

## STUDI PERUBAHAN KARAKTERISTIK KIMIA ULTISOL PALOLO AKIBAT LAMA DAN TINGGI GENANGAN

*Oleh :*  
*Muhammad Basir Cyio <sup>\*)</sup>*

### ABSTRACT

Effects of flooding on chemical characteristic of ultisol soil from Palolo were investigated in the soil science Laboratory Tadulako University. It was discovered that height and duration of flooding increased soil pH, available P, and reduced potential redox (Eh) and the activity of Al-dd and Fe-dd in soil solution.

**Key words :** Chemical characteristics, ultisol, flooding

### ABSTRAK

Studi mengenai karakteristik kimia Ultisol Palolo akibat penggenangan telah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako. Studi ini dilakukan pada bulan Juli 2001 sampai dengan Oktober 2001. Dalam studi ini digunakan Rancangan Acak Lengkap yang dilanjutkan dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf nyata  $\alpha$  0,05 atau pada tingkat kepercayaan 95 persen. Hasil studi menunjukkan bahwa tinggi dan lama genangan meningkatkan pH tanah, P-tersedia, dan menurunkan secara nyata Potensial Redoks (Eh) serta aktivitas Al-dd dan Fe-dd dalam larutan.

**Kata kunci :** Karakteristik kimia, ultisol palolo, dan genangan

### I. PENDAHULUAN

Kualitas sumber daya tanah yang rendah dapat mengancam keberhasilan usaha pertanian, serta berdampak luas dalam peningkatan pendapatan masyarakat tani. Bila kondisi ini kurang dipahami dan tidak dilakukan langkah antisipatif, maka untuk jangka waktu lama dapat mempengaruhi kekokohan perekonomian di Indonesia.

Peningkatan jumlah penduduk yang terus bertambah rata-rata 2,5 persen per tahun, merupakan stimulan yang bermuara pada kondisi ketidakseimbangan antara kapasitas penyediaan pangan dari sektor pertanian dengan jumlah populasi penduduk yang akan mengkonsumsinya. Makin besar gradient keduanya semakin besar pula ancaman terhadap stabilitas ekonomi sehingga bila kurang dikendalikan dapat berdampak pada stabilitas sosial. Untuk maksud eliminasi melalui perimbangan antara kebutuhan dengan

kapasitas produksi, kesuburan tanah yang ditopang dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, merupakan langkah awal yang harus dideteksi. Karakteristik-karakteristik tanah merupakan kunci penentu dalam menilai baik tidaknya karakteristik suatu tanah dalam satu bentangan lahan.

Karakteristik tanah dan ketersediaan hara suatu lahan pada kondisi aerobik akan berbeda pada waktu disawahkan atau tergenang (anaerobik). Penggenangan lahan kering menjadi lahan sawah mengakibatkan terjadinya perubahan potensial redoks (Eh), pH tanah, ketersediaan hara, baik yang berperan positif bagi pertumbuhan tanaman maupun yang mengganggu, termasuk aktivitas Al dan Fe dalam larutan. Di samping itu Ponnampereuma (1976) dan Basir-Cyio (1997) menyatakan, perubahan karakteristik kimia yang dominan di antaranya adalah : (1) Penurunan kadar oksigen, (2) Perubahan potensial redoks, (3) Perubahan pH, (4) Reduksi feri ( $Fe_3^+$ ) menjadi

\*) Staf Pengajar pada Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Tadulako, Palu.

fero ( $\text{Fe}_2^+$ ), (5) Perubahan mangan ( $\text{Mn}_4^+$ ) menjadi mangan ( $\text{Mn}_2^+$ ), (6) terjadinya denitrifikasi, (7) Reduksi sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) menjadi sulfid ( $\text{S}^{2-}$ ), (8) Peningkatan ketersediaan Zn dan Cu, (9) terjadinya pelepasan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan asam organik.

Secara khusus, Hamman dan Ottow (1974) menyatakan, penggenangan, termasuk tinggi dan lama periode genangan, menyebabkan perubahan karakteristik kimia, fisik, elektrokimia dan biologik tanah yang menstimulasi hubungan tanaman dengan tanah sangat berbeda dengan hubungan tanaman dengan tanah pada tanah-tanah yang tidak tergenang.

