

PENGARUH TINGGI MUKA AIR TANAH TERHADAP pH, Eh, Fe, Al^{dd}, Mn DAN P TERLARUT PADA TANAMAN NANAS KLON GP3 DI ULTISOL

Ayu Sulistya Kusumaningtyas¹, Priyo Cahyono², Sudarto¹, Retno Suntari^{1*}

¹ Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya

² Research and Development Department, PT. Great Giant Pineapple, Lampung

*penulis korespondensi: retno.suntari@yahoo.com

Abstract

Water logging is a condition where water can concentrate at one location. This condition can cause changes in soil chemical properties and inhibiting the growth of pineapple plant of PT. Great Giant Pineapple. The purposes of this study were to understand the influence of soil water level on the change in soil chemical properties in different soils iron content, and the influence of soil water level on plant growth as well as iron and phosphorus absorption in plants. This study used factorial completely randomized design with 30 treatment combinations. The treatments included soil with 100% water available, 0 cm from soil surface, 10 cm from soil surface, 20 cm from soil surface, 30 cm from soil surface, 12.76 ppm iron concentration and 30.15 ppm iron concentration. The results showed that the water level was significantly different on pH, Fe, exchangeable Al, exchangeable H, and Eh in soil iron and not significantly different on Mn, P and pineapple plant growth in 6 weeks of waterlogged. The soil water content did not significantly change soil pH. Therefore, the response to pineapple plant growth was not significantly different. The best treatment for water logging was 30 cm of water logging from surface.

Keywords: groundwater levels, plant growth, soil iron

Pendahuluan

Tanah tergenang merupakan kondisi dimana air terkonsentrasi pada suatu lokasi. Genangan air banyak dijumpai dan terjadi saat musim penghujan pada lahan perkebunan nanas PT. Great Giant Pineapple yang terletak di Terbanggi Besar, Lampung Tengah. Genangan air pada lahan perkebunan berdampak pada perubahan sifat kimia tanah dan menghambat pertumbuhan tanaman.

Sebagian besar lahan perkebunan nanas PT. Great Giant Pineapple didominasi oleh Ultisol yang memiliki karakteristik sebagai tanah masam dengan kandungan hara rendah (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006). Tanah tergenang dapat mengakibatkan terjadinya perubahan sifat-sifat kimia tanah yaitu reaksi reduksi yang menjadi lebih dominan dan unsur fosfor menjadi lebih tersedia. Namun apabila

genangan air terjadi secara terus menerus dapat menyebabkan terjadinya reduksi besi yang berdampak pada pengikatan fosfor di dalam tanah sehingga mengakibatkan fosfor tidak tersedia untuk pertumbuhan tanaman (Sudaryono, 2009). Reduksi besi pada Ultisol dengan konsentrasi tinggi juga dapat berpotensi menimbulkan keracunan besi pada tanaman nanas.

Upaya yang telah dilakukan oleh PT. Great Giant Pineapple dalam mengatasi genangan air yaitu dengan membuat saluran drainase pada saat penyiapan lahan untuk penanaman. Akan tetapi pada kenyataannya genangan air masih tetap terjadi dan berlangsung lama sehingga menyebabkan tanaman nanas menjadi kerdil, daun berwarna kekuningan, hasil buah kecil (berat <100 g) serta perakaran tanaman yang menghitam.

Fenomena yang terjadi pada tanaman nanas tersebut mengindikasikan adanya gejala keracunan besi dan rendahnya serapan fosfor oleh tanaman (Fageria *et al.*, 1990).

