

Ketenggangan Genotipe Jagung (*Zea mays* L.) Terhadap Cekaman Aluminium

Tolerance of Maize Genotypes to Aluminum Stress

Syafruddin^{1*}, Didy Sopandie² dan Trikoesoemaningtyas²

Diterima 11 Januari 2004/Disetujui 1 Pebruari 2006

ABSTRACT

Aluminum (Al) toxicity is the main yield-limiting factor for maize growing on acid soils of tropical regions. This experiment was conducted to screen maize (*Zea mays* L) genotypes under Al stress in culture solution. The experiment was arranged in a split plot design with three replications. The main plots were Al concentrations (0, 2.5, 5 10, 20, and 40 ppm Al), and the sub plots were 22 maize genotypes. The results indicated that the genotype AMATL-(HS).C2, SATP-(S2)-C6-S0, MRSS-1(S1).C1-29-1, and MRSS-1(S1).C1-57-1 were more tolerant to Al-toxicity than the other genotypes including Antasena. The growth of Al-tolerant genotypes under low concentration of Al (2.5 ppm Al) was stimulated. The Concentration of 5 - 10 ppm Al in nutrient solution was adequate to separate genotypes between tolerant and sensitive genotypes in screening maize genotypes under Al stress. Relative net root length and relative root length were the best variable to be used as Al-tolerance indicators.

Key words: Maize, Al-tolerance, Al-toxicity

PENDAHULUAN

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).

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 tenggang. 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 ketenggangan terhadap Al. Salah satu metode untuk mempercepat dan mempermudah pengujian ketenggangan tanaman terhadap cekaman Al adalah dengan menumbuhkan pada media kultur air yang mengandung larutan hara.

Untuk dapat memisahkan antara tanaman yang tenggang dan peka diperlukan konsentrasi yang tepat dan tolok ukur serta kriteria yang digunakan. Beberapa penelitian menggunakan panjang akar relatif dengan batas 50% dianggap tenggang, seperti pada kedelai (Sopandie *et al.*, 2000) dan pada padi (Jagau, 2001).

Penelitian ini bertujuan 1) menentukan tingkat ketenggangan genotipe jagung yang diuji 2) mendapatkan konsentrasi pengujian cekaman Al, tolok ukur dan kriteria yang dapat memisahkan tanaman jagung yang tenggang dan peka terhadap Al.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2001 di Rumah Kaca Balai Penelitian Bioteknologi dan Genetika (Balitbiogen) Bogor. Sebanyak 22 genotipe ditumbuhkan di larutan hara sesuai dengan larutan yang dikembangkan oleh Maqnavaca 1982 (Urrea-Gomez *et al.*, 1996), yaitu : Ca 141.1; Mg 20.8; N-NO₃ 152; N-NH₄ 18.2; P 1.4; K 91.8; S 18.79; Cl 21.05; Fe 4.3;

¹ Peneliti Balai penelitian Tanaman Serealia, Jl. Dr. Ratulangi No. 274 Maros, Sul-Sel

(* Penulis untuk korespondensi)

² Staf Pengajar Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB, Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 Telp/Fax (0251) 629353

Mn 0.5; B 0.27; Zn 0.15; Cu 0.04; Mo 0.08; Na 0.04 masing-masing dalam ppm. Sebagai sumber Al adalah $AlCl_3 \cdot 6 H_2O$. Ke 22 genotipe tersebut terdiri dari 8 varietas/populasi, 3 galur murni, dan 11 galur S2. Varietas dan populasi, yaitu: Sitiung Aluminium Tolerance Population (SATP)-2-(S2)-C6, SATP-1-(C2)-C6, Asian Mildew Acid Tolerance Late (AMATL)-(HS)-C2, AMATL-(S1).C3, Antasena, Bisma, Lokal Koasa, dan Lokal Delima. Lima populasi pertama telah diseleksi untuk ketahanan terhadap keracunan Al. Galur murni yang digunakan, yaitu : CYMMIT Maize Line (CML)358, CML364, dan CML359, Sedangkan galur S2, yaitu :Barambai Komposit (BK)-(HS1)-C2-5-1, BK-(HS1)-C2-11-1, BK-(HS1)-C2-55-1, BK-(HS1)-C2-113-1, BK-(HS1)-C2-129-1, AMATL-(S1).C2-43-1, Maros Sintetis (MRSS)-1(S1)C1-20-1, MRSS-1(S1)C1-21-1, MRSS-1(S1)C1-29-1, MRSS-1(S1)C1-57-1, MRSS-1(S1)C1-123-1. Galur BK telah diseleksi pada lingkungan pH rendah di Kalimantan Selatan dan AMATL terhadap keracunan Al di Sitiung Sumbawa. Sebagai sumber Al adalah $AlCl_3 \cdot 6 H_2O$.

SATP adalah populasi yang dibentuk dari populasi SA3 (South Amerika) yang diintrogresi dengan populasi lainnya antara lain pop 28, TEY DMR pool 3-HS, TLY DMR pool C3-HS dan Kalingga. Populasi AMATL berasal dari hasil persilangan SA3 dengan materi tahan bulai yang berasal dari Thailand, Filipina, dan Indonesia antara lain adalah Suwan 3, pop31 DMR-C4-HS, Kalinga, LY DMR, EY DMR dan CMS30 (Kasim, 2004). Populasi BK adalah populasi yang dibentuk dari hasil persilangan SA5 (SA5 salah satu induknya adalah SA3) dengan pop28, AMATL dan SATP. SA3 adalah populasi yang tenggang terhadap Al sedangkan SA5 adalah peka/sensitif terhadap Al (Pelet *et al.*, 1995). Populasi MRSS dibentuk dari hasil persilangan populasi AC9 dengan beberapa populasi EY (Yasin, 2004). Populasi SATP dan AMATL yang digunakan dalam penelitian ini adalah populasi hasil seleksi di Sitiung (Sumatera Barat) dan di Barambai (Kalimantan Selatan), sedangkan MRSS dan BK diseleksi di Barambai. Kedua lokasi ini adalah lahan masam dengan tingkat kejenuhan Al 65% di Sitiung dan 70% di Barambai (Balitseral, 2002; Yasin *et al.*, 2002). CML358 dan CML359 diekstrak dari SA3 sedangkan CML364 diekstrak dari SA5 (CIMMYT, 2002). Varietas Lokal Koasa dan Lokal Delima adalah koleksi plasma nutfah Balitbiogen masing-masing berasal dari pertanaman petani di Sulawesi Selatan dan Sumatera Utara (Balitbiogen, 2002). Varietas Antasena berasal dari populasi SA3 dan diseleksi di Colombia pada $pH < 5$ dan kejenuhan Al $> 55\%$. Bisma merupakan varietas hasil persilangan pol 4 dengan varietas introduksi yang toleran terhadap kemasaman.

