengujian lanjutan terhadap pengaruh kultivar padi lokal asal Kalimantan Timur pada berbagai konsentrasi $AlCl_3$ terhadap bobot basah akar yang dihasilkan dengan uji BNJ 5% (Tabel 2) terlihat bahwa respon kultivar IR64 (V_1) berbeda nyata terhadap kultivar Ketan Putih (V_{20}), Ketan Putek Iting (V_{23}), Pulut Mayang (V_{24}) dan Pulut Linjuang (V_{25}). Sedangkan kultivar Ketan Putek Iting (V_{23}) berbeda nyata dengan semua kultivar yang diamati. Ketan Putek Iting memiliki bobot basah akar tertinggi, sedangkan IR64 memiliki bobot basah akar terendah.

Tabel 1. Nilai indeks sensitifitas dan tingkat toleransi Kultivar padi lokal Kalimantan Timur terhadap cekaman aluminium untuk parameter pertumbuhan Akar dan Pucuk

| Nama Kultivar | | Parameter Akar | | | | Parameter Pucuk | | | |
|-----------------|----------------|--|----------|----------------------|----------|--|----------|----------------------|----------|
| | | Perlakuan konsentrasi Aluminium (ppm) | | | | Perlakuan konsentrasi Aluminium (ppm) | | | |
| | | a ₁ = 250 | | a ₂ = 500 | | a ₁ = 250 | | a ₂ = 500 | |
| | | Indeks Sensitifitas | Kategori | Indeks Sensitifitas | Kategori | Indeks Sensitifitas | Kategori | Indeks Sensitifitas | Kategori |
| V ₁ | IR 64 | 1,39 | Sensitif | 1,07 | Sensitif | 1,39 | Sensitif | 1,92 | Sensitif |
| V ₂ | Mekongga | -0,03 | Toleran | 0,30 | Toleran | 0,13 | Toleran | 0,27 | Toleran |
| V ₃ | Jala Mengo | 1,26 | Sensitif | 1,04 | Sensitif | 2,38 | Sensitif | 1,22 | Sensitif |
| V ₄ | Mayas | 0,78 | Moderat | 0,91 | Moderat | 0,78 | Moderat | 0,59 | Moderat |
| V ₅ | Kawit | 0,50 | Toleran | 0,60 | Moderat | 0,50 | Toleran | 0,59 | Moderat |
| V ₆ | Awang | 2,15 | Sensitif | 1,12 | Sensitif | 1,61 | Sensitif | 1,16 | Sensitif |
| V ₇ | Bentian | 0,23 | Toleran | 0,76 | Moderat | 0,26 | Toleran | 0,49 | Toleran |
| V ₈ | Ritam | 1,20 | Sensitif | 1,00 | Sensitif | 2,28 | Sensitif | 1,17 | Sensitif |
| V ₉ | Bogor Hitam | 0,66 | Moderat | 0,97 | Moderat | 0,69 | Moderat | 0,70 | Moderat |
| V ₁₀ | Bogor Putih | 0,87 | Moderat | 1,05 | Sensitif | 0,63 | Moderat | 1,75 | Sensitif |
| V ₁₁ | Sungkai | 2,11 | Sensitif | 1,09 | Sensitif | 1,68 | Sensitif | 1,06 | Sensitif |
| V ₁₂ | Tumiyang 1 | 1,47 | Sensitif | 1,24 | Sensitif | 0,64 | Moderat | 1,26 | Sensitif |
| V ₁₃ | Melak | 1,15 | Sensitif | 1,03 | Sensitif | 0,62 | Moderat | 0,78 | Moderat |
| V ₁₄ | Bogor 1 | 0,63 | Moderat | 1,00 | Sensitif | -0,83 | Toleran | 0,32 | Toleran |
| V ₁₅ | Mayas Kuning | 1,44 | Sensitif | 1,19 | Sensitif | 2,41 | Sensitif | 1,12 | Sensitif |
| V ₁₆ | Mayas Putih | -1,03 | Toleran | 1,07 | Sensitif | 0,05 | Toleran | 1,67 | Sensitif |
| V ₁₇ | Buyung | 1,53 | Sensitif | 1,06 | Sensitif | 1,15 | Sensitif | 1,02 | Sensitif |
| V ₁₈ | Serai Gunung | 0,98 | Moderat | 1,24 | Sensitif | 0,54 | Moderat | 1,12 | Sensitif |
| V ₁₉ | Ketalun Tawar | 2,08 | Sensitif | 1,12 | Sensitif | 0,66 | Moderat | 0,72 | Moderat |
| V ₂₀ | Ketan Putih | 0,43 | Toleran | 0,85 | Moderat | 0,36 | Toleran | 0,84 | Moderat |
| V ₂₁ | Ketan Huan | 2,36 | Sensitif | 1,04 | Sensitif | 0,60 | Moderat | 0,68 | Moderat |
| V ₂₂ | Ketan Lekatan | 2,32 | Sensitif | 1,17 | Sensitif | 2,83 | Sensitif | 1,49 | Sensitif |
| V ₂₃ | K. Putek Iting | 1,74 | Sensitif | 1,27 | Sensitif | 2,24 | Sensitif | 1,48 | Sensitif |
| V ₂₄ | Pulut Mayang | -2,17 | Toleran | 0,31 | Toleran | -0,32 | Toleran | 0,48 | Toleran |
| V ₂₅ | Pulut Linjuang | -3,01 | Toleran | 0,17 | Toleran | 0,32 | Toleran | 0,48 | Toleran |