Bersamaan dengan adanya rencana budidaya tanaman nanas (*Ananas comosus* (L.) Merr. cv. Smooth Cayenne) klon unggul GP3 secara menyeluruh di perkebunan PT. Great Giant Pineapple, serta belum adanya informasi yang memadai mengenai tinggi muka air tanah air yang dapat ditoleransi untuk menghindari potensi keracunan besi dan pengikatan fosfor guna mendukung pertumbuhan tanaman nanas menjadikan peristiwa genangan air pada Ultisol menjadi topik penting untuk diteliti.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mengetahui pengaruh tinggi muka air tanah air terhadap perubahan sifat kimia tanah pada kondisi kadar besi tanah yang berbeda, dan (2) Mengetahui pengaruh tinggi muka air tanah air terhadap pertumbuhan tanaman serta serapan besi dan fosfor pada tanaman.

Hipotesis dari penelitian ini adalah (1) (1) Peningkatan genangan air berhubungan positif dengan semakin tingginya konsentrasi besi di dalam tanah dan perubahan sifat-sifat kimia tanah lainnya, (2) Genangan air dapat menyebabkan perakaran menjadi hitam dan pertumbuhan tidak optimal (Bartholomew *et al.* 2003).

Hasil dari penelitian ini akan memberikan informasi mengenai kondisi genangan air terhadap pertumbuhan tanaman dan perubahan sifat kimia tanah khususnya besi dan fosfor pada kondisi kadar besi tanah yang berbeda, sehingga diharapkan mampu menjadi salah satu pertimbangan dalam pengelolaan genangan air di lapangan.

Bahan dan Metode

Penelitian bertempat di Departemen *Research and Development* dan Laboratorium Sentral PT. Great Giant Pineapple yang terletak di Kecamatan Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung, Indonesia. Kegiatan penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus-Desember 2014. Tahapan penelitian yang dilaksanakan adalah (1) Penentuan lokasi penelitian, (2) Pengambilan tanah, (3) Percobaan genangan air dan

pengambilan data serta (4) Analisis laboratorium. Rancangan penelitian yang dilakukan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF) 2 faktor dengan 30 kombinasi perlakuan yaitu 5x2x3 ulangan. Rincian perlakuan penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan Penelitian

Faktor	Perlakuan
I	Kedalaman Muka Air Tanah
	G1 (-) air tersedia 100%
	G2 0 cm dari permukaan tanah
	G3 10 cm dari permukaan tanah
	G4 20 cm dari permukaan tanah
G5 30 cm dari permukaan tanah	
II	Besi Tanah
	Lokasi 036B (P1) 12,76 ppm
	Lokasi 042D (P2) 30,15 ppm

Penentuan lokasi penelitian didasarkan pada data sekunder konsentrasi besi tanah dari SAP (*System Application and Procu*) PT. Great Giant Pineapple bulan November-Desember 2014. Lokasi perwakilan dipilih sesuai kriteria lokasi yang didasarkan pada kondisi lokasi yang pernah dan selalu tergenang saat musim hujan. Selain itu lokasi perwakilan harus dalam status bongkar (BK). Validasi data sekunder dilakukan untuk menentukan tanah percobaan.

Pengambilan tanah untuk penelitian dilakukan pada lokasi 036B dan lokasi 042D pada kedalaman 0-20 cm. Tanah dimasukkan ke dalam kantong plastik berdasarkan perlakuan masing-masing. Setelah penyiapan media tanam selesai kemudian dilakukan analisis dasar tanah dan tanaman. Bibit tanaman yang digunakan berasal dari mahkota nanas klon GP3 kelas sedang dengan berat >200 gram per bibit. Bibit dilakukan *dipping* (pencelupan bibit ke larutan pestisida dan fungsida) untuk menghindari serangan jamur

dan serangga yang berpotensi menyerang bagian pangkal bibit. Perlakuan penggenangan dilakukan setelah penanaman dan kebutuhan air pada kondisi air tersedia (100%) dengan menggunakan rumus :

$$AWC = (KAKL - KATLP) \times \text{gram tanah} \\ (\text{Baskoro dan Tarigan, 2007})$$

Selanjutnya pemantauan genangan air dilakukan setiap hari untuk memastikan tinggi genangan air tetap sesuai dengan rancangan penelitian. Data yang diperoleh dilakukan analisis statistik menggunakan analisis sidik ragam uji F dengan taraf nyata 5% menggunakan Minitab 16.0. Selanjutnya untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan dilakukan uji perbandingan dengan uji Tuckey pada taraf 5%. Hubungan keeratan antar parameter dianalisis melalui uji korelasi Pearson menggunakan SPSS Statistics 17.0.