Tanah tergenang mengalami kemerosotan kepekatan oksigen secara drastis melalui proses deplesi sehingga kepekatannya dapat mencapai titik nol. Dalam kondisi demikian, kehidupan jasad renik aerobik berubah menjadi kehidupan jasad renik anaerobik (Lindsay, 1979). Perubahan susunan jasad mikro menyebabkan perubahan-perubahan biokimia dalam tanah. Peranan biokimia jasad mikro meliputi proses pelarutan, fiksasi, mineralisasi, immobilisasi, serta oksidasi dan reduksi. Peranan biokimia yang terpenting bagi bakteri pada tanah tergenang adalah proses reduksi oleh berbagai unsur. Nitrat, oksidasi mangan, oksidasi besi dan sulfat direduksi oleh bakteri anaerobik. Aktivitas jasad mikro tidak hanya menyangkut perubahan komponen organik dan anorganik, tetapi juga perubahan pH dan potensial redoks.

Reaksi tanah (pH) dan Potensial redoks (Eh) menentukan transformasi biogeokimia pada tanah di mana hara tanah dapat menjadi lebih tersedia, meracun atau tidak tersedia karena mengendap atau hilang melalui pencucian. Studi ini lebih diarahkan pada pengkajian potensial redoks, pH, dan status Al, Fe, dan P-tersedia pada beberapa variasi lama dan tinggi genangan.

Penggenangan pada sistem persawahan akan mengakibatkan terjadinya perubahan potensial redoks (Eh). Pada lahan sawah, nilai potensial redoks berkisar antara 700 mV sampai

-300mV (Ponnamperuma, 1974) dan (Sumarni, 1993). Sementara itu, Basir-Cyio (1997) dalam kajiannya pada sawah tadah hujan menyatakan bahwa penurunan potensial redoks bervariasi dan dapat mencapai pada nilai Eh di atas 60 mV. Penurunan potensial redoks pada tanah yang mempunyai kadar Fe rendah lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang mempunyai kadar Fe yang tinggi.

## II. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Waktu Dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2001 sampai dengan Oktober 2001, dengan lokasi pengambilan sampel Kecamatan Palolo, Kabupaten Donggala. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako.

### 2.2 Metode

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial. Faktor pertama adalah variasi lama genangan yang terdiri atas 3 taraf, yaitu (a) 2 minggu ( $L_1$ ); (b) 4 minggu ( $L_2$ ); (c) 6 minggu ( $L_3$ ), sedangkan faktor kedua adalah variasi tinggi genangan yang terdiri atas tiga taraf, yaitu (a) Macak ( $T_1$ ); (b) 5 cm ( $T_2$ ); dan (c) 10 cm ( $T_3$ ). Variabel yang diamati meliputi pH, Eh, P tersedia, Al-dd, H-dd, Fe dalam larutan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Karakteristik Ultisol Palolo

Karakteristik Ultisol Palolo masuk kelas tekstur lempung dengan persebaran fraksi 45,5 % pasir, 34,5 % debu, dan liat 20%. Reaksi tanah (pH) tergolong masam dengan pH 5,4. Kesuburan tanahnya tergolong rendah dengan anasir C- organik 0,68%, N-total 0,14, C/N ratio tinggi (16), P-tersedia (Bray I) rendah (13,27 ppm), P-total sangat rendah (7,01 mg/100g), sementara K dan N tergolong rendah masing-masing 0,18 dan 0,10 me/100g. Untuk KTK tergolong sedang dengan nilai 20,94 me/100g tanah.

Pada pH tanah rendah menjadi indikator terjadinya proses stimulasi terhadap kelarutan Al dan Fe cenderung memfiksasi P tanah, yang berakibat pada terbatasnya peluang tanaman mendapatkan suplai hara dari larutan tanah. Pada pH di bawah 6,0, aktivitas berbagai anasir, khususnya hara mikro mengalami peningkatan, walaupun tidak secara langsung mampu menekan ketersediaan hara makro lainnya. Spesifikasi hara makro yang difiksasi, tergantung pada kondisi keseimbangan reaksi dalam tanah, yang secara indikator diperlihatkan oleh perubahan Eh tanah sebagai rentetan pergerakan elektron yang dilepaskan dalam suatu reaksi oksidasi dan reduksi (AARD, 1992).