Tabel 2. Pengaruh cekaman Al terhadap bobot basah akar tanaman padi lokal asal Kalimantan Timur dari kultivar yang berbeda.

| Nama Kultivar | Konsentrasi Aluminium (ppm) | | | Rata-Rata |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| | a ₀ = 0 | a ₁ = 250 | a ₂ = 500 | |
| | g | | | |
| V ₁ IR64 | 0,0036 | 0,0102 | 0,0051 | 0,0063 a |
| V ₂ Mekongga | 0,0083 | 0,0096 | 0,0098 | 0,0092 ab |
| V ₃ Jala Mengo | 0,0105 | 0,0104 | 0,0104 | 0,0104 ab |
| V ₄ Mayas | 0,0075 | 0,0108 | 0,0076 | 0,0086 ab |
| V ₅ Kawit | 0,0087 | 0,0082 | 0,0094 | 0,0088 ab |
| V ₆ Awang | 0,0063 | 0,0111 | 0,0114 | 0,0096 ab |
| V ₇ Bentian | 0,0101 | 0,0104 | 0,0064 | 0,0090 ab |
| V ₈ Ritam | 0,0074 | 0,0079 | 0,0085 | 0,0079 ab |
| V ₉ Bogor Hitam | 0,0080 | 0,0092 | 0,0096 | 0,0089 ab |
| V ₁₀ Bogor Putih | 0,0159 | 0,0098 | 0,0051 | 0,0103 ab |
| V ₁₁ Sungkai | 0,0108 | 0,0147 | 0,0071 | 0,0109 ab |
| V ₁₂ Tumiayang 1 | 0,0182 | 0,0135 | 0,0057 | 0,0125 abc |
| V ₁₃ Melak | 0,0093 | 0,0083 | 0,0061 | 0,0079 ab |
| V ₁₄ Bogor 1 | 0,0101 | 0,0110 | 0,0076 | 0,0096 ab |
| V ₁₅ Mayas Kuning | 0,0077 | 0,0058 | 0,0076 | 0,0070 ab |
| V ₁₆ Mayas Putih | 0,0069 | 0,0072 | 0,0063 | 0,0068 ab |
| V ₁₇ Buyung | 0,0120 | 0,0116 | 0,0096 | 0,0111 bc |
| V ₁₈ Serai Gunung | 0,0063 | 0,0085 | 0,0049 | 0,0066 a |
| V ₁₉ Ketalun Tawar | 0,0114 | 0,0214 | 0,0079 | 0,0136 abcd |
| V ₂₀ Ketan Putih | 0,0158 | 0,0363 | 0,0129 | 0,0217 d |
| V ₂₁ Ketan Huan | 0,0029 | 0,0064 | 0,0086 | 0,0060 a |
| V ₂₂ Ketan Lekatan | 0,0098 | 0,0226 | 0,0069 | 0,0131 abcd |
| V ₂₃ Ketan Putek Iting | 0,0201 | 0,0818 | 0,0117 | 0,0379 e |
| V ₂₄ Pulut Mayang | 0,0132 | 0,0205 | 0,0131 | 0,0156 bcd |
| V ₂₅ Pulut Linjuang | 0,0188 | 0,0244 | 0,0191 | 0,0208 cd |
| Rata-Rata | 0,0104 | 0,0151 | 0,0087 | |

Keterangan: Angka rata-rata yang diikuti huruf yang sama menunjukkan berbeda tidak nyata pada uji BNJ 5%. Nilai BNJ V: 0,0088

Tabel 3. Pengaruh cekaman Al terhadap rata-rata bobot kering akar tanaman padi lokal asal Kalimantan Timur dari kultivar yang berbeda.