Hasil dan Pembahasan

Sifat Kimia Tanah

Tinggi muka air tanah berpengaruh terhadap (1) pH, (2) Fe, (3) Al^{td}, (4) H^{td}, (5) Eh pada besi tanah dan tidak berpengaruh terhadap (5) Mn dan (6) P tanah selama 6 minggu

penggenangan. Interaksi antara tinggi muka air tanah dan besi tanah tidak berpengaruh pada seluruh parameter penelitian yang dianalisis. Pada penelitian ini, faktor besi tanah memiliki pengaruh yang dominan dalam dinamika sifat kimia tanah pada kondisi tergenang.

pH

Pengaruh tinggi muka air tanah terhadap perubahan pH sangat nyata di minggu ke-2 pada dua faktor (besi tanah dan tinggi muka air tanah) dan nyata di minggu ke-4 sampai minggu ke-6 pada besi tanah (Tabel 2). Hasil penelitian ini sesuai dengan pernyataan Komara (2006), bahwa konsentrasi bahan tereduksi mencapai puncak pada 2 sampai 4 minggu selama penggenangan pada tanah masam dan menurun secara bertahap pada minggu-minggu berikutnya menuju keseimbangan.

Nilai pH tanah sangat menentukan ketersediaan unsur-unsur yang dapat diserap oleh tanaman. Secara umum nilai pH pada Fe tanah 12,76 ppm (P1) dan Fe tanah 30,15 ppm (P2) selama penggenangan dari minggu ke-0 sampai minggu ke-2 mengalami peningkatan tertinggi pada G5-P1 sebesar 12,63% dan mengalami penurunan pada G1-P2 sebesar 1,12%.

Tabel 2. Dinamika pH selama 6 minggu penggenangan

Perlakuan Besi Tanah (ppm)	pH H ₂ O			
	0 minggu	2 minggu	4 minggu	6 minggu
12,76	3,8	4,13**	4,38**	4,44*
	sangat masam	sangat masam	sangat masam	sangat masam
30,15	4,2	4,34**	4,65**	4,69*
	sangat masam	sangat masam	masam	masam

Pada minggu ke-4, peningkatan nilai pH tertinggi terjadi pada G1-P1 sebesar 12,88% dan terendah pada G5-P1 sebesar 0,23%. Pada penggenangan minggu ke-6, nilai pH tanah pada perlakuan G1-P1 dan G1-P2 mengalami penurunan masing-masing sebesar 7,76% dan 1,07% sedangkan pada perlakuan G2-P1; G3-P1; G3-P2; G4-P1 dan G5-P1 nilai pH tetap, namun pada perlakuan G2-P2; G4-P2 dan G5-P2 nilai pH tanah mengalami kenaikan masing-masing sebesar 3,41%; 1,73% dan 0,64%.

Peningkatan dan penurunan nilai pH terjadi pada semua kombinasi perlakuan tinggi muka air tanah, namun seluruh nilai pH pada semua kombinasi perlakuan tetap dalam kriteria tanah sangat masam (<4,5) dan masam (4,5-5,5).