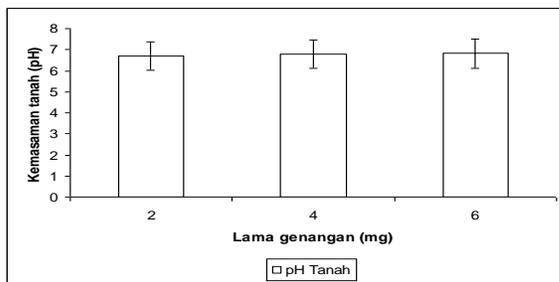
### 3.2. Reaksi Tanah (pH) dan Potensial Redoks (Eh)

Hasil analisis varians pH dan Eh tanah memperlihatkan adanya pengaruh yang signifikan setelah digenangi, baik karena variasi ketinggian maupun karena lama genangan, walaupun keduanya tidak signifikan berpengaruh secara interaksi (Tabel 1 dan 2) serta tersaji secara integratif pada Gambar 1.

Tabel 1. Rata-rata pH pada Beberapa Variasi Genangan

Lama Penggenangan (L) (minggu)	Tinggi Genangan (T) (cm)			Rata-rata
	Macak	5	10	
2	6,63	6,75	6,71	6,70 b
4	6,77	6,81	6,76	6,78 a
6	6,79	6,83	6,80	6,81 a
Rata-rata	6,73	6,79	6,76	

Ket : Angka-angka yang ditandai huruf sama pada baris atau kolom yang sama tidak berbeda pada taraf uji Duncan's 5%.



Gambar 1. Hubungan antara lama genangan dengan variasi pH tanah

Tabel 1 dan Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai pH tanah semakin mendekati netral dengan semakin lamanya periode genangan. Nilai pH tertinggi diperoleh pada penggenangan 6 minggu (6,81), tidak berbeda dengan penggenangan 4 minggu (6,78), tetapi berbeda dengan penggenangan 2 minggu (6,69) sebagai nilai pH tanah terendah. Variasi seperti itu juga terlihat pada nilai Eh tanah sebagaimana dalam Tabel 2 dan Gambar 2.

Tingginya pH pada penggenangan 6 minggu membuktikan bahwa penggenangan menyebabkan pH tanah masam naik mendekati nilai netral saat 6-7 minggu setelah penggenangan. Kenaikan tersebut disebabkan bertambahnya kepekatan ion  $\text{OH}^-$  akibat reduksi ferrihidroksida  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$  sebagaimana terurai dalam reaksi berikut:



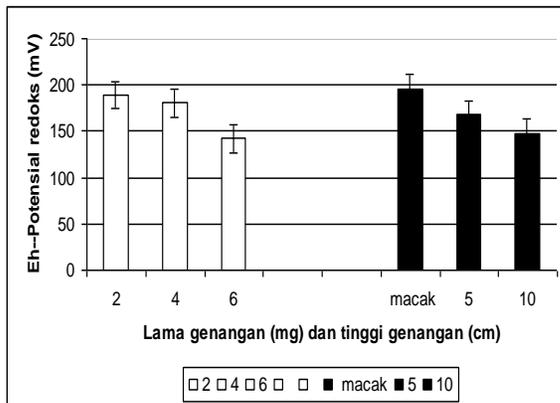
Selain reduksi besi, peningkatan pH tersebut juga disebabkan oleh beberapa unsur lain seperti nitrogen dan sulfur yang ion  $\text{OH}^-$  saat tereduksi sehingga kepekatan  $\text{OH}^-$  semakin bertambah, namun demikian, transformasi besi merupakan proses paling penting yang mempengaruhi perubahan pH tanah.