| Nama Kultivar | Konsentrasi Aluminium (ppm) | | | Rata-Rata |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|-----------|
| | a ₀ = 0 | a ₁ = 250 | a ₂ =500 | |
| | g | | | |
| V ₁ IR 64 | 0,0009 | 0,0010 | 0,0009 | 0,0009 |
| V ₂ Mekongga | 0,0020 | 0,0018 | 0,0022 | 0,0020 |
| V ₃ Jala Mengo | 0,0028 | 0,0026 | 0,0025 | 0,0026 |
| V ₄ Mayas | 0,0020 | 0,0019 | 0,0016 | 0,0018 |
| V ₅ Kawit | 0,0019 | 0,0019 | 0,0020 | 0,0019 |
| V ₆ Awang | 0,0027 | 0,0018 | 0,0020 | 0,0021 |
| V ₇ Bentian | 0,0023 | 0,0020 | 0,0018 | 0,0020 |
| V ₈ Ritam | 0,0014 | 0,0012 | 0,0021 | 0,0016 |
| V ₉ Bogor Hitam | 0,0013 | 0,0019 | 0,0018 | 0,0016 |
| V ₁₀ Bogor Putih | 0,0024 | 0,0020 | 0,0010 | 0,0018 |
| V ₁₁ Sungkai | 0,0020 | 0,0021 | 0,0015 | 0,0019 |
| V ₁₂ Tumiyang 1 | 0,0025 | 0,0028 | 0,0015 | 0,0023 |
| V ₁₃ Melak | 0,0017 | 0,0021 | 0,0015 | 0,0017 |
| V ₁₄ Bogor 1 | 0,0016 | 0,0019 | 0,0019 | 0,0018 |
| V ₁₅ Mayas Kuning | 0,0019 | 0,0016 | 0,0018 | 0,0018 |
| V ₁₆ Mayas Putih | 0,0010 | 0,0019 | 0,0013 | 0,0014 |
| V ₁₇ Buyung | 0,0020 | 0,0022 | 0,0019 | 0,0020 |
| V ₁₈ Serai Gunung | 0,0014 | 0,0016 | 0,0009 | 0,0013 |
| V ₁₉ Ketalun Tawar | 0,0022 | 0,0017 | 0,0014 | 0,0017 |
| V ₂₀ Ketan Putih | 0,0024 | 0,0028 | 0,0016 | 0,0022 |
| V ₂₁ Ketan Huan | 0,0006 | 0,0010 | 0,0005 | 0,0007 |
| V ₂₂ Ketan Lekatan | 0,0015 | 0,0016 | 0,0017 | 0,0016 |
| V ₂₃ Ketan Putek Iting | 0,0029 | 0,0023 | 0,0014 | 0,0022 |
| V ₂₄ Pulut Mayang | 0,0023 | 0,0018 | 0,0015 | 0,0019 |
| V ₂₅ Pulut Linjuang | 0,0029 | 0,0028 | 0,0026 | 0,0028 |
| Rata-rata | 0,0019 | 0,0019 | 0,0016 | |

Pada pengamatan berat kering akar, hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi cekaman aluminium, kultivar tanaman padi lokal asal Kalimantan Timur serta interaksi antara keduanya berpengaruh tidak nyata terhadap bobot kering akar tanaman padi. Rata-rata bobot

kering akar tanaman padi tertinggi pada kondisi tidak tercekam aluminium atau konsentrasi Al 0 ppm AlCl₃ yaitu pada kultivar Ketan Putek Iting (V₂₃) dan kultivar Pulut Linjuang (V₂₅) dengan nilai bobot kering akar masing-masing 0,0029 g. Pada konsentrasi 250 ppm AlCl₃ rata-rata bobot kering akar tanaman padi tertinggi ditunjukkan pada

Tumiyang I (V₁₂), Ketan Putih (V₂₀) dan Pulut Linjuang (V₂₅) dengan nilai rata-rata 0,0028 g. Kemudian rata-rata bobot kering akar tanaman padi tertinggi pada konsentrasi 500 ppm AlCl₃ terdapat pada Pulut Linjuang (V₂₅) sebesar 0,0026 g. Sedangkan total rata-rata bobot kering akar terendah yaitu pada Ketan Huan (V₂₁) disusul IR64 (V₁) baik pada konsentrasi AlCl₃: 0 ppm, 250 ppm dan 500 ppm (Tabel 3).

