

## EFEKTIVITAS BAHAN ORGANIK DAN TINGGI GENANGAN TERHADAP PERUBAHAN Eh, pH, DAN STATUS Fe, P, Al TERLARUT PADA TANAH ULTISOL

### The Effectivity Of Organic Matter and Water Depth on Soil Eh and pH Changes and Soluble Fe, P and Al Status in Ultisol

Muhammad Basir Cyio<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km 5 Palu 94118, Sulawesi Tengah Telp./Fax : 0451-429738. E-mail: basircyio@yahoo.com

#### ABSTRACT

The aim of the research was to determine the value of redox potential (Eh), soil reaction (pH) and status of soluble soil Fe, P and Al as a result of organic matter addition under submerged condition in Ultisol Kulawi. It is expected that the research results could add more information; be used as consideration; and basis for effective paddy field management resulting in maximal production. The experimental research was conducted in March-June 2007. The sampled soil location was in Kulawi sub district, Donggala Regency, Central Sulawesi Province. Soil analysis was carried out in Soil Science Laboratory of Agricultural Faculty Tadulako University. The experiment used a Completely Randomized Block Design with factorial experiment. The first factor was various water depths: muddy (TG<sub>1</sub>), 10 cm (TG<sub>2</sub>), and 15 cm (TG<sub>3</sub>). The second factor was organic matter levels: 0 t ha<sup>-1</sup> (BO<sub>1</sub>) and 15 t ha<sup>-1</sup> (BO<sub>2</sub>). The various water depths and organic matter levels significantly increased the availability of phosphorous and significantly reduced the solubility of Fe and Al. Soil submergence with organic matter addition could improve soil fertility. The water depth of 10 cm with 20 t ha<sup>-1</sup> organic matter was very effective in the paddy field management. With such condition soil pH increased close to neutral, available P improved, and Eh, soluble Fe and Al reduced.

**Keywords** : Organic matter, redox potential, and soil reaction

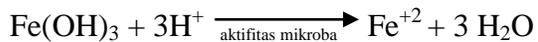
#### PENDAHULUAN

Tingkat kesuburan tanah yang rendah pada areal persawahan merupakan akibat dari kondisi kemasaman tanah yang disertai dengan tingginya sifat toksisitas Fe dan Al yang berakibat pada kahatnya Ca, Mg, dan P karena proses fiksasi yang distimulasi aktivitas ion H<sup>+</sup>. Tanah-tanah pada sistem persawahan, penggenangan akan mendorong perubahan elektrokimia yang mempengaruhi penyediaan dan pengambilan hara (Ponnamperuma, 1985). Perubahan sifat-sifat kimia dimaksud antara lain terjadinya perubahan potensial

redoks (Eh) dan keasaman tanah (pH) tanah yang merupakan dua faktor utama yang saling berkaitan dalam mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan hara dan transformasinya di dalam tanah serta berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi.

Salah satu dinamika ion yang paling menonjol dalam penggenangan tanah masam adalah kelarutan besi dari ion Fe<sup>+3</sup> menjadi Fe<sup>+2</sup> yang berpotensi menyebabkan keracunan pada tanaman padi, yang bila tidak terkendalikan dapat menurunkan produksi rata-rata 60%. Perubahan bentuk Fe<sup>+3</sup> menjadi Fe<sup>+2</sup> terjadi karena adanya perubahan suasana

oksidatif menjadi reduktif. Reaksi tersebut melibatkan aktivitas mikroba tanah menstimulasi proses reduksi  $\text{Fe}^{+3}$  menjadi  $\text{Fe}^{+2}$ , meningkatkan pH, menurunkan Eh, dan terjadi peningkatan ketersediaan P. Reaksi reduksi besi dapat digambarkan berikut ini (Yoshida, 1981).