Pada dasarnya, naik turunnya pH tanah merupakan fungsi dari ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  sehingga dapat pula dijustifikasi bahwa peningkatan pH sebagai akibat langsung pengaruh ion  $\text{H}^+$  akibat penggenangan, yang dapat pula proses depleksi  $\text{O}_2$  yang menstimulasi terjadinya pelepasan  $\text{CO}_2$  dan pengikatan  $\text{H}^+$ . Kondisi demikian mendorong penurunan konsentrasi hidrogen (Tatu, 2001 dan Isnaeni, 1996). Hal ini berarti bahwa jika konsentrai  $\text{OH}^-$  naik dan konsentrasi  $\text{H}^+$  turun, maka pH akan naik. Namun demikian perubahan pH juga dipengaruhi oleh kondisi pH tanah awal, keadaan kandungan bahan-bahan yang teroksidasi, serta kandungan dan jenis bahan organik yang ada di dalam tanah.

Tabel 2. Rata-rata Eh (mV) pada Berbagai Variasi Genangan

Lama Penggenangan (L) (minggu)	Tinggi Genangan (T) (cm)			Rata-rata
	Macak	5	10	
2	212,00	183,45	171,67	189,04c
4	210,68	178,55	152,19	180,47b
6	164,74	142,57	119,23	142,18a
Rata-rata	195,81 C	168,19 B	147,70 A	

Ket : Angka-angka yang ditandai huruf sama pada baris atau kolom yang sama tidak berbeda menurut uji Duncan's pada taraf uji 5%



Gambar 2. Hubungan lama dan tinggi genangan terhadap pH dan Eh Tanah

Gambar 1 dan 2 mengindikasikan bahwa perbedaan lama genangan menyebabkan pH dan Eh tanah berbeda. Semakin lama genangan, potensial redoks semakin rendah, dan nilai terendah diperoleh pada lama genangan 6 minggu (142,18 mV), jauh lebih rendah dibandingkan dengan lama genangan 2 minggu (189,04 mV) dan 4 minggu (180,47 mV). Hal ini membuktikan bahwa potensial redoks mengalami perubahan akibat penggenangan, dan perubahan tersebut berbanding terbalik dengan perubahan pH. Semakin tinggi pH tanah semakin rendah potensial redoks, demikian sebaliknya. Sumarni (1993) menjastifikasi bahwa kenaikan 1 unit pH tanah menyebabkan turunnya Eh tanah sekitar 270 – 450 mV, bergantung pada faktor lain yang mempengaruhinya.

Kenaikan potensial redoks selain karena adanya perubahan pH, juga kadar perubahan

aktivitas ion Fe. Ponnamparuma (1976) dan hasil kajian Basir-Cyio (1997) menyatakan bahwa penurunan potensial redoks pada tanah yang mempunyai kadar Fe rendah, lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang mempunyai kadar Fe tinggi. Pada penelitian ini, kadar Fe terendah diperoleh pada periode penggenangan 6 minggu.

### 3.4. Aluminium (Al)

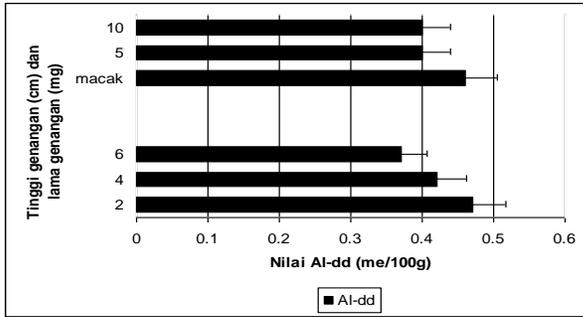
Hasil analisis ragam Al-dd pada beberapa variasi genangan menunjukkan adanya pengaruh signifikan, walaupun antara lama dan tinggi genangan tidak berinteraksi. Rata-rata hasil pengukuran Al-dd disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata Al-dd pada Berbagai Variasi Genangan.

Lama Penggenangan (L) (minggu)	Tinggi Genangan (T) (cm)			Rata-rata
	Maca k	5	10	
2	0,50	0,44	0,48	0,47 c
4	0,47	0,39	0,40	0,42 b
6	0,41	0,37	0,32	0,37 a
Rata-rata	0,46 B	0,40 A	0,40 A	

Ket : Angka-angka yang ditandai huruf sama pada baris atau kolom yang sama tidak berbeda pada taraf uji Duncan's 5%.