Benih dikecambahkan pada media pasir selama 6 hari. Sebanyak 4 kecambah yang seragam ditumbuhkan selama 14 hari pada media kultur air yang berisi larutan

hara dengan volume 1.5 l/tanaman. Setiap 2 hari larutan hara diukur volume dan pHnya. Volume larutan dipertahankan sesuai dengan volume awal dengan penambahan aquades, sedangkan pH dipertahankan pada skala 4.0 ± 0.1 menggunakan larutan NaOH 1 N atau HCl 1 N. Selama pertumbuhan tanaman, media dialiri oksigen menggunakan aerator.

Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok yang disusun secara petak terpisah. Sebagai petak utama adalah 6 taraf cekaman Al, yaitu : 0 ppm (tanpa Al), 2.5 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 40 ppm Al. Sebagai anak petak adalah 22 genotipe jagung, Setiap unit percobaan diulang 3 kali.

Peubah yang dianalisis adalah panjang akar, panjang akar relatif (PAR), pertambahan panjang akar relatif (PPAR), bobot akar relatif (BAR), bobot pucuk relatif (BPR). Untuk mendapatkan data tersebut dilakukan pengamatan panjang akar awal/sebelum ditumbuhkan pada larutan hara (PAA), panjang akar setelah ditumbuhkan pada larutan hara yang mengandung Al (PAAIn, Aln tergantung konsentrasi Al) dan yang tanpa Al (PAAlo), bobot akar dengan larutan Al (BAAIn) bobot akar pada larutan tanpa Al (BAAlo), dan bobot tajuk dengan larutan Al (BTAIn) dan bobot tajuk dengan larutan tanpa Al (BTAlo), kemudian dilakukan perhitungan menurut Baligar *et al.* (1989) sebagai berikut:

$$PAR (\%) = PAAIn / PAAlo \times 100$$

$$PPAR (\%) = (PAAIn - PAA) / (PAAlo - PAA) \times 100$$

$$BAR (\%) = BAAIn / BAAlo \times 100$$

$$BTR (\%) = BTAIn / BTAlo \times 100$$

Apabila terdapat interaksi antara genotipe dengan konsentrasi Al, maka analisis dilanjutkan dengan mengelompokkan tingkat ketenggangannya. Setiap genotipe dikelompokkan dalam 3 kategori, yaitu: (1) tenggang mempunyai nilai $\bar{X} + SE t(\text{tabel})$, (2) moderat-tenggang nilai antara $\bar{X} - SE t(\text{tabel})$ dengan $\bar{X} + SE t(\text{tabel})$, dan (3) peka dengan nilai $\bar{X} - SE t(\text{tabel})$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Interaksi antara Al dengan genotipe hanya terjadi terhadap peubah panjang akar relatif (PAR), pertambahan panjang akar relatif (PPAR), bobot akar relatif (BAR), dan bobot tajuk relatif (BTR). Sedangkan panjang akar tidak terjadi interaksi (Tabel 1). Adanya interaksi tersebut menunjukkan bahwa tingkat ketenggangannya Al antar genotipe berdasarkan nilai PAR, PPAR, BAR, dan BTR berbeda pada setiap konsentrasi. Oleh karena itu hanya data PAR, PPAR, BAR dan BTR yang dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui tingkat ketenggangannya terhadap Al.

Tabel 1. Sidik ragam panjang akar, panjang akar relatif (PAR), pertambahan panjang akar relatif (PPAR), bobot akar relatif (BAR), dan bobot tajuk relatif (BTR)

| Sumber Keragaman | Kuadrat Tengah | | | | |
|------------------|----------------|----------|-----------|----------|----------|
| | Panjang akar | PAR | PPAR | BAR | BTR |
| Kelompok | 1058** | 2 844** | 348tn | 75tn | 1 545** |
| Aluminium (Al) | 5383** | 36 735** | 113 977** | 50 308** | 50 319** |
| Acak A | 204 | 537 | 513 | 434 | 1 088 |
| Genotipe (G) | 166** | 1 606** | 922** | 1 737** | 1 738** |
| Al x G | 16 tn | 459** | 252** | 286** | 335** |
| Acak B | 16 | 109 | 93 | 392 | 255 |
| Total | 13 | 58 | 1 633 | 193 | 1 016 |
| KK (%) | 13 | 11 | 19 | 20 | 21 |

Keterangan :

tn = tidak nyata

* = Nyata pada taraf 0.05

** = Nyata pada taraf 0.01

Berdasarkan nilai PAR, ketenggangan tanaman terhadap Al dapat dikelompokkan sebagai berikut: tenggang (PAR >73.7%), moderat-tenggang (PAR 69 – 73.7 %), dan peka (<69%). 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) .

Secara umum makin tinggi konsentrasi Al, tingkat ketenggangan tanaman berdasarkan nilai PAR makin peka. Pada pemberian 2.5 ppm Al beberapa genotipe mempunyai nilai PAR lebih tinggi dibanding tanpa Al terutama pada genotipe AMATL-(HS).C2, BK-(HS).C2-113-1, dan MRSS-1(S1).C1-57-1 dengan nilai PAR ±12 % lebih tinggi dibanding tanpa Al (Tabel 2). Pada konsentrasi 5 dan 10 ppm Al terjadi pemisahan antara genotipe tenggang dan peka, sedangkan pada konsentrasi 20 dan 40 ppm Al semua genotipe tergolong peka. Genotipe AMATL-(HS).C2 dan MRSS-1(S1).C1-29-1 tenggang hingga 10 ppm Al. Genotipe SATP-1(S2).C6, BK-(HS).C2-55-1, AMATL-(S1).C2-43-1, dan Antasena tenggang pada 5 ppm Al tetapi moderat tenggang pada 10 ppm Al. Genotipe BK-(HS).C2-11-1, BK-(HS).C2-113-1, AMATL-(S1).C3, MRSS-1(S1).C1-21-1, MRSS-1(S1).C1-57-1 tenggang hingga 5 ppm Al dan genotipe BK-(HS).C2-5-1 moderat tenggang hingga pada 5 ppm Al. Genotipe lainnya peka pada 5 ppm Al (Tabel 2).