Tingginya aktivitas ion  $\text{Fe}^{2+}$  sebagai pemicu terjadinya fiksasi hara P sehingga ketersediaannya berbanding terbalik dengan tingkat aktivitas ion  $\text{Fe}^{2+}$  tetapi berbanding lurus dengan perubahan nilai Eh. Ponnampuruma, Castro dan Valencia (1969) menyatakan umumnya potensial redoks mengalami penurunan dari 700 mV sampai -300 mV, sedangkan pH tanah berubah dari 4,5 menjadi 6,5 - 7,0. Patrick dan Redy (1978) menjelaskan adanya perubahan pada tanah tergenang yang disertai dengan perubahan elektrokimia yang dapat merugikan tanaman. Potensial redoks merupakan sifat elektrokimia yang dapat dipakai sebagai indikasi dalam mengukur derajat anaerobiosis tanah dan tingkat transformasi biogeokimia yang terjadi (Patrick dan Mahapatra, 1968; Ponnampuruma, 1972). Kondisi anaerob, mikroorganisme fakultatif dan obligat akan menggunakan oksidan anorganik selain oksigen sebagai akseptor elektron, seperti  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}^+$ , yang kemudian akan direduksi berturut-turut menjadi  $\text{N}_2$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_4^+$ , dan  $\text{NH}_2$  (Patrick dan Reddy, 1978) yang juga telah diperoleh dari hasil kajian Basir-Cyio (2001) dan Darman (2003).

Tanah-tanah sawah yang dikelola secara periodik, selain berpengaruh terhadap sifat fisika, juga terhadap sifat kimia dan biologi tanah, baik terhadap pori makro dan mikro (Darman, 2003) maupun sifat kimia berupa deplesi  $\text{O}_2$ , Eh, pH dan  $\text{Fe}^{3+}$  menjadi  $\text{Fe}^{2+}$  (Tisdale *et al.*, 1985) dan bahkan terjadi tingkat pelepasan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan asam

organik (Ponnampuruma, 1976). Perubahan sifat fisik tanah sangat variatif, terutama dalam hal kepadatan yang menstimulasi terjadinya peningkatan berat jenis volum ( $\rho$ ) sehingga difusi mengalami penurunan  $10^4$  kali lebih rendah dibandingkan dengan difusi di atmosfer karena adanya perubahan besaran ratio  $D_w/D_a$  oksigen ( $\text{O}_2$ ) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) sekitar  $1.13 \times 10^4$  (Ponnampuruma, 1984).

Tanah sulfat masam dalam kondisi teroksidasi yang diberi bahan organik dan disertai dengan penggenangan mampu menetralkan ion  $\text{Al}^{3+}$  dan meningkatkan pH tanah, namun kondisi demikian sifatnya sementara. Bila tanah dalam kondisi teroksidasi kembali, pirit melepaskan proton ( $\text{H}^+$ ) dan pH tanah sawah akan turun kembali. Terjadinya deplesi oksigen pada subsoil akibat dominannya pori mikro menyebabkan aktivitas mikroorganisme anarob seperti *Bacillus polymixa*, *Clostridium butyricum* dan *Clostridium saccharobutyricum* menjadi aktif (Hamman dan Ottow, 1974) dan menurut Benkiser *et al.* (1982), bakteri anerob tersebut tidak menggunakan  $\text{O}_2$  sebagai akseptor elektron, melainkan memanfaatkan ion  $\text{Fe}^{3+}$ .

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan pH, Eh dan status Fe, Al, dan P yang larut dalam tanah akibat variasi tinggi genangan yang disertai pemberian bahan organik (pupuk kandang  $15 \text{ t ha}^{-1}$ ), yang diharapkan menjadi tambahan informasi untuk bahan pertimbangan dan pemilihan langkah pengelolaan lahan sawah yang efektif pada tanah-tanah Ultisol, khususnya lahan sawah yang memiliki kesamaan karakteristik dengan Ultisol Kulawi.