Fe

Pengaruh tinggi muka air tanah nyata pada besi tanah di minggu ke-2 dan minggu ke-4 terhadap konsentrasi Fe pada besi tanah (Tabel

3). Pada minggu ke-2 penggenangan, peningkatan konsentrasi Fe tertinggi pada perlakuan G5-P1 (63,63%) dan konsentrasi Fe terendah pada perlakuan G3-P2 (1,32%). Kemudian pada minggu ke-4 penggenangan, konsentrasi Fe mengalami penurunan pada perlakuan G4-P2 (55,96%). Pada minggu ke-6 penggenangan pada perlakuan G1-P1 mengalami peningkatan sebesar 248,92%. Menurut Hardjowigeno dan Rayes (2005), pada tanah tergenang, konsentrasi kelarutan Fe semakin tinggi dan mencapai puncak pada 2

sampai 5 minggu penggenangan. Oleh karena itu potensi keracunan Fe yang terjadi pada tanaman dapat mungkin terjadi apabila nilai pH tanah tidak dapat mencapai lebih dari 6,5. Kecepatan reduksi dan jumlah maksimal Fe yang tereduksi pada tanah tergenang dipengaruhi oleh kadar Fe aktif, kandungan bahan organik tanah dan suhu tanah. Penggenangan akan menaikkan pH dan terjadi reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang disertai pembebasan OH^- dan konsumsi H^+ pada tanah.

Tabel 3. Dinamika Fe selama 6 minggu penggenangan

Perlakuan Besi Tanah (ppm)	Fe (ppm)			
	0 minggu	2 minggu	4 minggu	6 minggu
12,76	12,76	19,44**	15,81**	32,74
	rendah	rendah	rendah	rendah
30,15	30,15	35,81**	25,95**	37,04
	sedang	sedang	rendah	sedang

Semakin lama kondisi tanah tergenang maka konsentrasi Fe di dalam tanah akan menurun seiring dengan peningkatan pH. Peningkatan konsentrasi kelarutan Fe pada tanah di awal penggenangan (minggu ke-0 sampai minggu ke-2) dapat menguntungkan tanaman karena dapat membantu pertumbuhan awal tanaman, namun dapat menjadi racun bagi tanaman apabila konsentrasi Fe tersedia terlalu banyak.

Kadar Al^{dd} dan H^{dd}

Pengaruh tinggi muka air tanah nyata terhadap perubahan kadar Al^{dd} pada besi tanah (Tabel 4). Pada minggu ke-2 penggenangan, peningkatan kadar Al^{dd} tertinggi pada G3-P1 (50,00%) dan mengalami penurunan pada G3-P2 dan G4-P2

(39,04%). Kemudian pada minggu ke-4 terjadi peningkatan tertinggi pada G4-P2 (214,61%) dan penurunan pada G4-P1 (10,74%).

Menurut Yang (2006), senyawa pirit yang terdapat pada Ultisol yang tergenang semakin lama akan membentuk senyawa feri hidroksida, sulfat dan ion hidrogen sehingga menyebabkan tanah menjadi masam. Akibat peristiwa tersebut, konsentrasi kelarutan Fe^{2+} , Al^{3+} dan Mn^{2+} mengalami peningkatan (Gergichevich *et al.* 2010). Penurunan kadar Al^{dd} terjadi pada semua perlakuan pada minggu ke-6 penggenangan dengan tingkat penurunan pada G5-P2 (78,65%) kecuali pada G1-P1 yang mengalami peningkatan sebesar 10,37%.

Tabel 4. Dinamika Al^{dd} selama 6 minggu penggenangan

Perlakuan Besi Tanah (ppm)	Al^{dd} (me 100 g ⁻¹)			
	0 minggu	2 minggu	4 minggu	6 minggu
12,76	0,82	1,17**	1,41**	1,02*
	sangat rendah	sangat rendah	sangat rendah	sangat rendah
30,15	0,08	1,00**	2,80**	0,77*
	sangat rendah	sangat rendah	sangat rendah	sangat rendah

Horbowicz *et al.* (2011), menyatakan bahwa kadar Al^{dd} (Al^{3+}) dalam jumlah yang tinggi dalam tanah dapat meracuni perakaran tanaman karena Al^{3+} diserap oleh tanaman melalui sistem perakaran. Beberapa upaya dalam pengelolaan Al^{dd} (Al^{3+}) dapat menggunakan pengapuran apabila tingkat kejenuhan aluminium di tanah mencapai lebih dari 60% serta mengalami peningkatan kelarutan yang semakin tinggi.