Nilai peubah PPAR menurun dengan meningkatnya konsentrasi Al, kecuali pada konsentrasi 2.5 ppm Al

beberapa genotipe justru mempunyai PPAR yang lebih tinggi dibanding dengan tanpa Al. Genotipe tersebut adalah AMATL-(HS1)-C2, BK-(HS).C2-113-1, dan MRSS-1(S1).C1-57-1 yang mempunyai nilai PPAR masing 24, 38, dan 18% lebih tinggi dibanding dengan tanpa Al (Tabel 3).

Hasil uji t terhadap PPAR menunjukkan bahwa ketenggangan terhadap Al setiap genotipe jagung dapat dikelompokkan ke dalam: 1) tenggang (PPAR >54.5%). 2) moderat-tenggang (PPAR 46.6 – 54.5%), dan 3) peka (<46.6%). Berdasarkan peubah PPAR, semua genotipe tergolong tenggang pada konsentrasi Al 2.5 ppm. Tingkat ketenggangan terhadap Al antara genotipe akan beragam pada konsentrasasi 5 dan 10 ppm Al, akan tetapi jika konsentrasi Al ditingkatkan menjadi 20 ppm Al maka semua genotipe tergolong peka. Genotipe SATP-1(S2).C6 dan AMATL-(HS).C2 tenggang hingga konsentrasi 10 ppm Al. Genotipe SATP-1(S2).C6, BK-(HS).C2-113-1, BK-(HS).C2-11-1, BK-(HS).C2-55-1, AMATL-(HS).C2-43-1, AMATL-(S1).C3, MRSS-1(S1).C1-21-1, MRSS-1(S1).C1-57-1, Antasena, dan Bisma hanya tenggang pada konsentrasi 5 ppm Al dan peka pada 10 - 40 ppm Al. Genotipe SATP-2(S2).C6 tergolong moderat-tenggang pada konsentrasi 5 dan 10 ppm Al. Genotipe SATP-2(S2).C6, BK-(HS).C2-129-1, MRSS-1(S1).C1-123-1, Lokal Koasa dan Lokal Delima moderat tenggang pada konsentrasi 5 ppm Al dan peka pada 10 ppm Al. Genotipe lainnya tergolong peka walaupun pada konsentrasi 5 ppm Al (Tabel 3).

Tabel 2. Tingkat ketenggangan genotipe jagung pada berbagai konsentrasi Al berdasarkan panjang akar relatif (PAR)

| No | Genotipe | Aluminium (ppm) | | | | |
|--------------------------|---------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2.5 | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Varietas/Populasi | | % | | | | |
| 1. | SATP-2(S2).C6 | 86.9 T | 64.8 P | 67.8 P | 44.9 P | 41.3 P |
| 2. | SATP-1(S2).C6 | 107.9 T | 78.7 T | 69.9 M | 52.7 P | 37.1 P |
| 3. | AMATL-(HS).C2 | 114.4 T | 91.1 T | 81.6 T | 59.3 P | 55.1 P |
| 4. | AMATL-(S1).C3 | 98.0 T | 76.0 T | 58.6 P | 42.6 P | 42.0 P |
| 5. | Antasena | 93.2 T | 77.3 T | 73.1 M | 49.7 P | 45.0 P |
| 6. | Bisma | 85.9 T | 75.4 T | 50.3 P | 38.3 P | 35.9 P |
| 7. | Lokal Koasa | 97.8 T | 74.8 T | 61.9 P | 48.0 P | 47.4 P |
| 8. | Lokal Delima | 92.8 T | 68.6 P | 56.2 P | 43.6 P | 44.4 P |
| Galur Murni | | | | | | |
| 9. | CML 358 | 77.1 T | 60.8 P | 57.9 P | 40.1 P | 41.0 P |
| 10. | CML364 | 82.8 T | 60.2 P | 59.2 P | 44.2 P | 42.0 P |
| 11. | CML359 | 93.0 T | 64.7 P | 63.4 P | 43.7 P | 41.3 P |
| Galur S2 | | | | | | |
| 12. | BK-(HS).C2-5-1 | 94.5 T | 73.5 M | 67.3 P | 53.5 P | 51.6 P |
| 13. | BK-(HS).C2-11-1 | 87.2 T | 75.0 T | 62.9 P | 44.2 P | 41.9 P |
| 14. | BK-(HS).C2-113-1 | 113.1 T | 75.2 T | 64.4 P | 55.7 P | 43.6 P |
| 15. | BK-(HS).C2-129-1 | 91.3 T | 67.1 P | 61.4 P | 49.6 P | 44.1 P |
| 16. | BK-(HS).C2-55-1 | 104.9 T | 85.5 T | 69.2 M | 54.2 P | 44.9 P |
| 17. | AMATL-(S1).C2-43-1 | 104.6 T | 83.5 T | 70.8 M | 56.0 P | 55.3 P |
| 18. | MRSS-1(S1).C1-20-1 | 99.3 T | 64.2 P | 60.1 P | 46.8 P | 46.2 P |
| 19. | MRSS-1(S1).C1-21-1 | 92.7 T | 76.7 T | 57.7 P | 47.2 P | 46.5 P |
| 20. | MRSS-1(S1).C1-29-1 | 102.9 T | 77.4 T | 75.2 T | 56.8 P | 56.8 P |
| 21. | MRSS-1(S1).C1-57-1 | 112.4 T | 81.6 T | 54.2 P | 44.0 P | 42.1 P |
| 22. | MRSS-1(S1).C1-123-1 | 102.2 T | 80.7 T | 64.2 P | 45.2 P | 41.0 P |

T (tenggang > 73,7%), M (moderat-tenggang 69 – 73,7%), dan P (peka < 69%) berdasarkan uji t taraf 0,05

