

DAMPAK PEMBERIAN Fe^{3+} DAN ZEOLIT TERHADAP KANDUNGAN BEBERAPA DERIVAT ASAM-ASAM FENOLAT DALAM TANAH GAMBUT LUNANG SILAUT SUMATERA BARAT

Murnita

Agriculture Faculty Universitas Ekasakti Padang

email: murnita12@gmail.com

Abstract

In the development of peatland for plants, especially paddy fields, there are some limiting factors. One of them is that high content of phenolic acid can be toxic to plants. Therefore, this research is conducted to discuss how to overcome the problem. In this research, the use of Fe^{3+} and zeolite as ameliorants to reduce phenolic acid derivatives content in peat soils. The research was conducted in the laboratory. Peat soil samples are taken from Lunang Silaut, West Sumatera which consist of two decomposition; namely sapric and hemic. The use of Fe^{3+} from $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ consists of two levels, namely 0 and 2.5% of Fe^{3+} maximum absorption. While the zeolite used was: 0; 0.25; 0.50; 0.75; 1.00; 1.25; 2.00; 2.50 and 3.00% of absolute dry weight peat soils. Measurement of phenolic acid derivatives is carried out using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). From the results of phenolic acid measurement showed that the concentration of phenolic acid in peatland of Lunang Silaut from the highest to the lowest are: ferulic > p-hydroxybenzoic > vanilic > p-coumaric > syringic acid. The content of phenolic acid in sapric peat is lower than in the hemic peat. The application of Fe^{3+} and zeolite as ameliorants can decrease phenolic acid content in the peat soils. Concentration of phenolic acid with the use of Fe^{3+} as ameliorant is lower than with the use of zeolite. The application of 2,5% of Fe^{3+} maximum absorption and zeolite 3% dry weight can reduce the concentration of phenolic acid in peatland by about 49%.

Keywords: soil ameliorant, Fe^{3+} , zeolite, and phenolic acid derivatives

PENDAHULUAN

Tanah gambut bukan lahan yang tetap lestari dan tidak berkelanjutan karena lahan-lahan gambut yang telah rusak. Rusaknya lahan gambut disebabkan oleh akibat perbuatan manusia. Ratmini (2012) menjelaskan bahwa kerusakan ekosistem gambut berdampak besar terhadap lingkungan setempat (*in situ*) maupun lingkungan sekelilingnya (*ex situ*). Kejadian banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu dampak dari rusaknya ekosistem gambut. Deforestasi hutan dan penggunaan lahan gambut untuk sistem pertanian yang memerlukan drainase dalam (> 30 cm) serta pembakaran atau kebakaran menyebabkan emisi CO_2 menjadi sangat tinggi.

Manusia yang melirik lahan gambut untuk dijadikan lahan pertanian perkebunan. Akan tetapi secara alami tanah gambut akan sulit dimanfaatkan untuk usaha pertanian karena baik secara fisik maupun kimia memiliki berbagai kendala untuk pertumbuhan tanaman. Dari segi kimia dapat beberapa masalah yang dijumpai pada tanah gambut yaitu: (a) tanah yang tergolong sangat masam; (b) kandungan hara makro dan mikro rendah; (c) kapasitas tukar kation yang tinggi sedangkan kejenuhan kation rendah; (d) unsur mikro seperti Cu, Zn, Mn dan Fe sukar tersedia bagi tanaman karena terikat dalam bentuk khelat; dan (e) tingginya asam-asam organik tanah yang berpengaruh langsung dan dapat bersifat racun bagi tanaman, terutama asam-asam fenolat.