Pengaruh tinggi muka air tanah nyata pada minggu ke-4 terhadap kadar H^{dd} (Tabel 5). Pada minggu ke-2 penggenangan, peningkatan tertinggi terjadi pada G3-P2 sebesar 404,17% (0,08 me 100 g^{-1}) dan

mengalami penurunan pada G2-P2 sebesar 87,50% (0,01 me 100 g^{-1}) dari kadar H^{dd} awal sebesar 0,17 me 100 g^{-1} (P1) dan 4,98 me 100 g^{-1} (P2). Kemudian pada minggu ke-4 penggenangan, peningkatan tertinggi kadar H^{dd} terjadi pada perlakuan G2-P2 sebesar 1333,33% (0,14 me 100 g^{-1}) dan mengalami penurunan pada perlakuan G3-P2 sebesar 79,34% (0,08 me 100 g^{-1}). Sedangkan pada minggu ke-6 penggenangan, peningkatan tertinggi terjadi pada perlakuan G5-P2 sebesar 226,67% (0,16 me 100 g^{-1}) dan mengalami penurunan pada perlakuan G2-P1 sebesar 2,13% (0,15 me 100 g^{-1}).

Tabel 5. Dinamika H^{dd} selama 6 minggu penggenangan

Perlakuan Besi Tanah (ppm)	Al^{dd} (me 100 g^{-1})			
	0 minggu	2 minggu	4 minggu	6 minggu
12,76	0,17	0,17	0,15*	0,17
	sangat rendah	sangat rendah	sangat rendah	sangat rendah
30,15	4,98	0,10	0,09*	0,13
	sangat rendah	sangat rendah	sangat rendah	sangat rendah

Menurut Sutedjo (2002), tingginya kadar H^{dd} yang terdapat di dalam tanah akan menyebabkan pH tanah semakin masam. Pendapat serupa juga dikemukakan oleh Hossain dan Uddin (2011), menyatakan bahwa tanah dengan kondisi pH masam banyak mengandung ion H^+ yang dapat ditukar (H^{dd}). Hidrogen terlarut (H^{dd}) akan menurun apabila pH tanah meningkat dan sebaliknya. Kadar H^{dd} merupakan sumber utama H^+ . Semakin tinggi konsentrasi hidrogen yang dapat ditukar maka kadar aluminium yang dapat ditukar juga semakin tinggi.

Eh

Pengaruh tinggi muka air sangat nyata pada di minggu ke-2 dan nyata di minggu ke-4 pada besi tanah (Tabel 6). Pada minggu ke-2, nilai Eh mengalami peningkatan tertinggi pada G1-P1 (6,31%) dan mengalami penurunan terendah pada G2-P1 (3,35%). Peningkatan

nilai Eh secara keseluruhan pada semua perlakuan terjadi pada minggu ke-4 penggenangan dengan peningkatan tertinggi pada G2-P1 (38,58%) dan peningkatan terendah pada G3-P1 (23,31%). Tingginya nilai potensial redoks (Eh) yang terjadi pada minggu ke-4 penggenangan menggambarkan kondisi yang reduktif.

Nilai potensial redoks berhubungan erat dengan kemasaman tanah (pH). Kondisi reduksi-oksidasi yang terjadi pada tanah tergenang mempengaruhi senyawa besi dan mangan di dalam tanah (Kozlowski, 1997). Nilai Eh mengalami penurunan pada minggu ke-6 penggenangan dengan penurunan terendah pada G5-P1 (37,09%) sebesar +110,9 mV dan mengalami peningkatan nilai Eh pada G1-P1 (6,79%). Kondisi besi tanah pada konsentrasi 12,76 ppm (P1) dan konsentrasi 30,15 ppm (P2) sama-sama mengalami perubahan nilai dari potensial redoks (Eh).