Tabel 3. Tingkat ketenggangan genotipe jagung pada berbagai konsentrasi Al berdasarkan pertambahan panjang kkar relatif (PPAR)

| No | Genotipe | Aluminium (ppm) | | | | |
|--------------------------|-----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2.5 | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Varietas/Populasi | | % | | | | |
| 1. | SATP-2(S2).C6 | 80.5 T | 48.7 M | 54.4 M | 16.6 P | 9.6 P |
| 2. | SATP-1(S2).C6 | 111.5 T | 70.3 T | 55.8 T | 30.0 P | 3.8 P |
| 3. | AMATL-(HS).C2 | 138.0 T | 83.6 T | 63.8 T | 10.3 P | 10.3 P |
| 4. | AMATL-(S1).C3 | 97.7 T | 61.2 T | 29.6 P | 2.2 P | 1.7 P |
| 5. | Antasena | 100.2 T | 57.9 T | 44.6 P | 6.0 P | 4.6 P |
| 6. | Bisma | 80.9 T | 66.4 T | 29.0 P | 6.4 P | 3.7 P |
| 7. | Lokal Koasa | 96.6 T | 53.3 M | 29.8 P | 2.6 P | 3.5 P |
| 8. | Lokal Delima | 88.0 T | 52.5 M | 26.5 P | 4.0 P | 4.4 P |
| Galur Murni | | | | | | |
| 9. | CML 358 | 61,1 T | 37,7 P | 28,0 P | 4,2 P | 2,9 P |
| 10. | CML364 | 66,7 T | 29,6 P | 28,2 P | 3,2 P | 0,0 P |
| 11. | CML359 | 91,4 T | 38,0 P | 40,5 P | 7,0 P | 1,9 P |
| Galur S2 | | | | | | |
| 12. | BK-(HS).C2-5-1 | 87.1 T | 50.3 M | 38.1 P | 10.2 P | 5.8 P |
| 13. | BK-(HS).C2-11-1 | 79.6 T | 59.2 T | 39.5 P | 9.0 P | 6.1 P |

Tabel 3 (Lanjutan).

| No | Genotipe | Aluminium (ppm) | | | | |
|-----|---------------------|-----------------|--------|--------|--------|-------|
| | | 2.5 | 5 | 10 | 20 | 40 |
| 14. | BK-(HS).C2-113-1 | 124.0 T | 60.7 T | 41.1 P | 27.2 P | 7.9 P |
| 15. | BK-(HS).C2-129-1 | 86.1 T | 47.3 M | 34.4 P | 14.5 P | 7.3 P |
| 16. | BK-(HS).C2-55-1 | 107.2 T | 72.9 T | 45.2 P | 21.8 P | 7.6 P |
| 17. | AMATL-(S1).C2-43-1 | 107.1 T | 66.5 T | 27.8 P | 8.7 P | 4.2 P |
| 18. | MRSS-1(S1).C1-20-1 | 101.5 T | 34.6 P | 24.9 P | 1.9 P | 0.0 P |
| 19. | MRSS-1(S1).C1-21-1 | 85.9 T | 58.9 T | 21.4 P | 0.7 P | 0.0 P |
| 20. | MRSS-1(S1).C1-29-1 | 110.9 T | 53.0 M | 41.1 P | 0.0 P | 0.0 P |
| 21. | MRSS-1(S1).C1-57-1 | 118.2 T | 73.1 T | 25.3 P | 9.8 P | 7.5 P |
| 22. | MRSS-1(S1).C1-123-1 | 104.2 T | 66.3 M | 35.5 P | 8.8 P | 2.2 P |

T (tenggang > 54.5%), M (moderat-tenggang 46.6 – 54.5%), dan P (peka < 46.6%) berdasarkan uji t taraf 0.05

Bobot akar relatif (BAR) juga meningkat dengan pemberian 2,5 ppm Al terutama genotipe BK-(HS).C2-113-1, AMATL-(HS).C2, AMATL-(S1).C2-43-1, dan MRSS-1(S1).C1-57-1. Nilai BAR genotipe tersebut lebih tinggi 23 – 36% dibanding tanpa Al. Peningkatan konsentrasi Al di atas 2.5 ppm akan menyebabkan semakin rendahnya nilai BAR dari semua genotipe (Tabel 4).

Berdasarkan hasil uji t terhadap nilai BAR, ketenggangan Al setiap genotipe dapat dikelompokkan: 1) tenggang (BAR > 71.2%), 2) moderat-tenggang (BAR 65.2 – 71.2%), dan 3) peka (< 65.2%). Semua genotipe tergolong tenggang pada konsentrasi 2.5 ppm Al dan peka pada konsentrasi > 20 ppm Al, kecuali genotipe MRSS-1(S1).C1-57-1 yang masih tenggang hingga pada konsentrasi 20 ppm Al. Pada konsentrasi 5-10 ppm terjadi pemisahan antara genotipe tenggang dengan genotipe peka. Genotipe MRSS-1(S1).C1-29-1 tenggang pada konsentrasi 5 dan 10 ppm Al. Genotipe

AMATL-(HS).C2 dan AMATL-(S1).C2-43-1 tenggang pada konsentrasi 5 ppm Al dan moderat-tenggang pada 10 ppm Al. Genotipe SATP-1(S2).C6, BK-(HS).C2-5-1, BK-(HS).C2-113-1, BK-(HS).C2-55-1, BK-(HS).C2-113-1, AMATL-(S1).C3, MRSS-1(S1).C1-20-1, MRSS-1(S1).C1-123-1, CML364, dan lokal Delima tenggang pada konsentrasi 5 ppm Al dan peka pada 10 ppm Al. Genotipe MRSS-1(S1).C1-21-1 dan Antasena tergolong moderat-tenggang. Genotipe lainnya sudah tergolong peka pada konsentrasi 5 ppm Al (Tabel 4).

Pemberian 2.5 ppm Al juga meningkatkan bobot tajuk pada beberapa genotipe. Genotipe AMATL-(HS).C2, BK-(HS).C2-113-1, AMATL-(S1).C2-43-1, dan MRSS-1(S1).C1-21-1 yang mempunyai nilai BTR 36% lebih tinggi dibanding tanpa Al. Nilai BTR semakin menurun dengan meningkatnya konsentrasi Al di atas 2.5 ppm, namun demikian tingkat penurunan pada setiap kenaikan konsentrasi bervariasi antar genotipe (Tabel 5).