## BAHAN DAN METODE

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada Maret sampai bulan Juni 2007 yang sampel tanahnya diambil dari lahan sawah di Kecamatan Kulawi, Kabupaten Donggala,

Sulawesi Tenhah. Sampel tanah penelitian dianalisis di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako. Bahan dan alat yang digunakan antara lain, adalah contoh tanah Ultisol yang diambil pada lapisan olah 0-30 cm, polybag, timbangan, dan alat tulis menulis. Untuk kepentingan analisis, digunakan bahan kimia dan alat-alat laboratorium sesuai dengan kebutuhan, di antaranya pH/Eh meter dan spektrofotometer.

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimentatif dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang menggunakan dua factor, yakni variasi tinggi genangan (TG) dan bahan organik (BO). Faktor pertama masing-masing TG<sub>1</sub> (macak), TG<sub>2</sub>=10 cm, dan TG<sub>3</sub> = 15 cm yang lama penggenangannya untuk setiap perlakuan 6 minggu, sedangkan faktor kedua masing-masing BO<sub>1</sub> tanpa bahan organik dan BO<sub>2</sub> 15 t ha<sup>-1</sup>. Berdasarkan masing-masing taraf dari kedua faktor tersebut maka terdapat 6 kombinasi perlakuan yang akan diulang 3 kali sehingga terdapat 18 unit percobaan.

Contoh tanah yang digunakan dalam penelitian adalah tanah yang diambil pada lapisan olah kedalaman 0-40 cm, dan termasuk tanah bereaksi masam yang diambil secara *purposive* untuk mempelajari perubahan Eh dan pH, serta Fe dan Al terlarut, termasuk tingkat ketersediaan P yang diberi perlakuan variasi tinggi genangan dan plus minus bahan organik dari pupuk kandang. Sebelum digunakan, contoh tanah penelitian terlebih dahulu dikeringudarkan, lalu kemudian ditumbuk, diayak, selanjutnya dianalisis pendahuluan untuk mengetahui sifat fisiko-kimiawi.

Dalam penelitian ini telah ditetapkan variabel yang diamati, yakni nilai Eh, pH, P total, P tersedia, Al-dd, H-dd, dan Fe terlarut, yang dalam menganalisisnya digunakan prosedur dan standar pengujian yang telah ditetapkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sifat Fisika-kimiawi Ultisol Kulawi

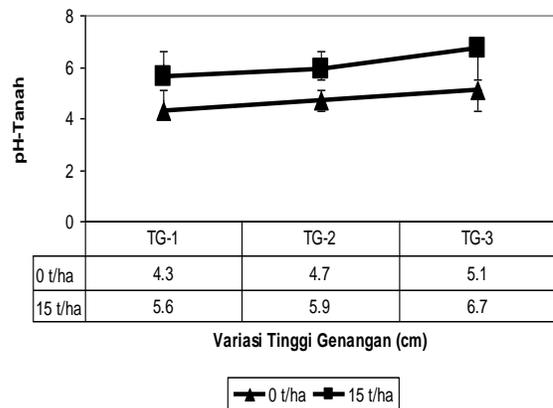
Dari hasil analisis awal tanah menunjukkan bahwa sifat fisik tanah memiliki tekstur Lempung dengan masing-masing fraksi, Pasir 46,01%, Debu 34,88%, Liat 20,11% dengan tingkat permeabilitas 4,18 cm jam<sup>-1</sup> (sedang), sedangkan berat jenis volume ( $\rho$ ) 1,33 g cm<sup>-1</sup> dengan ruang pori tanah 48,96%. Kondisi pH tergolong sangat masam di mana pH-H<sub>2</sub>O 4,22, pH-KCl 3.21). Ultisol Kulawi memiliki kandungan bahan organik yang tergolong sangat rendah dengan C hanya 1,96%; N<sub>tot</sub> 0.12% (rendah); C/N ratio 18,01; P<sub>ter</sub> 5,61 ppm (sangat rendah); KTK 8,55 me/100 g (rendah); Ca tersedia 1,21 me/100 g (sangat rendah); Mg 0,33 me/100 g (sangat rendah); K tersedia 0,19 me/100 g (rendah); Na 0,07 me/100 g (sangat rendah); Al<sub>dd</sub> dan H<sub>dd</sub> masing-masing 4,02 dan 2,61 me/100 g (sangat tinggi).