Asam-asam fenolat yang bersifat racun yang menyebabkan pertumbuhan



tanaman terhambat. Jenis asam-asam fenolat yang dijumpai dalam tanah adalah asam vanilat, p-kumarat, p-kumarat benzoat, salisilat, galat, gentisat dan asam syringat (Tsutsuki, 1984 dalam Hartatik, Subiksa dan Dariah, 2012). Asam-asam fenolat ini selain menghambat perkembangan akar juga penyediaan hara di dalam tanah (Hartatik *et al.*, 2012). Pengaruh asam-asam fenolat terhadap tanaman budidaya antara lain: (1) pada kadar 250 μM menurunkan secara nyata serapan kalium pada barley; (2) pada kadar 500 - 1000 μM menurunkan serapan hara fosfor pada tanaman kedelai; (3) pada kadar 0,6 - 3,0 μM dapat menghambat pertumbuhan akar padi sampai 50%; (4) pada kadar 0,001 - 0,1 μM dapat mengganggu pertumbuhan beberapa tanaman (Takajima, 1960 dalam Hartatik *et al.*, 2012). Menurut Wang *et al.* (1975) dalam Hartatik *et al.* (2012) pada konsentrasi antara 7 - 70 μM hidrosibenzoat dapat menekan tanaman jagung, gandum, kacang-kacangan, sedang pada konsentrasi > 180 - 360 μM dapat mengganggu pertumbuhan akar tebu.

Oleh karena itu untuk meningkatkan produktivitas tanah gambut, maka tanahnya harus diperbaiki terlebih dahulu, yaitu dengan memberikan bahan sebagai *soil ameliorant*. Konsep pembenahan tanah ini sudah banyak dilakukan dengan pemakaian kation Fe^{3+} dalam bentuk $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Saragih, 1996 Murnita, 2001), Salampak (1996) dengan menggunakan tanah mineral yang kaya Fe^{3+} . Selanjutnya Subiksa, Hartatik dan Agus (2011) menjelaskan bahwa ameliorasi diperlukan untuk mengatasi kendala pada lahan gambut yang berkaitan dengan reaksi tanah masam dan asam organik beracun. Bahan-bahan yang dapat diberikan sebagai bahan amelioran adalah kapur, tanah mineral, pupuk kandang, dan abu sisa pembakaran untuk meningkatkan pH dan basa-basa. Berdasarkan data secara keseluruhan, nilai basa-basa yang dapat ditukar pada lahan gambut di berbagai penggunaan lahan tergolong rendah.

Dariah, Wahyunto, Pitono (2010) menyatakan bahwa kejenuhan basa tanah gambut sangat rendah, yang berakibat terhadap rendahnya ketersediaan hara terutama K, Ca, dan Mg. Salah satu yang dapat digunakan untuk benihkan kejenuhan basa tanah gambut adalah zeolit. Menurut Poerwadi, Zacob, dan Syamsudin (2014) zeolit merupakan suatu senyawa alumina silika terhidrasi yang mengandung kation atau alkali tanah. Kation ini dapat bersifat sebagai garam basa kuat. Apabila zeolit dikocok dengan air, maka terjadi hidrolisis dan dihasilkan basa-basa bebas dan dapat menyebabkan kenaikan pH. Selanjutnya Febrianto (2011) dari hasil uji laboratorium bubuk zeolite ini mengandung unsur utama natrium (Na_2O), magnesium (MgO), kalsium (CaO), mangan (Mn) dan silika (SiO_2). Diharapkan dengan adanya kation Na, Mg, Ca dan Mn pada zeolit bereaksi dengan asam akibatnya konsentrasi asam-asam fenolat berkurang dalam tanah gambut.

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis melakukan suatu penelitian tentang: Dampak Pemberian Fe^{3+} dan Zeolit terhadap Kandungan Beberapa Derivat Asam-Fenolat dalam Tanah Gambut Lunang Silaut Sumatera Barat". Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari dampak pemberian Fe^{3+} dan zeolit dalam menurunkan konsentrasi beberapa asam-asam fenolat pada gambut.