Pada Tabel 3 di atas terlihat bahwa Al-dd menurun dengan semakin lama dan semakin tingginya genangan. Al-dd terendah tampak pada penggenangan 6 minggu (0,37 me/100g), berbeda dengan penggenangan 4 minggu (0,42 me/100g) dan 2 minggu (0,47 me/100g). Sementara untuk pengaruh tinggi genangan, Al-dd terendah (0,40 me/100 g) tampak pada tinggi genangan 10 cm dan tidak berbeda dengan tinggi genangan 5 cm (0,40 me/100 g), tetapi berbeda dengan kondisi macak (0,46 me/100 g), yang secara visual disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara Tinggi dan Lama Genangan terhadap Al-dd

Gambar 3 menunjukkan bahwa penurunan nilai Al-dd dengan semakin lamanya genangan merupakan bukti indikatif adanya pola berkebalikan antara pH dengan Al-dd tanah. Pada nilai pH tertinggi (6,81) diperoleh kandungan Al-dd terendah saat periode genangan mencapai 6 minggu.

Sejumlah kajian membuktikan bahwa pada pH tanah 5,5 terjadi pengendapan Al-dd sebab saat yang bersamaan anasir aluminium menempati kompleks jerapan menggantikan kation-kation polivalen, seperti  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$ . Kondisi demikian dapat menstimulasi dalam mereduksi tingkat toksisitas aluminium. Di samping itu, kelarutan Al mulai terjadi saat pH tanah  $< 4,5$ .

### 3.5. Besi (Fe)

Hasil analisis varians anasir besi (Fe) pada beberapa variasi genangan, hanya faktor lama genangan yang signifikan, sementara tinggi dan interaksi keduanya tidak signifikan. Nilai rata-rata Fe akibat lama genangan disajikan dalam Tabel 4.

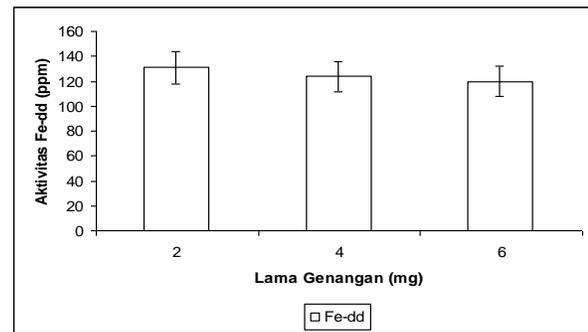
Tabel 4. Rata-rata Nilai Fe pada Berbagai Variasi Genangan

Lama Penggenangan (L) (minggu)	Tinggi Genangan (T) (cm)			Rata-rata
	Macak	5	10	
2	127,96	135,51	129,60	131,02 b
4	124,17	126,26	120,48	123,64 a
6	119,63	120,55	119,72	119,97 a
Rata-rata	123,92	127,44	123,27	

Ket : Angka-angka yang ditandai huruf sama pada baris dan kolom yang sama tidak berbeda pada taraf uji Duncan's 5%.

Dari Tabel 4 di atas terlihat bahwa perbedaan lama genangan menyebabkan Fe juga berbeda. Fe terendah (119,97 ppm) tampak pada lama genangan 6 minggu yang tidak berbeda dengan penggenangan 4 minggu (123,64 ppm), namun berbeda dengan penggenangan 2 minggu (131,02 ppm)

Rendahnya Fe pada lama genangan 6 minggu dibandingkan dengan lama genangan 4 minggu membuktikan bahwa Fe semakin menurun dengan semakin lamanya genangan. Penurunan tersebut sejalan dengan tingginya pH pada penggenangan 6 minggu sebagaimana terlihat dalam Tabel dan Gambar 1. Semakin tinggi pH kelarutan Fe semakin rendah, sebaliknya semakin rendah pH kelarutan Fe semakin tinggi seperti yang dinyatakan oleh Tan (1982) terhadap tiga anasir Al, Fe, dan Mn yang berpotensi bersifat toksik pada tanaman.