Dari hasil analisis tersebut terlihat bahwa secara umum, Ultisol Kulawi tidak jauh beda dengan karakteristik Ultisol yang tersebar di Indonesia, baik yang ada di Pulau Jawa-Madura, maupun yang ada di Kalimantan, dan Sulawesi. Dengan kondisi fisika-kimiawi seperti itu, Ultisol Kulawi masuk katagori kesuburan yang rendah sehingga memerlukan *treatment* khusus dalam pengelolaannya agar hasil maksimal yang diharapkan dapat tercapai. Simoen (1986); Basir-Cyio (2000) dan Darman (2003) menemukan hal yang sama dari sisi sifat kimiawi, khususnya kation Al, Fe, dan Mn yang umumnya dominan pada tanah yang memiliki nilai pH tanah masam hingga sangat masam (pH < 4,5). Perubahan pH tanah hingga mendekati kondisi netral atau minimal pada nilai 6,0, kation-kation Al, Fe, dan Mn dapat diminimalkan tingkat kelarutannya sehingga potensinya dalam mengikat hara P dapat ditekan, yang secara langsung meningkatkan ketersediaan P, Ca, Mg, Mo, dan N.

Kondisi pH yang tergolong rendah disebabkan adanya aktivitas ion  $H^+$  pada permukaan koloida tanah, baik pada permukaan partikel liat maupun bahan organik walaupun ion Al bukan satu-satunya yang menstimulasi tingkat kemasaman tanah.

### Efektivitas Penggenangan dan Bahan Organik terhadap pH dan Eh.

Berdasarkan analisis ragam diperoleh data bahwa peningkatan pH dan Eh pada penggenangan 0 (macak) berbeda nyata dengan penggenangan dengan ketinggian 10 dan 15 cm (Gambar 1). Hasil uji BNJ taraf 5% menunjukkan bahwa pada tinggi genangan 10 dan 15 cm menstimulasi perubahan nilai pH dan Eh tanah. Peningkatan pH semakin meningkat dengan semakin meningkatnya tinggi genangan, dan peningkatan tersebut semakin bertambah dengan adanya bahan organik. Sebaliknya, Eh tanah mengalami penurunan dengan bertambahnya tinggi genangan, dan penurunannya semakin tajam dengan penambahan bahan organik 15 t ha<sup>-1</sup>. Perubahan tersebut disebabkan adanya kontribusi bahan organik ke dalam larutan tanah, baik gugus hidroksil maupun senyawa karbosis lainnya yang dapat memberi keseimbangan terhadap aktivitas ion  $H^+$  yang menyebabkan menurunnya konsentrasi ion  $H^+$ . Penurunan tersebut juga mendorong berkurangnya jumlah elektron dalam larutan tanah. Jumlah elektron berbanding lurus dengan potensial redoks sehingga penurunan jumlah elektron secara otomatis akan menurunkan pula nilai Eh. Reddy dan Patrick, Jr (1986) menegaskan indikator nilai Eh pada tanah-tanah yang dalam kondisi reduktif. Proses penggenangan akan menyebabkan terjadinya depleksi  $O_2$ , dan penurunan tersebut akan diikuti oleh penurunan Eh. Semakin lama suatu tanah tergenang semakin tinggi depleksi  $O_2$  dan semakin menurun pula Eh tanah, bahkan bisa sampai pada nilai Eh -350 mV.