Hasil analisis ragam pada bobot basah pucuk menunjukkan bahwa perlakuan cekaman Aluminium, kultivar padi lokal asal Kalimantan Timur yang digunakan dan juga interaksi diantara keduanya memberikan pengaruh tidak nyata. Rata-rata bobot basah pucuk pada berbagai kultivar tanaman padi lokal asal Kalimantan Timur disajikan pada Tabel 4. Rata-rata bobot basah pucuk tanaman padi tertinggi pada kondisi tidak tercekam aluminium atau konsentrasi Al 0 ppm AlCl₃ yaitu pada kultivar Ketan Putek Iting (V₂₃) sebesar 0,0676 g. Pada konsentrasi 250 ppm AlCl₃ berat basah pucuk tertinggi yaitu pada kultivar Pulut Linjuang (V₂₅) dengan nilai sebesar 0,0597 g. Pada konsentrasi aluminium 500 ppm AlCl₃ rata-rata berat basah pucuk tertinggi terdapat pada kultivar Pulut Mayang (V₂₄) sebesar 0,0420 g. Sedangkan rata-rata keseluruhan bobot basah pucuk terendah yaitu pada IR64 (V₁) disusul Ketan Huan dengan nilai berturut-turut 0,0120 g dan 0,0215 g.

Pada bobot kering pucuk, perhitungan hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi cekaman Al, kultivar tanaman padi lokal asal Kalimantan Timur serta interaksi keduanya berpengaruh tidak nyata. Rata-rata bobot kering pucuk tanaman padi tertinggi pada kondisi tidak tercekam aluminium atau konsentrasi Al 0 ppm yaitu pada Jala Mengo (V₃) sebesar 0,0109 g. Pada

konsentrasi 250 ppm AlCl₃ berat kering pucuk tertinggi yaitu pada Bentian (V₇) dengan nilai sebesar 0,0105 g. Pada konsentrasi 500 ppm AlCl₃ rata-rata berat kering tertinggi terdapat pada Mekongga (V₂) sebesar 0,0097 g. Sedangkan rata-rata keseluruhan bobot kering pucuk terendah yaitu pada IR64 (V₁) disusul Ketan Huan dengan nilai berturut-turut 0,0035 g dan 0,0045 g (Tabel 4).

Varietas IR64, kultivar Jala Mengo, Awang, Sungkai, Tumiyang, Melak, Mayas Kuning, Buyung, Ketalun Tawar, Ketan Huan, Ketan Lekatan dan kultivar Ketan Putek Iting, tergolong kultivar yang peka atau sensitif terhadap cekaman Aluminium baik pada konsentrasi 250 ppm (a₁) dan 500 ppm (a₂) AlCl₃. Hal itu ditunjukkan dari pertumbuhan akar relatif yang menurun pada konsentrasi aluminium 250 ppm (a₁) dan 500 ppm (a₂). Selain itu juga ditunjukkan dari morfologi akar pada kultivar yang sensitif Al menjadi menebal, kaku dan pendek serta pertumbuhan akar utama dan akar lateral terhambat (Gambar 1). Pengaruh Al yang tinggi menyebabkan pertumbuhan akar terhambat cukup kuat, juga mengakibatkan kerusakan sel terutama disekeliling sel-sel ujung akar (Clune dan Copeland, 1999). Konsentrasi Al sebesar 500 ppm selama satu minggu sudah cukup menyebabkan pertumbuhan abnormal pada akar lateral dari varietas yang sensitif. Cekaman Al yang tinggi dapat merusak sistem perakaran tanaman padi, hal ini terjadi karena pada pH 4 dibawah 5,0, Al berada dalam bentuk Al³⁺ yang bersifat toksik bagi akar tanaman terutama pada daerah dari ujung akar yang meliputi zona meristem dan pemanjangan akar sehingga daerah ini akan mengalami penebalan dan akar tumbuh lebih pendek (Roslim, *et al.*, 2010).

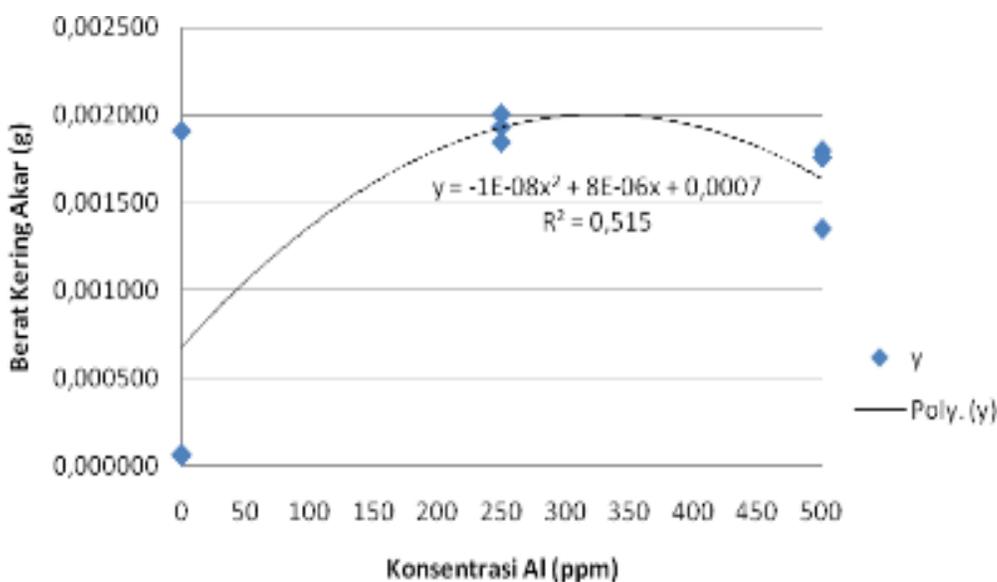
Tabel 4. Pengaruh cekaman Al terhadap bobot basah dan bobot kering pucuk tanaman padi lokal asal Kalimantan Timur dari kultivar yang berbeda