Tabel 4. Tingkat ketenggangan genotipe jagung pada berbagai konsentrasi Al berdasarkan bobot akar relatif (BAR)

| No | Genotipe | Aluminium (ppm) | | | | |
|--------------------------|---------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2.5 | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Varietas/Populasi | | % | | | | |
| 1. | SATP-2(S2).C6 | 70.8 T | 55.6 P | 49.3 P | 45.3 P | 33.6 P |
| 2. | SATP-1(S2).C6 | 104.8 T | 85.7 T | 60.0 P | 59.4 P | 44.0 P |
| 3. | AMATL-(HS).C2 | 129.3 T | 74.0 T | 69.6 M | 52.3 P | 31.5 P |
| 4. | AMATL-(S1).C3 | 106.3 T | 76.3 T | 47.2 P | 46.5 P | 48.4 P |
| 5. | Antasena | 101.6 T | 68.8 M | 51.3 P | 49.6 P | 20.5 P |
| 6. | Bisma | 81.9 T | 54.2 P | 35.2 P | 28.6 P | 17.7 P |
| 7. | Lokal Koasa | 111.1 T | 61.2 P | 33.5 P | 30.3 P | 28.0 P |
| 8. | Lokal Delima | 73.7 T | 74.6 T | 43.1 P | 29.3 P | 27.1 P |
| Galur Murni | | | | | | |
| 9. | CML 358 | 68.5 M | 72.7 T | 68.2 M | 53.2 P | 39.2 P |
| 10. | CML364 | 88.3 T | 72.5 T | 56.6 P | 41.5 P | 36.7 P |
| 11. | CML359 | 87.6 T | 87.7 T | 63.3 M | 56.6 P | 43.0 P |

Tabel 4 (Lanjutan).

| No | Genotipe | Aluminium (ppm) | | | | |
|-----------------|---------------------|-----------------|---------|--------|--------|--------|
| | | 2.5 | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Galur S2 | | | | | | |
| 12 | BK-(HS).C2-5-1 | 89.4 T | 72.6 T | 47.2 P | 42.5 P | 33.3 P |
| 13 | BK-(HS).C2-11-1 | 83.7 T | 63.1 P | 41.5 P | 37.4 P | 31.0 P |
| 14 | BK-(HS).C2-113-1 | 123.3 T | 87.0 T | 46.9 P | 50.3 P | 35.0 P |
| 15 | BK-(HS).C2-129-1 | 65.6 T | 48.9 P | 29.1 P | 27.7 P | 26.8 P |
| 16 | BK-(HS).C2-55-1 | 113.9 T | 80.7 T | 42.7 P | 31.0 P | 30.0 P |
| 17 | AMATL-(S1).C2-43-1 | 127.4 T | 90.3 T | 66.4 M | 53.7 P | 51.0 P |
| 18 | MRSS-1(S1).C1-20-1 | 102.6 T | 83.8 T | 59.2 P | 34.3 P | 31.0 P |
| 19 | MRSS-1(S1).C1-21-1 | 92.9 T | 71.1 M | 88.9 T | 58.7 P | 35.1 P |
| 20 | MRSS-1(S1).C1-29-1 | 104.9 T | 111.1 T | 74.1 T | 63.7 P | 43.0 P |
| 21 | MRSS-1(S1).C1-57-1 | 136.3 T | 92.8 T | 77.6 T | 75.4 T | 55.7 P |
| 22 | MRSS-1(S1).C1-123-1 | 110.4 T | 88.9 T | 58 | 50.3 P | 45.0 P |

T (tenggang > 71,2%), M (moderat-tenggang 65,2 – 71,2%), dan P (peka < 65,2%) berdasarkan uji t taraf 0,05

Tabel 5. Tingkat ketenggangan genotipe jagung pada berbagai konsentrasi Al berdasarkan bobot tajuk relatif (BTR)

| No | Genotipe | Aluminium (ppm) | | | | |
|--------------------------|---------------------|-----------------|---------|--------|--------|--------|
| | | 2.5 | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Varietas/Populasi | | | | | | |
| % | | | | | | |
| 1. | SATP-2(S2).C6 | 85.8 T | 46.3 P | 50.2 P | 40.1 P | 36.5 P |
| 2. | SATP-1(S2).C6 | 101.0 T | 84.2 T | 46.3 P | 39.3 P | 40.7 P |
| 3 | AMATL-(HS).C2 | 117.3 T | 65.4 M | 62.9 M | 52.2 P | 37.8 P |
| 4. | AMATL-(S1).C3 | 111.7 T | 71.3 T | 35.7 P | 43.6 P | 44.8 P |
| 5. | Antasena | 71.4 T | 49.6 P | 39.4 P | 37.8 P | 24.9 P |
| 6. | Bisma | 98.7 T | 67.3 M | 29.6 P | 43.3 P | 35.7 P |
| 7. | Lokal Koasa | 100.8 T | 42.6 P | 25.3 P | 31.8 P | 29.6 P |
| 8. | Lokal Delima | 84.9 T | 68.4 M | 36.7 P | 32.5 P | 29.5 P |
| Galur Murni | | | | | | |
| 9. | CML 358 | 71.8 T | 83.7 T | 71.1 T | 64.0 M | 59.4 P |
| 10. | CML364 | 93.8 T | 69.0 M | 44.8 P | 38.2 P | 35.2 P |
| 11. | CML359 | 85.3 T | 81.9 T | 47.8 P | 57.6 P | 51.6 P |
| Galur S2 | | | | | | |
| 12. | BK-(HS).C2-5-1 | 97.8 T | 55.2 P | 37.2 P | 39.2 P | 35.8 P |
| 13. | BK-(HS).C2-11-1 | 100.9 T | 54.5 P | 28.3 P | 30.9 P | 27.2 P |
| 14. | BK-(HS).C2-113-1 | 136.7 T | 61.3 P | 31.5 P | 31.8 P | 28.9 P |
| 15. | BK-(HS).C2-129-1 | 95.9 T | 47.4 P | 27.5 P | 34.0 P | 32.6 P |
| 16. | BK-(HS).C2-55-1 | 94.5 T | 60.4 P | 24.6 P | 23.4 P | 24.7 P |
| 17. | AMATL-(S1).C2-43-1 | 125.7 T | 116.6 T | 64.7 M | 79.2 T | 77.9 T |
| 18. | MRSS-1(S1).C1-20-1 | 83.3 T | 69.2 M | 45.2 P | 37.3 P | 38.2 P |
| 19. | MRSS-1(S1).C1-21-1 | 118.1 T | 92.1 T | 55.0 P | 61.9 P | 52.5 P |
| 20. | MRSS-1(S1).C1-29-1 | 104.9 T | 86.6 T | 53.4 P | 51.2 P | 55.4 P |
| 21. | MRSS-1(S1).C1-57-1 | 102.3 T | 70.4 T | 58.2 M | 72.4 T | 45.9 P |
| 22. | MRSS-1(S1).C1-123-1 | 82.0 T | 82.0 T | 49.7 P | 43.5 P | 43.4 P |