Tabel 6. Dinamika Eh selama 6 minggu penggenangan

Perlakuan Besi Tanah (ppm)	Eh (mV)			
	0 minggu	2 minggu	4 minggu	6 minggu
12,76	131,41	134,33**	177,33*	158,50
	reduksi rendah	reduksi rendah	reduksi rendah	reduksi rendah
30,15	124,13	124,13**	164,60*	153,93
	reduksi rendah	reduksi rendah	reduksi rendah	reduksi rendah

Secara keseluruhan, aplikasi penggenangan yang dilakukan selama 6 minggu, menghasilkan nilai Eh antara +110,85 mV sampai +193,33 mV. Kondisi tersebut termasuk dalam tahapan reaksi utama reduksi Fe. Hal tersebut diperkuat oleh Sanchez (1976), yang menyatakan bahwa pada kisaran nilai Eh antara +200 mV dan +120 mV termasuk dalam tahap reaksi reduksi Fe. Menurut Suntari *et al.* (2003), menjelaskan bahwa pada kondisi tanah yang tergenang akan menyebabkan potensial redoks (Eh) tanah menjadi rendah.

Pertumbuhan tanaman

Pengaruh tinggi muka air terhadap pertumbuhan tanaman tidak nyata terhadap (1) jumlah daun, (2) tinggi tanaman, (3) berat kering tanaman, (4) berat kering akar, (5) jumlah akar, (6) luas indeks daun, (7) serapan Fe tanaman dan (8) serapan P tanaman. Dalam penelitian ini, aplikasi penggenangan yang dilakukan pada media tanam tanaman selama 6 minggu menyebabkan dinamika perubahan nilai pH pada minggu ke-2, minggu ke-4 dan minggu ke-6 penggenangan, namun nilai pH tetap pada kategori masam (4,5-5,5) sampai sangat masam (<4,5) sehingga tanaman nanas masih dapat tumbuh dan berkembang. Hal tersebut diperkuat dengan pernyataan Bartholomew *et al.* (2003), mengemukakan bahwa salah satu syarat tumbuh tanaman nanas yang baik pada pH tanah masam (4,5-5,5) sampai sangat masam (<4,5).

Asal bibit juga mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena bibit yang berasal dari mahkota (*crowm*) tanaman nanas masih terdapat cadangan makanan di pangkal mahkota tanaman nanas sehingga tanaman masih belum membutuhkan nutrisi dari lingkungan secara optimal dan membuat pertumbuhan dan perkembangan tanaman masih berjalan dengan normal

meskipun pada kondisi tanah tergenang. Hal tersebut terjadi karena tanaman nanas merupakan tanaman tahunan perkebunan yang memiliki umur panen 18-24 bulan sehingga pada aspek pertumbuhan tanaman seperti jumlah daun, tinggi tanaman dan aspek pertumbuhan yang lain lebih lambat jika dibandingkan dengan tanaman semusim.

Korelasi antar parameter pengamatan

Hasil analisis korelasi antar parameter pengamatan menunjukkan hasil yang sangat signifikan pada beberapa parameter yaitu pH-Al^{dd} ($r = -0,763$), Fe-Al^{dd} ($r = -0,536$), Fe-Mn ($r = 0,627$), luas daun-berat tanaman ($r = 0,464$) dan serapan Fe-serapan P tanaman ($r = 0,611$). Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa konsentrasi Fe-Mn memiliki korelasi positif dan hubungan yang kuat, hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi perkebunan nanas, potensi keracunan yang menjadi acaman adalah keracunan Fe dan Mn karena semakin tinggi tingkat konsentrasi kelarutan Fe diikuti oleh peningkatan konsentrasi kelarutan Mn pada tanah tergenang. Menurut McLaughlin (2002), kelarutan Fe dan Mn yang tinggi pada tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Kesimpulan