| Nama Kultivar | Berat Basah Pucuk | | | Rata-Rata | Berat Kering pucuk | | | Rata-Rata |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------|---------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------|
| | Perlakuan konsentrasi aluminium (ppm) | | | | Perlakuan konsentrasi aluminium (ppm) | | | |
| | a ₀ = 0 | a ₁ = 250 | a ₂ =500 | | a ₀ = 0 | a ₁ = 250 | a ₂ =500 | |
| | g | | | | | | | |
| V ₁ IR 64 | 0,0077 | 0,0129 | 0,0155 | 0,0120 | 0,0026 | 0,0037 | 0,0042 | 0,0035 |
| V ₂ Mekongga | 0,0395 | 0,0285 | 0,0302 | 0,0327 | 0,0080 | 0,0070 | 0,0097 | 0,0082 |
| V ₃ Jala Mengo | 0,0453 | 0,0395 | 0,0322 | 0,0390 | 0,0109 | 0,0093 | 0,0082 | 0,0095 |
| V ₄ Mayas | 0,0265 | 0,0216 | 0,0254 | 0,0245 | 0,0039 | 0,0063 | 0,0067 | 0,0056 |
| V ₅ Kawit | 0,0329 | 0,0276 | 0,0311 | 0,0305 | 0,0078 | 0,0068 | 0,0077 | 0,0074 |
| V ₆ Awang | 0,0168 | 0,0398 | 0,0336 | 0,0301 | 0,0092 | 0,0085 | 0,0069 | 0,0082 |
| V ₇ Bentian | 0,0486 | 0,0383 | 0,0340 | 0,0403 | 0,0096 | 0,0053 | 0,0079 | 0,0076 |
| V ₈ Ritam | 0,0327 | 0,0353 | 0,0299 | 0,0326 | 0,0067 | 0,0068 | 0,0087 | 0,0074 |
| V ₉ Bogor Hitam | 0,0362 | 0,0345 | 0,0309 | 0,0339 | 0,0041 | 0,0062 | 0,0053 | 0,0052 |
| V ₁₀ Bogor Putih | 0,0372 | 0,0358 | 0,0199 | 0,0310 | 0,0087 | 0,0079 | 0,0050 | 0,0072 |
| V ₁₁ Sungkai | 0,0380 | 0,0345 | 0,0238 | 0,0321 | 0,0069 | 0,0072 | 0,0068 | 0,0070 |
| V ₁₂ Tumiyang 1 | 0,0521 | 0,0437 | 0,0269 | 0,0409 | 0,0094 | 0,0101 | 0,0072 | 0,0089 |
| V ₁₃ Melak | 0,0470 | 0,0402 | 0,0320 | 0,0397 | 0,0075 | 0,0079 | 0,0079 | 0,0078 |
| V ₁₄ Bogor 1 | 0,0318 | 0,0392 | 0,0289 | 0,0333 | 0,0065 | 0,0079 | 0,0086 | 0,0077 |
| V ₁₅ Mayas Kuning | 0,0293 | 0,0234 | 0,0222 | 0,0250 | 0,0063 | 0,0047 | 0,0065 | 0,0058 |
| V ₁₆ Mayas Putih | 0,0252 | 0,0446 | 0,0236 | 0,0311 | 0,0070 | 0,0068 | 0,0050 | 0,0063 |
| V ₁₇ Buyung | 0,0361 | 0,0370 | 0,0237 | 0,0323 | 0,0077 | 0,0066 | 0,0069 | 0,0071 |
| V ₁₈ Serai Gunung | 0,0354 | 0,0324 | 0,0271 | 0,0316 | 0,0072 | 0,0060 | 0,0062 | 0,0065 |
| V ₁₉ Ketalun Tawar | 0,0293 | 0,0337 | 0,0287 | 0,0306 | 0,0074 | 0,0063 | 0,0070 | 0,0069 |
| V ₂₀ Ketan Putih | 0,0401 | 0,0408 | 0,0338 | 0,0382 | 0,0059 | 0,0078 | 0,0071 | 0,0069 |
| V ₂₁ Ketan Huan | 0,0117 | 0,0314 | 0,0215 | 0,0215 | 0,0065 | 0,0034 | 0,0035 | 0,0045 |
| V ₂₂ Ketan Lekatan | 0,0600 | 0,0472 | 0,0299 | 0,0457 | 0,0039 | 0,0092 | 0,0062 | 0,0064 |
| V ₂₃ Ketan Putek Iting | 0,0676 | 0,0489 | 0,0314 | 0,0493 | 0,0052 | 0,0082 | 0,0069 | 0,0068 |
| V ₂₄ Pulut Mayang | 0,0428 | 0,0519 | 0,0420 | 0,0456 | 0,0076 | 0,0087 | 0,0087 | 0,0083 |
| V ₂₅ Pulut Linjuang | 0,0522 | 0,0597 | 0,0281 | 0,0467 | 0,0097 | 0,0101 | 0,0068 | 0,0089 |
| Rata-rata | 0,0369 | 0,0369 | 0,0283 | | 0,0070 | 0,0072 | 0,0069 | |