Gambar 1. Dinamika pH dan Eh Tanah pada Berbagai Tinggi Genangan yang diberi Bahan Organik

Peningkatan nilai pH disebabkan adanya kontribusi bahan organik yang melepaskan ion  $OH^-$  karena terjadi proses reduksi. Dalam kondisi demikian, pH pada tanah masam dapat meningkat hingga 6,5 bila tergenang beberapa minggu yang disertai dengan pemberian bahan organik. Keberadaan ion  $Fe^{+3}$  dalam tanah tereduksi akan berubah menjadi  $Fe^{+2}$  sehingga berpeluang melepaskan  $OH^-$  (Bohn, 1986) dengan reaksi sebagai berikut:



Di samping itu, beberapa bentuk reaksi sebagai pemicu mobilitasi dan reaktivitas senyawa dalam tanah dikemukakan oleh Starr (1986) tentang pergerakan Nitrogen dalam tanah dengan reaksi sebagai berikut:



Berdasarkan kedua reaksi tersebut maka terlihat adanya pelepasan ion  $OH^-$  yang dapat meningkatkan pH tanah karena terjadi keseimbangan antara ion  $H^+$  dengan ion  $OH^-$  baik dari perubahan feri menjadi fero maupun dari nitrat menjadi nitrit, yang keduanya memberi kontribusi gugus hidroksil ke dalam larutan tanah.

## Efektivitas Penggenangan dan Bahan Organik terhadap Fe, P dan Al

Hasil pengamatan dan analisis ragam pengaruh variasi tinggi genangan terhadap Fe, Al, dan P berpengaruh nyata walaupun, dan hasil uji BNJ taraf nyata  $\alpha$  5% menunjukkan bahwa semakin tinggi genangan semakin menurun tingkat kelarutan Fe dan Al, yang disertai dengan peningkatan ketersediaan P dalam larutan tanah, dan perbuahan itu semakin bertambah dengan adanya pemberian bahan organik.

Perubahan suasana oksidatif ke reduktif mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk Besi, dari Feri tereduksi menjadi fero dan masuk ke dalam larutan tanah. Menurut Ponnampurna (1976), besi larut dalam tanah dengan penggenangan mula-mula meningkat kemudian terus meningkat hingga mencapai keadaan yang stabil. Dari hasil percobaan pada variasi tinggi genangan dan pemberian bahan organik 15 t ha<sup>-1</sup> menstimulasi penurunan kelarutan Fe. Ini terlihat pada tinggi genangan dari macak ke tinggi genangan 10 dan 15 cm dan semakin menurun dengan adanya pemberian bahan organik 15 t ha<sup>-1</sup>. Penurunan terjadi masing-masing 4,55 dan 10,35 ppm. Penurunan tersebut semakin meningkat dengan adanya

penambahan bahan organik, yakni dari macak ke ketinggian genangan 10 cm mencapai 41,21 ppm dan pada ketinggian genangan 15 cm turun sebesar 45,78 ppm. Hal serupa terjadi pula pada penurunan tingkat kelarutan Al<sub>dd</sub>. Dari kondisi macak ke tinggi genangan 10 cm tanpa bahan organik terjadi penurunan sekitar 0,04 me/100g dan semakin menurun tingkat kelarutannya dengan bertambahnya tinggi genangan 15 cm, yakni 0,14 me/100g. Pada penambahan bahan organik, kelarutan Al<sub>dd</sub> semakin menurun. Dari kondisi macak ke tinggi genangan 10 cm dan 15 cm terjadi penurunan tingkat kelarutan masing-masing 0,11 dan 0,18 me/100g.

Kondisi ini menjustifikasi bahwa dengan tinggi genangan yang disertai dengan pemberian bahan organik menstimulasi proses reduksi melalui bantuan mikroorganisme tanah. Besi yang direduksi masuk ke dalam tanah, berdifusi kemudian dioksidasi ke air genangan sehingga menghasilkan karat-karat berwarna coklat kemerah-merahan (Takai dan Kamura, 1976). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan ferri menjadi fero mulai terjadi pada nilai Eh +300 mV dengan pH 6, Eh +100 mV pada pH 7, Eh - 100 mV dengan pH 8 (Gotah dan Patrick, 1974).