T (tenggang > 69.3%), M (moderat-tenggang 62.9 – 69.3%), dan P (peka < 62.9%) berdasarkan uji taraf 0.05

Hasil uji t terhadap nilai BTR menunjukkan bahwa tingkat ketenggangan antara genotipe berbeda pada setiap konsentrasi Al. Ketenggangan setiap genotipe berdasarkan nilai BTR dapat dikelompokkan ke dalam: 1) tenggang, yaitu yang mempunyai nilai BTR >69.3%, 2) moderat-tenggang dengan nilai BTR 62.9 – 69.3%, dan 3) peka dengan nilai BTR <62.9%. Berdasarkan pengelompokan ini, maka semua genotipe tergolong tenggang jika pemberian Al hanya 2.5 ppm dan semuanya peka jika pemberian Al sebanyak 40 ppm Al. Genotipe MRSS-1(S1).C1-57-1 dan AMATL-(S1).C2-43-1 masing-masing tergolong tenggang sampai pada konsentrasi 20 ppm Al. Sebanyak 6 genotipe yang tenggang pada konsentrasi 5 ppm tetapi peka pada konsentrasi >10 ppm Al, yaitu : SATP-1(S2).C6, AMATL-(S1).C3, MRSS-1(S1).C1-21-1, MRSS-1(S1).C1-29-1, MRSS-1(S1).C1-123-1, dan CML359. Genotipe AMATL-(HS).C2 tergolong genotipe yang moderat-tenggang hingga pemberian 10 ppm Al. Genotipe lainnya sudah tergolong peka pada konsentrasi 5 ppm Al (Tabel 5).

Pembahasan

Pemberian 2.5 ppm Al akan merangsang pertumbuhan tanaman jagung pada genotipe yang tenggang. Stimulasi pertumbuhan akar pada konsentrasi Al rendah juga ditemukan pada tanaman sorgum di larutan hara konsentrasi 4.05 ppm Al (Baligar *et al.*, 1995) dan tanaman jagung yang ditumbuhkan di tanah masam dengan 40% kejenuhan Al (Baligar *et al.*, 1997). Stimulasi pertumbuhan pada genotipe tenggang karena adanya Al yang rendah sudah sering dilaporkan, namun mekanismenya belum jelas (Marschner, 1995). Salah satu penyebab adanya stimulasi pertumbuhan akar pada genotipe jagung yang tenggang jika ditumbuhkan pada konsentrasi Al rendah adalah meningkatnya kadar P di akar (Syafuruddin, 2002).

Tanaman akan keracunan Al jika konsentrasi dalam larutan 5 ppm Al yang ditunjukkan oleh penurunan pertumbuhan akar dan tajuk. Makin tinggi konsentrasi Al makin tinggi penurunan pertumbuhan akar maupun tajuk. Secara visual, tanaman jagung yang keracunan Al mempunyai akar serabut lebih sedikit, akar sekunder memendek dan tampak licin serta ujung akar terpotong. Tanaman yang keracunan Al akan terhambat pembelahan selnya terutama sel akar yang disebabkan oleh ikatan Al dengan DNA dan menghentikan proses pembelahan sel meristem apikal (Polle dan Konzak, 1990; Marschner, 1995). Tudung akar, meristem dan zona pemanjangan akar paling peka terhadap keracunan Al, pada bagian ini Al diakumulasi lebih banyak (Delhaize dan Ryan, 1995). Keracunan Al menyebabkan kadar P akar menurun, sehingga panjang akar yang keracunan Al lebih pendek dibanding yang tidak keracunan Al (Syafuruddin, 2002).

Setiap genotipe berbeda-beda tingkat ketenggangannya meskipun genotipe tersebut sama-sama berasal dari hasil persilangan yang salah satu materinya tenggang terhadap Al seperti populasi SA3. Populasi SA3 dikenal sebagai populasi yang tenggang terhadap Al dan sering digunakan untuk penelitian ketenggangan terhadap Al baik dilarutan hara maupun di lapang (Pellet *et al.*, 1995., Urrea *et al.*, 1996, Nursyamsi *et al.*, 2002). Secara umum genotipe yang salah satu induknya berasal dari populasi SA3 (AMATL dan SATP) lebih tenggang dibanding dengan populasi yang berasal SA5 seperti (BK dan CML364).

Genotipe AMATL-(HS).C2 yang salah satu induknya berasal dari populasi SA3 mempunyai tingkat ketenggangan lebih tinggi dibanding dengan varietas Antasena (varietas yang dilepas sebagai varietas yang beradaptasi di lahan masam) yang juga berasal dari populasi SA3, baik dari segi akar maupun tajuk tanaman. Genotipe AMATL-HS.C2 masih tergolong tenggang hingga 10 ppm Al sedangkan Antasena sudah peka (Tabel 3-5). Hasil penelitian di berbagai lokasi termasuk pada lahan masam Ultisol di Natar (Lampung) menunjukkan bahwa AMATL-(HS).C2 mempunyai potensi hasil yang cukup tinggi, yaitu 8 t/ha (Balitsereal, 2002). Disamping itu AMATL-(HS).C2 pada pengujian menggunakan larutan hara di rumah kaca juga efisien dalam menyerap dan memanfaatkan P, sedangkan Antasena tidak efisien (Syafuruddin, 2002). Hasil pengujian ketenggangan tanaman jagung terhadap Al di larutan hara berkorelasi dengan hasil pengujian di lapang (Gudu *et al.*, 2001; Urrea-Gomez *et al.*, 1996) dan pada tanaman sorgum (Baligar *et al.*, 1989), karena itu genotipe AMATL-(HS).C2 layak dikembangkan pada lahan-lahan yang bereaksi masam berkadar Al tinggi.