Sebaliknya pada kultivar yang toleran Al akar utama dan akar lateral masih dapat tumbuh dengan baik (Gambar 1). Adanya sifat toleransi pada akar mampu memberikan efisiensi dalam penyerapan unsur hara lain seperti unsur N, P, K. Selain itu juga mampu menurunkan keracunan H^+ dan juga meningkatkan aktivitas akar dalam penyerapan P (Osaki, *et al.*, 1997).

Nilai indeks sensitivitas (S) terhadap pertumbuhan pucuk relatif menunjukkan bahwa kultivar Mekongga, Bentian, Bogor I, Pulut Mayang dan Pulut Linjuang merupakan kultivar yang tergolong toleran terhadap cekaman aluminium baik pada konsentrasi 250 ppm maupun 500 ppm. Pada kultivar-kultivar yang sensitif terlihat bahwa terjadi penurunan pertumbuhan pucuk relatif yang signifikan

seperti pada Gambar 1. Matsunaga, *et al.*, (1998) juga menyatakan bahwa pada tanaman akumulator Al tampak bahwa Al malah menunjukkan kondisi positif memacu akumulasi unsur lain seperti P dan S di daun. Contoh tanaman ini adalah famili *Cornaceae*, *Euphorbiaceae*, *Fagaceae*, *Lauraceae*, *Mdastomataceae*, *Myrtaceae*, *Polygalaceae*, *Proteaceae*, *Rubiaceae* dan *Theaceae*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa tanaman yang toleran Al memiliki efisiensi dalam penyerapan unsur hara lain. selain itu didapatkan bahwa tanaman akumulator Al ekstrem tinggi $> 10 \text{ g kg}^{-1}$ menunjukkan akumulasi Al tidak hanya pada daun tua namun juga pada daun muda.



Gambar 2. Regresi hubungan konsentrasi aluminium dengan berat kering akar

Pada berbagai penelitian, bahwa efek dari keracunan Al dapat dikatakan paling berat menyerang akar. Akar dijadikan parameter yang paling utama dalam menyeleksi tanaman toleran atau tidak, karena dengan sangat signifikan Al mengganggu pertumbuhan akar. Terdapat 52% kultivar padi lokal asal Kalimantan Timur yang dinyatakan sensitif berdasarkan nilai indeks sensitivitas untuk

kategori pengamatan akar, hal itu juga menunjukkan 36% kategori yang sama pada pengamatan pucuk. Sementara pada sebagian tanaman lainnya menunjukkan bahwa indeks sensitivitas toleransi terhadap Al pada parameter pucuk ini meningkat satu level dibanding akar. Data menunjukkan bahwa tidak semua kultivar yang sebelumnya dikategorikan toleran dan moderat Al pada

pucuk juga dapat digolongkan toleran dan moderat Al pada akar. Varietas tersebut adalah Bogor I, Melak, Ketalun Tawar dan Ketan Huan. Hal tersebut karena akar merupakan bagian yang pertama kontak dengan Al dan reaksinya lebih cepat (Ryan, *et al.*, 1993). Artinya bahwa dampak cekaman Al pada akar lebih besar dibanding pucuk. Jika pada akar dikatakan sensitif, maka pada pucuk pertumbuhannya terlihat cukup baik dengan katagori toleran atau moderat.