METODE PENELITIAN

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah gambut dari



Lunang Silaut dengan tingkat dekomposisi hemik dan saprik. Bahan percobaan yang digunakan yaitu: zeolit (klinoptilolit dan modernit) 20 - 40 mesh diambil dari daerah Bayah, Sukabumi (sebelum digunakan diaktivasi dulu secara pemanasan pada suhu 200°C selama 4 jam). Sedangkan Fe³⁺ yang dipakai dalam bentuk FeCl₃.6H₂O. Bahan kimia yang dipakai adalah CaCl₂. Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian adalah HPLC (*High performance Liquid Chromatography*) dengan menggunakan kolom fase balik (*reversed-phase*) yakni kolom C₁₈ dengan merek μbondapak™ ukuran 3,9 x 150 mm dan detector UV dengan lampu 5.500 Beckman, serta peralatan laboratorium lainnya.

Takaran zeolit yang digunakan adalah: 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2; 2,5; dan 3,0 % dari berat kering mutlak (BKM) tanah gambut. Takaran Fe yaitu sebesar 2,5% erapan maksimum Fe³⁺. Adapun erapan maksimum Fe³⁺ untuk tanah gambut Lunang Silaut dengan tingkat dekomposisi saprik 22.574 ug/g dan hemik 25.201 ug/g.

Delaksanaan percobaan adalah sebagai berikut: contoh gambut setara 1 g bobok kering oven 85°C ditimbang dan dimasukkan ke dalam tabung plastik ukuran 200 ml. Berikan larutan Fe³⁺ yang berasal dari FeCl₃.6H₂O dengan 2 taraf 1 dan 2,5% erapan maksimum Fe³⁺serta zeolit sesuai dengan perlakuan. Untuk memberikan kekuatan ionik yang sama pada semua unit percobaan ditambahkan 5 ml larutan 0,06 M CaCl₂ (menjadi 0,01 M CaCl₂ dalam 30 ml larutan contoh).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran konsentrasi beberapa asam-asam fenolat dalam tanah gambut disajikan pada Tabel 1 dan 2, Gambar 1 dan 2. Dari data konsentrasi asam-asam fenolat yang diperoleh dalam tanah gambut menunjukkan bahwa kandungan asam-asam fenolat yang tinggi dijumpai pada gambut saprik (Tabel 1 dan Gambar 1) dan yang terendah pada gambut hemik (Tabel 2 dan Gambar 2). Perbedaan konsentrasi ini menunjukkan bahwa semakin terhumufikasi gambut, maka semakin banyak diproduksi asam-asam fenolat yang merupakan salah satu kelompok unit pembangun asam-asam humik. Sebagaimana diketahui bahwa gambut saprik mengandung lebih banyak humus. Bahan humus merupakan hasil akhir dari proses humifikasi yang terjadi di dalam tanah gambut dan bersifat stabil. Sebagaimana dijelaskan oleh Suwondo, Sabiham, Sumardjo, dan Manandya (2011) pada masing-masing kedalaman tanah gambut memiliki kadar serat yang berbeda pada setiap titiknya, tetapi pada kedalaman yang sama pada setiap titik yang berbeda memiliki kadar serat yang hampir sama. Secara umum tingkat kematangan gambut yang sama. Secara umum tingkat dekomposisi pada lapisan gambut pada lapisan atas dan di atas muka air tanah lebih tinggi atau lebih lanjut daripada lapisan gambut di bawah muka tanah.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk keperluan penelitian keilmiah.
- b. Pengutipan tidak merugikan pihak yang bersangkutan.