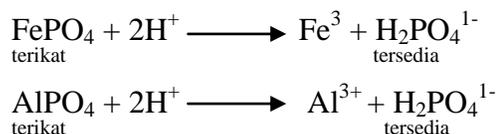
Tabel 1. Dinamika Status Fe, Al dan Pada Berbagai Tinggi Genangan

Variasi Tinggi Genangan (cm)	Bahan Organik (t ha <sup>-1</sup> )				Bahan Organik (t ha <sup>-1</sup> )	
	0		15		Al <sub>dd</sub> (me/100g)	
	Fe (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Fe (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	0	15
0 (Macak)	169,82 <sup>a</sup>	12,36 <sup>a</sup>	145,34 <sup>a</sup>	14,35 <sup>a</sup>	0,76 <sup>a</sup>	0,69 <sup>a</sup>
	A	$\alpha$	B	$\lambda$	A	B
10	165,27 <sup>b</sup>	15,29 <sup>b</sup>	104,13 <sup>b</sup>	17,56 <sup>b</sup>	0,72 <sup>b</sup>	0,58 <sup>b</sup>
	A	$\alpha$	B	$\lambda$	A	B
15	159,47 <sup>c</sup>	17,69 <sup>c</sup>	99,56 <sup>c</sup>	18,87 <sup>c</sup>	0,62 <sup>c</sup>	0,51 <sup>c</sup>
BNJ	3,50	0,50	3,50	0,50	0,03	0,03

Keterangan : Angka-angka yang ditandai huruf dan simbol yang sama pada baris (Kapital) dan kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji BNJ 5%

Hasil pengamatan P tersedia akibat variasi tinggi genangan terlihat mengalami peningkatan dengan meningkatnya tinggi genangan, dan semakin meningkat dengan adanya penambahan bahan organik. Peningkatan ketersediaan P cukup tinggi terjadi pada variasi genangan macak ke ketinggian 10 cm yakni sebesar 2,93 ppm, dan pada tinggi genangan 15 cm P tersedia menjadi 5,33 ppm. Pada unit pengamatan yang disertai dengan pemberian bahan organik 15 t ha<sup>-1</sup> terjadi peningkatan P tersedia dari macak ke tinggi genangan 10 cm sebesar 3,21 ppm, dan pada tinggi genangan 15 cm, ketersediaan P menjadi 4,52 ppm.

Tinggi genangan telah menstimulasi aktivitas mikroorganisme tanah, sekaligus mendorong terjadinya proses reduksi besi Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>2+</sup> di samping mengurangi tingkat kelarutan Al sehingga baik Fe maupun Al berada pada ambang minimal dalam memfiksasi hara P (Lynsay, 1979). Hara-hara yang terikat dengan Fe-P dan Al-P akan dilepas sehingga P menjadi tersedia, dengan reaksi sebagai berikut (Russel, 1973; Lynsay, 1981; Darman, Basir-Cyio, 2000; dan Darman, 2003).



Dari reaksi tersebut terlihat bahwa dengan ditekannya tingkat kelarutan Al<sub>dd</sub> dan Fe ke dalam larutan tanah semakin kecil kapasitasnya dalam memfiksasi hara P, sehingga secara langsung meningkatkan

ketersediaan P dalam bentuk senyawa ortofosfat yang terwedia bagi tanaman.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil yang diperoleh dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut: 1). Tingginya tingkat kelarutan Al dan Fe tanah Ultisol Kulawi merupakan kendala dalam pengelolaannya, yang diindikasikan dengan rendahnya nilai pH dan tingginya nilai Eh. Akibatnya, ketersediaan hara, khususnya P menjadi menurun sehingga menghambat proses pertumbuhan tanaman padi. 2) Dengan *treatment* variasi tinggi genangan yang disertai dengan pemberian bahan organik dapat mereduksi tingkat kelarutan Al dan Fe yang diindikasikan dengan meningkatnya pH dan menurunnya nilai Eh. Penurunan tingkat kelarutan tersebut menjadi minim kemampuannya dalam memfiksasi P sehingga lebih tersedia bagi tanaman. 3) Tinggi genangan antara 10-15 cm dapat menurunkan tingkat kelarutan Al dan Fe, meningkatkan pH dan menurunkan Eh, serta meningkatkan ketersediaan hara P.