Pada berat basah dan berat kering akar terlihat bahwa IR64 dan Ketan Huan memiliki rata-rata bobot akar yang rendah dibanding rata-rata bobot akar dari kultivar lainnya. Hal tersebut membuktikan bahwa IR64 dan Ketan Huan merupakan kultivar yang sensitif dilihat dari parameter berat basah dan berat kering akar. Hal ini disebabkan karena kultivar tersebut tidak memiliki kemampuan beradaptasi terhadap kadar Al yang tinggi. Perlakuan Al tinggi menyebabkan kerusakan akar lebih parah sehingga mengakibatkan penurunan panjang dan berat akar lebih besar jika dibandingkan dengan tanaman kelompok toleran Al (Hanum, *et al.*, 2009). Data pengamatan dari beberapa parameter menunjukkan bahwa IR64 merupakan varietas yang sensitif Al. Pada berbagai penelitian juga diketahui bahwa varietas IR64 merupakan varietas yang sensitif Al (Nguyen, *et al.*, 2003). Hal ini terlihat juga dari perhitungan nilai indeks sensitivitas pada pengamatan *Relative Root Growth* (RRG) ataupun *Relative Shoot Growth* (RRG) menunjukkan bahwa IR64 dan Ketan Huan selalu tergolong pada kultivar yang sensitif.

Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi aluminium dengan berat kering akar yang diperoleh adalah $y = -1.10^{-8} x^2 + 8.10^{-06} x + 0,0007$, hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi aluminium yang diberikan maka semakin menurun berat kering akar yang dihasilkan. Pada grafik diatas (Gambar 2), menunjukkan bahwa nilai

optimum konsentrasi aluminium terhadap berat kering akar yaitu 400 ppm dengan nilai berat kering akar sebesar 0,0023 gram.

Besarnya pengaruh cekaman aluminium terhadap penurunan biomassa akar disebabkan karena Al menghambat penyerapan dan penggunaan hara. Pada kultivar Pulut Linjuang terlihat bahwa kultivar yang dikategorikan toleran berdasarkan indeks sensitivitas memiliki rata-rata bobot akar yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kultivar toleran memiliki kemampuan untuk menekan pengaruh buruk cekaman aluminium. Pineros, *et al.*, (2005), menyatakan bahwa kultivar yang toleran dapat mengubah kondisi daerah perakaran dan mempunyai kemampuan untuk menekan pengaruh buruk cekaman Al dengan cara meningkatkan pH di daerah perakaran (*rhizosfer*), mengeluarkan asam organik melalui akar untuk mengikat Al^{3+} dan menghindari pengaruh Al terhadap dinding sel serta membran.

Data hasil pengamatan berat basah pucuk maupun berat kering pucuk menunjukkan bahwa IR64 memiliki rata-rata berat pucuk yang terendah disusul kultivar Ketan Huan. Penurunan berat pucuk disebabkan oleh pengaruh tidak langsung dari terganggunya pertumbuhan akar. Kerusakan struktur dan fungsi akar menyebabkan berkurangnya kemampuan akar menyerap hara yang tersedia untuk ditranslokasi ke bagian tajuk berkurang (Hanum, *et al.*, 2009). Sedangkan pada kultivar lainnya yang memiliki bobot pucuk lebih tinggi diduga karena memiliki laju pertumbuhan tajuk yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan penjelasan Blum, *et al.*, (1997) yang menyatakan bahwa perbedaan pertumbuhan tajuk dapat disebabkan oleh perbedaan laju (pertumbuhan) pembentukan sel-sel meristematik, terutama daun yang nantinya akan mempengaruhi kemampuan fotosintesis dan akumulasi bahan organik yang akhirnya akan berakibat pada pertumbuhan bagian atas tanaman.

Pengaruh cekaman Aluminium pada fase awal pertumbuhan (perkecambahan) mudah dikenali dengan mengamati perakarannya, karena akar adalah bagian tanaman yang secara langsung terpengaruh oleh keracunan Al. Berbeda jika dilihat dari pucuk tanaman padi, secara morfologis tidak menunjukkan adanya perubahan pada kultivar yang sensitif, kecuali apabila tanaman padi diberikan cekaman Al dalam fase pertumbuhan yang lama. Hal ini ditunjukkan pada penelitian Roslim, *et al.*, (2010) menyatakan bahwa pada pengamatan hari ke-45 IR64 yang tergolong kultivar sensitif Al mengalami kerusakan daun paling parah dimulai dengan menguningnya ujung daun, selanjutnya daun yang menguning berubah menjadi merah atau cokelat pada seluruh helaian daun, hingga daun mulai layu dan mati.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan yaitu cekaman