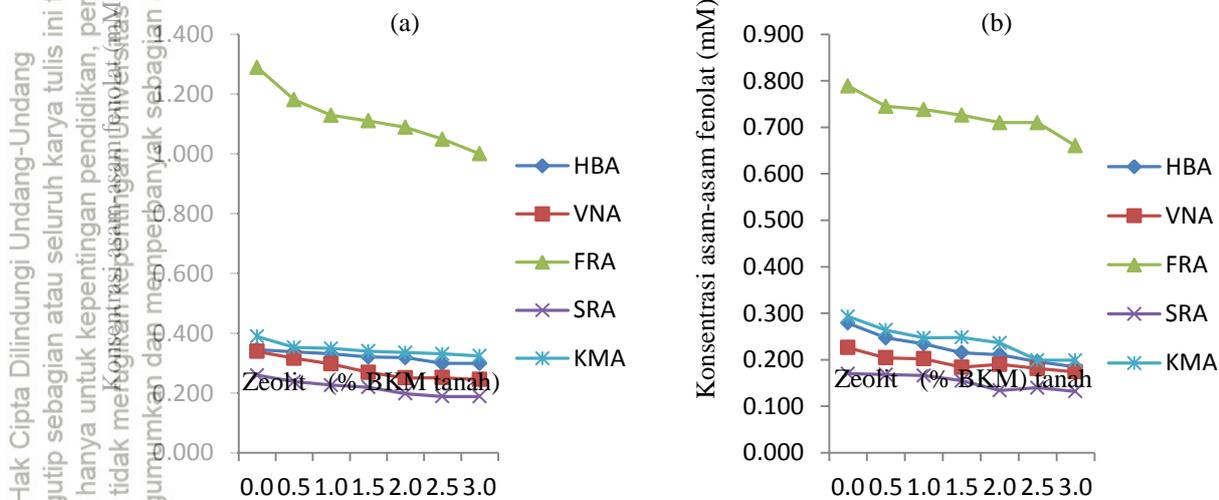
2. Dilarang mengumumkannya atau memperjual belikan sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun.



Tabel 1. Konsentrasi asam-asam fenolat pada tanah gambut Lunang Silaut dengan tingkat dekomposisi saprik akibat pemberian Fe³⁺ dan zeolit

Fe ³⁺ (erapan maksimum)	Zeolit (% BKM tanah)	Konsentrasi asam-asam fenolat (nM)				
		HBA	VNA	FRA	SRA	KMA
0,0	0,0	0,345	0,339	1,289	0,259	0,389
	0,5	0,337	0,316	1,181	0,238	0,352
	1,0	0,331	0,297	1,129	0,226	0,349
	1,5	0,320	0,269	1,110	0,219	0,340
	2,0	0,318	0,250	1,089	0,198	0,335
	2,5	0,299	0,251	1,049	0,188	0,331
	3,0	0,299	0,245	1,000	0,188	0,324
2,5	0,0	0,279	0,226	0,789	0,170	0,293
	0,5	0,247	0,204	0,745	0,168	0,264
	1,0	0,234	0,202	0,738	0,166	0,247
	1,5	0,215	0,184	0,726	0,155	0,248
	2,0	0,211	0,190	0,710	0,134	0,236
	2,5	0,196	0,181	0,710	0,140	0,199
	3,0	0,185	0,174	0,660	0,132	0,199

Dari hasil penelitian ini diperoleh, konsentrasi asam-asam fenolat dalam tanah gambut tanpa perlakuan dengan tingkat dekomposisi saprik dan hemik mula-mula dari konsentrasi tertinggi hingga terendah adalah asam ferulat (FRA) > asam p-kumarat (KMA) > asam p-hidroksibenzoat (HBA) > asam vanilat (VNA) > asam siringat (SRA). Tanah gambut dengan tingkat dekomposisi saprik (Tabel 1), konsentrasi asam ferulat 1,289 mM; asam p-kumarat 0,389 mM; asam p-hidroksibenzoat 0,345 mM; asam vanilat 0,339 mM; dan asam siringat 0,259 mM. Sedangkan untuk tanah gambut dengan tingkat dekomposisi hemik (Tabel 2), konsentrasi asam ferulat 0,749 mM; asam p-kumarat 0,334 mM; asam p-hidroksibenzoat 0,308 mM; asam vanilat 0,244 mM; dan asam siringat 0,196 mM. Konsentrasi ini termasuk tinggi dan terletak pada kisaran toksik bagi tanaman, yaitu 0,1 - 1 mM (Whitehead, Dobbie and Hartley. 1981).