Genotipe SATP-1(S2).C6, MRSS-1(S1).C1-29-1, dan MRSS-1(S1).C1-57-1 mempunyai ketenggangan terhadap Al yang tidak jauh berbeda dengan AMATL-(HS).C2 dan relatif lebih tenggang dibanding Antasena, akan tetapi genotipe tersebut belum dikaji secara cermat potensi hasilnya dalam pengujian multilokasi, karena itu belum layak dikembangkan secara meluas ditingkat petani pada lahan masam.

Meskipun varietas Bisma yang dilepas tahun 1995 sebagai varietas unggul tidak didiskripsikan beradaptasi pada lahan masam, akan tetapi dalam pengujian di larutan hara, ternyata ketenggangannya terhadap Al sebanding dengan varietas Antasena. Oleh karena itu, pengembangan jagung di lahan masam perlu mempertimbangkan penggunaan varietas Bisma, oleh karena potensi hasilnya lebih tinggi dibanding Antasena. Varietas Bisma mempunyai potensi hasil 7.0 – 7.5 t/ha, sedangkan Antasena 5.0 – 6.0 t/ha (Suryawati *et al.*, 2000).

Pengelompokan ketenggangan tanaman jagung terhadap cekaman Al dapat dilakukan dengan menggunakan tolok ukur PAR, PPAR atau BAR BTR. Hal ini karena peubah-peubah tersebut menunjukkan adanya interaksi antara genotipe dengan konsentrasi Al.

Panjang akar tidak dapat dijadikan kriteria untuk memisahkan genotipe tenggang dengan peka, oleh karena tidak terdapat interaksi antara genotipe dengan konsentrasi Al. Perbedaan panjang akar setiap genotipe

disebabkan oleh sifat morfologi dari masing-masing genotipe, bukan akibat cekaman Al. Kriteria penentuan ketenggangan setiap tolok ukur berbeda-beda (Tabel 6).

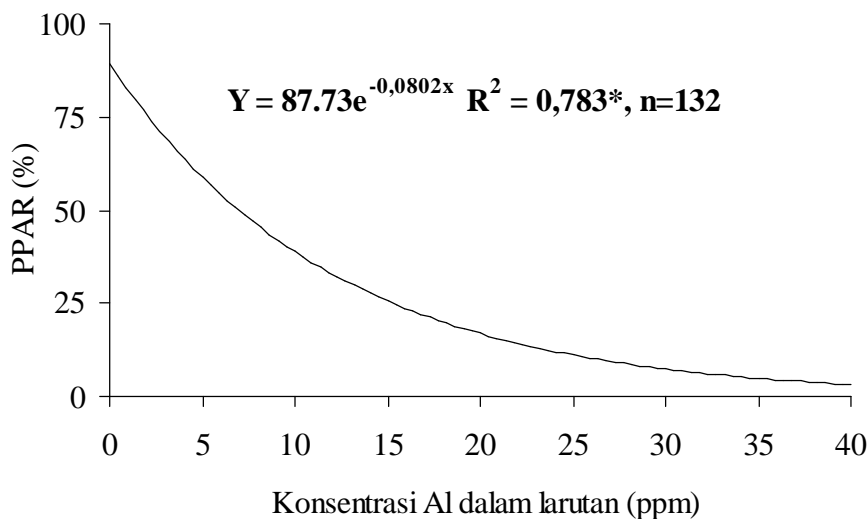
Tabel 6. Pengelompokan ketenggangan tanaman jagung terhadap Al berdasarkan panjang akar relatif (PAR), pertambahan panjang akar relatif (PPAR), bobot akar relatif (BAR), dan bobot tajukrelatif (BTR)

| Tolok ukur | Pengelompokan Ketenggangan (%) | | |
|------------|--------------------------------|------------------|-------|
| | Tenggang | Moderat-Tenggang | Peka |
| PAR | >73.7 | 69.0 - 73.7 | <69.0 |
| PPAR | >54.5 | 46.6 – 54.5 | <46.6 |
| BAR | >71.2 | 65.2 -71.2 | <65.2 |
| BTR | >69.3 | 63.0 – 69.3 | <63.0 |

Meskipun demikian, sebaran data pada Tabel 2 – 4 dan Tabel 6, menunjukkan bahwa pertambahan panjang akar relatif (PPAR) dan Panjang akar relatif (PAR) merupakan tolok ukur yang paling baik, karena tingkat ketenggangan terhadap Al berdasarkan PPAR dan PAR lebih beragam terutama pada konsentrasi 5 dan 10 ppm Al. Hal ini sejalan dengan yang disarankan oleh Kasim dan Wasson (1990) bahwa tolok ukur yang baik untuk memisahkan ketenggangan Al pada tanaman jagung adalah panjang akar relatif dan ratio panjang akar relatif. Persentase penurunan panjang akar merupakan parameter yang baik digunakan untuk memisahkan ketenggangan tanaman jagung terhadap Al di larutan hara (Gudu *et al.*, 2001). Derajat penghambatan pertumbuhan akar merupakan suatu indikator yang baik dalam membedakan ketenggangan berbagai genotipe terhadap keracunan Al (Marschner, 1995). Penggunaan peubah PPAR dan PAR dapat menghindari variasi peubah akibat perbedaan genetik dan perbedaan vigor awal kecambah setiap genotipe.