Pengaruh tinggi muka air tanah terhadap perubahan sifat kimia tanah pada semua kombinasi perlakuan menghasilkan nilai pH yang tetap pada kondisi masam (4,5-5,5) dan sangat masam (<4,5) sehingga respon terhadap pertumbuhan tanaman nanas tidak nyata. Konsentrasi Fe berkorelasi kuat dan positif ($r = 0,627$) terhadap peningkatan konsentrasi Mn di dalam tanah sehingga konsentrasi Fe dan Mn dapat berpotensi meracuni tanaman nanas pada kondisi tanah tergenang di lokasi 042D.

Tinggi muka air tanah yang dapat ditoleransi oleh tanaman nanas klon GP3 adalah G1, G5 dan tinggi muka air tanah yang tidak dapat ditoleransi oleh tanaman adalah G2, G3, G4. Pengaruh tinggi muka air tanah terhadap pertumbuhan tanaman tidak nyata, namun serapan Fe tanaman memiliki korelasi kuat dan positif ($r=0,611$) terhadap serapan P tanaman karena kedua unsur tersebut sangat penting dan dibutuhkan di dalam proses metabolisme tubuh tanaman nanas

Daftar Pustaka

- Bartholomew, D.P., Paull, R.E. and Rohrbach, K.G. 2003. The Pineapple: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Wallingford, UK. p 1-301.
- Baskoro, D.P.T. dan Tarigan, S.D. 2007. Karakteristik kelembaban tanah pada beberapa jenis tanah. *Jurnal Tanah dan Lingkungan* 9 (2), 77-81.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. and Wright, R.J. 1990. Iron nutrition of plants: an overview on the chemistry and physiology of it's deficiency and toxicity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 25(4): 553-570.
- Gergichevich, C.M., Alberdi, M., Ivanov, A.G. and Diaz, M.R. 2010. Al^{3+} - Ca^{2+} Interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amandements. *Journal of Soil. Science and Plant Nutrition* 10 (3): 217-243.
- Hardjowigeno, S. dan Rayes, M.L. 2005. Tanah Sawah: Karakteristik, Kondisi dan Permasalahan Tanah Sawah di Indonesia. Bayumedia Publishing, Malang.
- Horbowicz, M., Kowalczyk, W., Grzesiuk, A. and Mitrus, J. 2011. Uptake of aluminium and basic elements and accumulation of anthocyanins in seedlings of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) as a result increased level of aluminium in nutrient solution. *Ecological Chemistry and Engineering* 18 (4), 479-488.
- Komara, M. 2006. Pengaruh Perendaman terhadap Kelarutan Besi, Mangan dan Fosfor pada Andisol dan Oksisol. Skripsi. IPB. Bogor.
- Kozlowski, T.T. 1997. Response of Woody Plants to Flooding and Salinity. Heron Publishing: Victoria-Canada.
- McLaughlin, M.J. 2002. Heavy Metals. *Encyclopedia of Soil Science*: Edited by R. Lal. Marcel Decker (Plant and Soil). p 650-653.
- Prasetyo, B.H. dan Suriadikarta, D.A. 2006. Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah Ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian* 25(2),39-47.
- Sanchez, P.A. 1976. Sifat dan Pengelolaan Tanah Tropika. Penerbit ITB. Bandung.
- Sudaryono. 2009. Tingkat kesuburan tanah Ultisol pada lahan pertambangan batu bara Sangatta, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Lingkungan* 10 (3), 337-346.
- Suntari, R., R. Retnowati, Sumarno dan M. Munir. 2003. The effect of flooding and application of different urea on soil chemical properties and N-available (NH_4^+ and NO_3^-) on Vertisols. *International Journal of Ecosystem* 3(6), 196-202.
- Sutedjo, M.M. 2002. Pupuk dan Cara Penggunaan. Rineka Cipta. Jakarta.

halaman ini sengaja dikosongkan