Gambar 1. Konsentrasi asam-asam fenolat pada tanah gambut Lunang Silaut dengan tingkat dekomposisi saprik: (a) - Fe³⁺ + Zeolit dan (b) +Fe³⁺ + Zeolit

penelitian sebelumnya (Saragih, 1996) menunjukkan bahwa produksi asam-asam fenolat pada gambut pantai dan peralihan Jambi mulai dari konsentrasi tertinggi hingga yang terendah adalah asam ferulat > p-kumarat > p-hidroksibenzoat > vanilat > siringat. Konsentrasi asam ferulat berkisar



0,205 - 0,289 mM, asam p-kumarat 0,326 - 0,528 Mm, asam p-hidroksibenzoat 0,276 - 0,425 mM, asam vanilat 0,242 - 0,385 mM dan asam siringat 0,235 - 0,398 mM. Selanjutnya Murnita (2001) di lokasi yang sama mendapatkan konsentrasi asam fenolat pada gambut pantai dan peralihan Jambi mulai dari konsentrasi tertinggi hingga terendah adalah asam ferulat > asam p-hidroksibenzoat > asam vanilat > asam kumarat > asam siringat. Konsentrasi asam ferulat berkisar 0,750 - 1,093 mM, asam p-hidroksibenzoat 0,355 - 0,635 mM, asam vanilat 0,251 - 0,410 mM, asam p-kumarat 0,204- 0,399 mM dan asam siringat 0,207- 0,316 mM. Terbukti bahwa selama 5 tahun gambut mengalami perubahan dalam komposisi asam fenolat, salah satu penyebabnya adalah perubahan kondisi anaerobik berubah menjadi aerobik. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Stevensen (1999) dimana dalam kondisi aerobik asam p-kumarat dapat berubah menjadi asam p-hidroksibenzoat, asam ferulat menjadi asam vanilat. Apabila dibandingkan dengan penelitian Salampak (1999) pada tanah gambut Kalimantan Tengah (Gambut; pantai, peralihan dan pedalaman) diperoleh konsentrasi asam ferulat berkisar 0,804 - 2,008 mM, asam p-hidroksibenzoat 0,621 - 0,787 mM, asam vanilat 0, 590 - 0,820 mM, asam p-kumarat 1,266 - 1,945 mM dan asam siringat 0,559 - 0,919 mM. Dari hasil beberapa penelitian terlihat bahwa lahan gambut memiliki karakteristik yang beragam tergantung pada tingkat kesuburan, tingkat kematangannya, kedalaman lapisan serta bahan organik pembentuknya. Menurut Mulyani dan Noor (2011) gambut yang terdapat di pulau Sumatera umumnya memiliki sifat kimia yang lebih baik karena mendapat pengkayaan bahan organik dari gunung berapi vulkan yang berasal dari bukit barisan. Ratmini, (2012) menjelaskan bahwa kandungan mineral gambut di Indonesia umumnya kurang dari 5% dan sisanya adalah bahan organik. Fraksi organik terdiri dari senyawa-senyawa humat sekitar 10 hingga 20% dan sebagian besar lainnya adalah senyawa lignin, selulosa, hemiselulosa, lilin, tannin, resin, suberin, protein, dan senyawa lainnya. Komposisi kimia gambut sangat dipengaruhi oleh bahan induk tanamannya, tingkat dekomposisi dan sifat kimia lingkungan aslinya.