Tingkat ketenggangan tanaman jagung terhadap cekaman Al tergantung dari konsentrasi Al dan genotipe. Makin tinggi konsentrasi Al dalam larutan makin peka genotipe terhadap Al. Secara umum tanaman jagung hanya tenggang hingga pada konsentrasi <10 ppm Al di dalam larutan hara. Pada

konsentrasi 2,5 ppm Al semua genotipe masih tergolong tenggang, apabila konsentrasi >10 ppm Al maka semua genotipe tergolong peka, sedangkan pada konsentrasi 5 – 10 ppm Al tanaman dapat terpisah antara yang tenggang dan peka. Oleh karena itu konsentrasi Al yang dapat digunakan untuk menyeleksi tanaman jagung terhadap cekaman Al adalah antara 5 – 10 ppm Al. Berdasarkan analisis regresi antara pertambahan pajang akar dengan konsentrasi Al diperoleh persamaan $Y = 87.73 e^{-0.0802x}$ dengan nilai $R^2 = 0.783^*$, dengan asumsi PPAR pada seluruh genotipe (50.03%) dianggap sebagai pemisah antar galur, maka taraf konsentrasi untuk pengujian ketenggangan Al pada tanaman jagung yang baik adalah 7 ppm (Gambar 1). Taraf ini mendekati konsentrasi yang digunakan oleh Schaffert *et al.* (2000) yaitu pada konsentrasi 6 ppm Al, tetapi berbeda dengan yang disarankan oleh Kasim dan Wasson (1990) dengan menggunakan 111 μM (3 ppm) pada larutan hara Magnavaca dan yang dilakukan oleh Rais (1997) pada konsentrasi 25 ppm Al dengan menggunakan larutan hara Yoshida. Adanya perbedaan dengan hasil penelitian Kasim dan Wasson (1990) disebabkan oleh perbedaan variasi tingkat ketenggangan genotipe yang digunakan dalam pengujian. Sedangkan perbedaan dengan penelitian Rais (1997) karena larutan Yosida diperuntukkan bagi tanaman padi.



Gambar 1. Hubungan konsentrasi Al dengan pertambahan panjang akar relatif (PPAR)

KESIMPULAN

1. Genotipe AMATL-(HS).C2, SATP-(S2)-C6-S0, MRSS-1(S1).C1-29-1, dan MRSS-1(S1).C1-57-1 adalah genotipe jagung yang lebih tenggang Al dibanding genotipe lainya termasuk Antasena
2. Konsentrasi Al yang dapat memisahkan genotipe tenggang dan peka pada pengujian tanaman jagung dalam larutan hara adalah 5-10 ppm Al.. Konsentrasi 7 pm Al adalah yang paling baik.
3. Konsentarsi Al yang rendah dalam larutan (2.5 ppmAl) akan merangsang pertumbuhan akar maupun tajuk tanaman jagung pada genotipe tenggang.
4. Panjang akar relatif dan pertambahan panjang akar relatif merupakan tolok ukur yang paling baik untuk digunakan dalam menentukan ketenggang tanaman jagung terhadap cekaman Al.

DAFTAR PUSTAKA

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.

Balitsereal. 2002. Usulan pelepasan varietas jagung bersari bebas MS.J2(RRS)C1 dan AMATL –HS-C2. 12 Hlm

CIMMYT. 2002. Maize inbred lines released by CIMMYT: A Compilation of 475 CIMMYT maize lines (CMLs). p.49.

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

Fathan, R., M. Raharjo, A.K. Makarim. 1988. Hara tanaman jagung. Di dalam Subandi *et al.* (Eds). Jagung. Puslitbangtan. Bogor. Hal. 67-80.

Gudu, S., S.M. Maina, A.O. Onkwane, G. Ombakho, D.O. Ligeyo. Screening of Kenyan maize germplasm for tolerance to low pH and aluminum for used in acid soil of Kenya. Presented on Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference 11 – 15 February 2001. 5 p.

Gupta, U.S. 1997. Crop Improvement Stress Tolerance. Science. Publisher. New Hampshire. p. 34-559.

Yasin, H.G., A.B. Firdausil, M. Basir, F. Kasim. 2002. Seleksi populasi jagung pada lahan masam. Di dalam Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Palawija. 2: 80 -87.

Yasin, H.G. 2004. Population Improvement and Log Book. (Komunikasi Personal).

Jagau, Y. 2000. Fisiologi dan pewarisan efisiensi nitrogen dalam keadaan cekaman aluminium pada padi gogo (*Oryza sativa* L.). (Disertasi). Institut Pertanian Bogor. Fakultas Pertanian.

- Kasim, F. 2004. Latar belakang genotipe Sitiung Aluminium Tolerance Population (SATP) dan Asian Mildew Acid Tolerance Late (komunikasi Personal).
- Kasim, F., C.E. Wasson. 1990. Genotypic response of corn to aluminum stress. I Seedling test for measuring aluminum tolerance in nutrient solution. Indonesian J. Crop Sci. 5: 41-51.
- Magnavaca, R. 1982. Genetic variability and the inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.). Ph. Diss. Univ. of Nebraska. Lincoln
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London. p.596-680.
- Pellet, D.M., D.L. Grunes., L.V. Kochian. 1995. Organic acid exudation as an aluminum-tolerance mechanism in maize (*Zea mays* L.). Planta. 196:788-795.
- Polle, E.A., C.F. Konzak. 1990. Genetics and breeding of cereals for acid soils and nutrient efficiency. In Baligar V.C and R.R Duncan (Eds). Crop as Enhancers of Nutrient Use. Academic Press. San Diego. p. 81-131.
- Rais, S.A. 1998. Evaluasi Plasma Nutfah padi jagung, kedelai dan kacang tanah. Laporan hasil penelitian Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan. Bogor. 31 hlm.
- Sasaki, M., Y. Yamamoto, H. Matsumoto. 1996. Lignin deposition induced by Al in Wheat (*Triticum aestivum*) roots. *Physiol Plant.* 96:193-198.
- Schaffert, R.E., V.M.C. Alves, S.N. Parentoni, K.G. Raghothama. Genetic control of phosphorus uptake and utilization efficiency in maize and sorghum under marginal soil condition. Workshop on Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environment. Cimmyt. 10.p.
- 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.
- Subagyo, H., N. Saharta, A.B. Siswanto. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. Di dalam Sumber Daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Bogor. 21 – 65.
- Syafruddin. 2002. Fisiologi efisiensi hara P pada tanaman jagung dalam kondisi cekaman aluminium. Tesis Pasca Sarjana IPB. (tidak dipublikasi)
- Suryawati, Zubachtirodin, C. Rapar. 2000. Diskripsi Varetas Unggul Jagung. Balitsereal. 66 hal.
- Urrea-Gomez, R., H. Ceballos, S. Pandey, A.F.C. Bahia Filho, L.A. Leon. 1996. A Green house screening technique for acid soil tolerance in maize. *Agron. J.* 88:806-812.