DAFTAR PUSTAKA

- Paul, R.E and O. Duarte. 2011. Tropical fruits 2nd ed. *Experimental Agriculture*. 47(4): 734.
- Rahmawati, M., dan R. Hayati. 2013. Pengelompokan Berdasarkan Karakter Morfologi Vegetatif pada Plasma Nutfah Pisang Asal Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Agrista*. 17(3):111-118.
- Blum, A., C.Y. Sullivan, and H.T. Nguyen. 1997. *The Effect of Plant Size on Wheat Respons to Agents of Drought Stress*. Water Difisit, Head and ABA. *Aust J. Plant Physiol*. 107: 315-321.
- Clune, T.S., and L. Copeland. 1999. *Effect of Aluminium on Canula Roots*. *Plant and Soil*. 216:27-33.
- Aluminium yang diberikan pada tanaman padi ladang lokal asal Kalimantan Timur menyebabkan terganggunya pertumbuhan padi terutama pada bagian akar. Pemberian kadar Aluminium baik pada konsentrasi 250 ppm maupun 500 ppm dapat menurunkan pertumbuhan akar relatif dan secara morfologis dapat merusak sistem perakaran, sehingga akar mengalami penebalan dan akar tumbuh lebih pendek. Demikian pula dilihat dari parameter pucuk, dimana terjadi penurunan pertumbuhan pucuk relatif pada kondisi tercekam aluminium.
- Kultivar tanaman padi lokal asal Kalimantan Timur yang toleran terhadap cekaman Aluminium baik pada konsentrasi 250 ppm maupun 500 ppm yaitu varietas Mekongga, Pulut Mayang, dan Pulut Linjuang. Sedangkan varietas yang hanya tergolong toleran terhadap cekaman Aluminium pada konsentrasi 250 ppm yaitu varietas Kawit, Bentian, Mayas Putih, dan Ketan Putih.
- Hanum, C, Q.M. Wahyu, Y. Sudirman, S. Didy, I. Komaruddin, dan Y. Sudirman. 2009. *Penapisan Kedelai Toleran Cekaman Aluminium dan Kekeringan*. Program Studi Agronomi, Forum Pascasarjana IPB, Bogor.
- Muljadi, D dan S. Arsjad. 1967. Peranan Faktor Tanah Dalam Perencanaan Landuse. Seminar Tata Guna Sumber-Sumber Alam Pertama, Jakarta.
- Osaki, M., T Watanabe, and T. Tadano. 1997. *Beneficial effect of aluminum on growth of plants adapted to low pH soils*. *Soil Sci. Plant Nutr*. 43(3):551-563.

- Pineros, M.A., J.E. Shaff, H.S. Manslank, V.M.C. Alves and L.V. Kochain. 2005. *Aluminium Resistance in Maize Cannot Solely Explain by Root Organic Acid Exudation*. A Comparative Physiological Study. *Plant Physiology*. 137:231-241.
- Purnamaningsih, R. 2006. *Induksi Kalus dan Optimasi Regenerasi Empat Varietas Padi Melalui Kultur In Vitro*. Balai Besar Penelitian dan Pengawasan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian. *Jurnal AgroBiogen* 2(2):74-80.
- Roslim, D.I., Miftahudin, U. Suharsono, H. Aswidinnoor, dan A. Hartana. 2010. *Karakter Root Re-Growth Sebagai Parameter Toleransi Aluminium pada Tanaman Padi*. Departemen Biologi, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor dan Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. *Jurnal Natur Indonesia*.
- Rusdi, M., M. Amran, N. Abdi, dan B. Ruslan. 2009. *Profil dan Analisis Ekonomi Ushatani Padi Gogo di Kabupaten Banggai Sulawesi Tengah*. Prosiding Seminar Nasional dan Workshop Inovasi Teknologi Pertanian yang Berkelanjutan Mendukung Pengembangan Agribisnis dan Agroindustri di Pedesaan. Palu, 10-11 November 2009.
- Ryan, P R., J.M. Ditosomo, and L.V.Kochian. 1993. *Aluminium Toxicity in Roots*. An Investigation of Spatial Sensitivity and the Role of The Cap. *J. Exp. Bot.* 44 (259):437-226.
- Subagyo, H., S. Nata, dan B. Agus. 2000. *Tanah-tanah pertanian di Indonesia*. hlm. 21-66 dalam Buku Sumber daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sudjadi, M. 1984. *Problem Soil in Indonesia and Their Management*. hlm. 14-26 dalam L. Pricharda *et al*, editor. *Ecology and Management of Problem Soil in Asia*. Food and Fertility Tech. Center for Asia and Pasific Region, Taiwan.