2. Konsentrasi asam-asam fenolat pada tanah gambut Lunang Silaut dengan tingkat dekomposisi hemik akibat pemberian Fe³⁺ dan zeolit

Fe ³⁺ (konsentrasi maksimum)	Zeolit (% BKM tanah)	Konsentrasi asam-asam fenolat (mM)				
		HBA	VNA	FRA	SRA	KMA
0,0	0,0	0,308	0,244	0,749	0,196	0,334
	0,5	0,264	0,234	0,688	0,190	0,285
	1,0	0,244	0,226	0,644	0,174	0,278
	1,5	0,231	0,220	0,632	0,182	0,283
	2,0	0,228	0,220	0,580	0,160	0,280
	2,5	0,226	0,212	0,532	0,164	0,269
	3,0	0,216	0,210	0,532	0,164	0,269
	0,0	0,211	0,160	0,467	0,138	0,279
	0,5	0,210	0,156	0,430	0,127	0,278
2,5	1,0	0,200	0,140	0,430	0,114	0,267
	1,5	0,192	0,132	0,408	0,102	0,259
	2,0	0,170	0,136	0,398	0,104	0,234
	2,5	0,162	0,124	0,380	0,103	0,238
	3,0	0,158	0,124	0,388	0,099	0,226

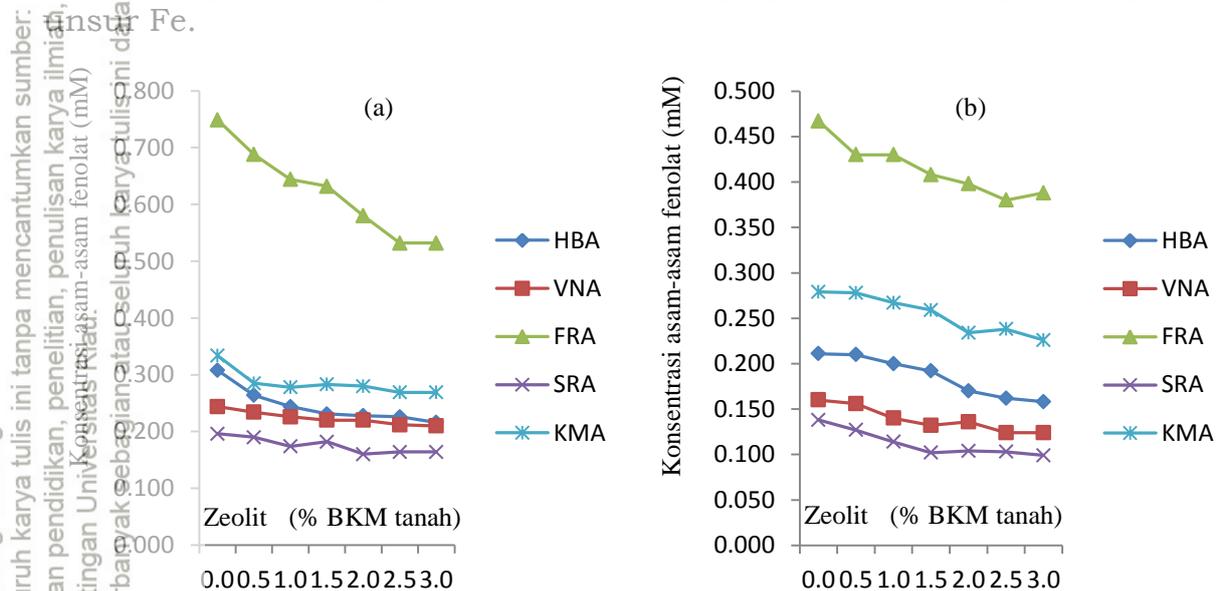
1. Pada Gambar 1 (b) dan 2 (b) terlihat bahwa dengan menggunakan FeCl₃.6H₂O sebagai sumber Fe dan zeolit, menggambarkan pola yang hampir



ama terhadap penurunan asam-asam fenolat pada gambut saprik maupun hemik. Konsentrasi asam-asam fenolat dalam tanah gambut berkurang lebih banyak apabila adanya kombinasi antara 2,5% erapan maksimum Fe^{3+} dengan zeolit (0,5 - 3% BKM tanah). Konsentrasi asam-asam fenolat berkurang untuk gambut saprik dan hemik masing-masing berkisar: 19,10 - 49,48 % dan 14,07% - 49,18 % dari konsentrasi asam fenolat pada tanah gambut tanpa perlakuan.