### Saran

Masih perlu ada variasi jenis dan takaran bahan organik dengan kombinasi tinggi genangan air antara 10 sampai 15 cm untuk mengetahui efektivitas takaran dan jenis bahan organik dalam mereduksi kelarutan Al dan Fe pada Ultisol Kulawi.

## DAFTAR PUSTAKA

- AARD. 1992. *Agency For Agriculture Research and Development Indonesia Wageningen*. Acid Sulphate Soil in The Humid Tropics: Water and Soil Fertility
- Basir-Cyio, M. 1997. *Reduksi Fluks Metan, Ketersediaan dan Serapan Hara Serta Hasil Padi Kultivar Ir64 Akibat Pemupukan Kalium dan Sulfur Pada Aeris Tropaept*. J. Agroland 15(II): 18 – 25
- Basir-Cyio, M. 2000. *Pengaruh Tinggi Genangan Terhadap Karakteristik Tanah Sawah Ultisol Kulawi*. Jurnal Komunika, Lemlit, Universitas Tadulako.
- Benckiser, G., J.G.G Ottow, S. Santiago, and I. Watanabe. 1982. *Physicochemical Characterization of Iron Toxid Soil in Asian Countries*. IRR I RES. Series 88 : 1 -11.
- Darman, S. 2003. *Pengaruh Penggenangan dan Pemberian Bahan Organic Terhadap Potensial Redoks, pH, Status Fe, P, dan Al Dalam Larutan Tanah Ultisol Kulawi*. J. Agroland 10 No (2); 119-125.
- Soepardi, S. 1983. *Suasana Disawahkan dan Tidak Disawahkan Sehubungan dengan Pupuk P, Pertemuan Teknis Za dan TSP*. Petrokimia Gresik, 36 hal.
- Gotoh, S.H. & Patrick, Jr., 1972. *Transformation of Manganese in Water Logged Soil as Affected by Eh & pH*. Soil Scisoc. Amer. Porc. 34 : 738 – 742
- Hamman. R and J.C.G. Ottow, 1974. *Reductive Dissolution of Fe by Saccarolytic Clostridia and Bacillus polymixa Under Anaerobic Condition*. Institut For Microbiology, Fachbereich Biology, Technische, Hochschule Federal Republic Of Germany.
- Hanson, E. 1996. *Diagnosing and Avoiding Nutrient Deficiencie*. Department of Horticulture MSUE Bulletin E-852, Major Revision.
- Hanson, E. 1996. *Fertilizer Recommendations for Michigan Fruit Crops*. Department of Horticulture MSUE Bulletin E-852, Major Revision.
- Lynsay, W.L., 1979. *Chemical Equalibria in Soil*. Jhon Willey & Sons, Inc. Toronto. 449 hal.
- Ponnamperuma, F.N., 1984. *Effects Of Flooding on soils in T.T*. Koslowski (Ed). Flooding and Plant Growth, P. 10 – 45, Academic Press. Inc.New York.
- Tatu, I. Z. 2001. *Kajian Penggenangan Terhadap Potensial Redoks, Keasaman, dan Status Fe, P, Al Terlarut Tanah Ultisol Kulawi*. Faperta, Univ. Tadulako. Unpublish.
- Smith, R.C. 2007. *Fertilizing Trees*. <http://www.ag.ndsu.edu/>. Diakses pada 24 Desember 2008.