Gambar 4. Hubungan antara Lama Genangan dengan Aktivitas Fe-dd

Perubahan tingkat kelarutan besi berkaitan dengan perubahan bentuk besi akibat penggenangan. Perubahan dari suasana oksidatif ke reduktif mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk besi dari ferri tereduksi menjadi ferro dan larut dalam air tanah. Perubahan tersebut mungkin disebabkan karena aktifnya bakteri anaerob yang dalam melakukan respirasi tidak menggunakan  $O_2$  sebagai akseptor elektron akibat adanya kondisi deplesi  $O_2$ , melainkan menggunakan ion ferri sehingga ferri berubah menjadi ferro yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi ferro di dalam tanah. Meningkatnya konsentrasi ferro di dalam tanah berarti kelarutan Fe meningkat karena ferro lebih larut dibandingkan dengan ferri.

Konsentrasi ferro di dalam tanah dipengaruhi oleh lama genangan, sebagaimana terlihat pada periode genangan 6 minggu diperoleh konsentrasi ferro tertinggi dibandingkan pada lama genangan yang lainnya.

Perubahan reduksi ferri menjadi ferro terjadi pada semua taraf lama genangan dengan potensial redoks berkisar antara +200 sampai +100 dengan pH berkisar antara 6 sampai 7. Hamman dan Ottow (1974) dan Patric dan Reddy (1978) menyatakan bahwa perubahan besi ferri menjadi ferro terjadi pada nilai potensial redoks +300 mV dengan pH 6, potensial redoks +100 mV dengan pH 7, dan pada potensial redoks - 100 dengan pH 8.

### 3.6 Fosfor (P)

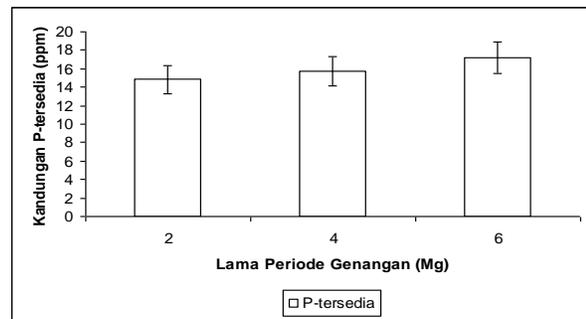
Hasil analisis varians P-tersedia pada berbagai variasi genangan menunjukkan adanya pengaruh, walaupun secara statistika hanya pengaruh faktor lama genangan yang signifikan, sebagaimana disajikan dalam Tabel 5.

Kandungan P-tersedia berkecenderungan mengikuti pola pH tanah (Hamman dan Ottow, 1974). P-tersedia tertinggi tampak pada periode lama genangan 6 minggu (16,81 ppm) yang secara statistika berbeda nyata dengan periode genangan 2 minggu (14,83 ppm) dan 4 minggu (15,77 ppm), sedangkan antara lama genangan 2 dan 4 minggu keduanya tidak berbeda nyata. Reaksi tanah paling tinggi (6,81) diperoleh kandungan P-tersedia yang paling tinggi pula, yaitu 17,10 ppm.

Tabel 5. Rata-rata P-tersedia pada Berbagai Variasi Genangan

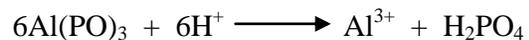
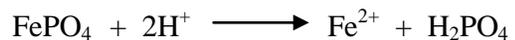
Lama Penggenangan (L) (minggu)	Tinggi Genangan (T) (cm)			Rata-rata
	Macak	5	10	
2	13,45	15,20	15,83	14,83 b
4	15,36	15,85	16,10	15,77 b
6	16,52	17,64	17,13	17,10 a
Rata-rata	15,11	16,23	16,35	

Ket: Angka-angka yang ditandai huruf sama pada baris atau kolom yang sama tidak berbeda pada taraf uji 5%



Gambar 5. Hubungan Lama Genangan dengan P-tersedia (ppm)

Ponnamperuma (1977) dan AARD (1992) menyatakan, peningkatan pH menyebabkan peningkatan ketersediaan P sebagai akibat menurunnya tingkat kelarutan dan aktivitas Al, Fe, dan Mn yang berpotensi melakukan fiksasi terhadap P, dengan bentuk reaksi keseimbangan sbb:



Tan (1982) menegaskan bahwa kelarutan P dipengaruhi oleh pH dan Eh tanah. Penurunan Eh akan meningkatkan P terlarut karena berubahnya  $\text{FePO}_4$  yang sukar larut menjadi  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$  yang lebih larut. Kenaikan pH juga akan meningkatkan kelarutan P, karena  $\text{AlPO}_4$  berubah menjadi  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat dikemukakan dari hasil studi ini adalah sbb:

1. Faktor genangan, baik lama maupun tinggi genangan secara statistika berpengaruh terhadap sejumlah anasir tanah Ultisol Palolo, walaupun keduanya tidak secara interaksi.
2. Lama genangan 6 minggu dan tinggi genangan 10 cm menghasilkan potensial redoks terendah dan pH tertinggi yang disertai dengan penurunan aktivitas Al, Fe, dan Mn serta meningkatkan P-tersedia dalam tanah. Pada lama genangan 6 minggu diperoleh nilai pH 6,81 (netral) dengan

nilai Eh terendah 142,18 mV. Pada kondisi yang sama, ketersediaan P meningkat menjadi 17,10 ppm atau naik sekitar 15,31 % dibandingkan dengan lama genangan 2 minggu.

#### 4.2 Saran

Disarankan agar studi ini dilanjutkan agar memberi informasi lebih bersifat aplikatif melalui kajian tindak lanjut dalam bentuk plot agar perubahan karakteristik kimia tanah terukur bisa lebih mendekati kondisi riil di

lapangan. Lama genangan dan tinggi genangan dapat dijadikan sebagai asumsi dasar dalam pemanfaatan air irigasi di persawahan. Lama genangan terindikasikan mempunyai efektivitas yang lebih besar dibandingkan dengan tinggi genangan dari permukaan tanah. Berdasarkan itu, lama genangan dapat menjadi referensi awal sebagai salah satu faktor yang berefek nyata dalam perubahan karakteristik kimia tanah.

### DAFTAR PUSTAKA

- AARD. 1992. *Acid Sulphate Soils in The Humid Tropics; Water and Soil Fertility*. Agency for Agricultural Research and Development-LAWOO. Indonesia-Wageningen.
- Basir-Cyio,M. 1997. *Reduksi Fluks Metan, Ketersediaan dan Serapan Beberapa Unsur Hara Serta Hasil Padi (Oryza sativa L) Kultivar IR 64 Akibat Pemupukan Kalium dan Sulfur pada Aeric Tropaquept*. Majalah Ilmiah edisi Maret, PPs-Unpad.
- Tan, K.H. 1982. Principle of soil chemistry. Terjemahan Goenadi. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sumarni, 1993. *Pemupukan K dan Zn Sebagai Usaha Penanggulangan Keracunan Besi pada Padi Sawah di Lahan Vertisols Cianjur dan Inceptisol Purwakarta*. Disertasi, PPs Universitas Padjajaran, Bandung.
- Hamman. R. dan J.C.G. Ottow. 1974. *Reductive Dissolution of Fe by saccharolyti, clostridia and Bacillus polymixa under anaerobic condition*. Institute for Microbiology, Germany.
- Ponnamperuma,F.N. 1976. *Spesific Soil Chemical Characteristics for Rice Production in Asia*. IRRI Res., Philippines.
- Ponnamperuma,F.N. 1977. *Physicochemical Properties of Submerged Soils in Relation to Fertility*. IRRI, Philippines.
- Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibria in soil*. Jhon Willey & Sons, inc. Toronto
- Isnaini,S. 1996. *Kandungan C-organik, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Tanah, Bobot Kering Tanaman, Serapan N dan Hasil Gabah Akibat Penerapan Sistem Olah Tanah dan Tingkat Dosis Pupuk N pada Tanah Sawah*. Tesis PPs, Universitas Padjajaran, Bandung.
- Tatu, I. 2001. *Kajian penggenangan terhadap potensial redoks, pH dan status Fe, P dan Al Pada Tanah Ultisol Kulawi*. Universitas Tadulako, Palu.