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa dengan peningkatan dosis zeolit terjadi penuhuran konsentrasi asam fenolat untuk gambut saprik pada Gambar 1 (a) maupun hemik di Gambar 2 (a). Pada pemberian zeolit 0,5 % sampai 3% BKM tanah (tanpa pemberian Fe^{3+} mampu menekan konsentrasi asam-asam fenolat pada tingkat dekomposisi saprik sekitar 3,06% - 27,72% dan hemik 3,05% - 29,87% dari konsentrasi asam fenolat pada tanah gambut tanpa perlakuan. Hal ini diduga karena zeolit mengandung kation-kation basa (Ca, Mg, K dan Na), sehingga memungkinkan kation-kation tersebut bereaksi dengan asam organik, mengakibatkan konsentrasi asam organik dalam tanah gambut menjadi rendah. Sabili (2016) menjelaskan bahwa zeolit bermuatan negatif yang dapat dinetralkan oleh logam-logam alkali atau alkali tanah seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Kation-kation ini akan menududuki kisi-kisi permukaan di dalam struktur zeolit yang dapat dipertukarkan, di samping itu zeolit juga mengandung unsur Fe.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber.



Gambar 2. Konsentrasi asam-asam fenolat pada tanah gambut Lunang Silaut dengan dekomposisi hemik: (a) - Fe^{3+} + Zeolit dan (b) + Fe^{3+} + Zeolit

pemberian Fe^{3+} dalam bentuk $FeCl_3.6H_2O$ sebanyak 2,5% erapan maksimum Fe^{3+} menunjukkan penurunan konsentrasi asam fenolat yang lebih besar bila dibandingkan dengan pemberian zeolit. Dari hasil penelitian ini dengan pemberian Fe^{3+} sebanyak 2,5% erapan maksimum Fe^{3+} mampu menekan konsentrasi asam fenolat pada gambut saprik sekitar 19,10 - 38,79% dan hemik 18,33% - 37,65%.

ini berhubungan erat dengan adanya reaksi pembentukan senyawa kompleks khelat antara Fe^{3+} sebagai ion logam yang berikatan dengan asam-asam organik tersebut. Subiksa *et al.* (2011) mengemukakan bahwa bahan amelioran yang kaya dengan kation polivalen menjadi amelioran yang sangat efektif untuk meningkatkan produktivitas lahan dan stabilitas



gambut. Stabilitas gambut sangat terkait dengan adanya proses kompleksasi asam-asam organik sehingga lebih tahan terhadap degradasi akibatnya emisi karbon berkurang. Kompleksasi asam-asam organik fenolat oleh kation divalensi mengurangi sifat meracun asam-asam tersebut sehingga perkembangan akar tanaman tidak terganggu. Pemupukan dengan pupuk makro dan mikro penting untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman. Ameliorasi dan pemupukan bersifat sinergis karena ameliorasi meningkatkan efektivitas pemupukan. Sebelumnya Tan (1993) menjelaskan bahwa Fe bertindak sebagai pasangan penerima elektron dan asam-asam organik sebagai pasangan penyumbang elektron. Akan tetapi penurunan kandungan asam fenolat dalam tanah gambut pada prinsipnya tidak sampai menghabiskan kandungan asam-asam organik tersebut, karena hampir seluruh rekasi kimia yang terjadi di dalam tanah tersebut berada pada tapak reaktif dari berbagai gugus fungsional asam-asam organik yang mengandung karbon (C=O, OH dan COOH).

Oleh karena itu untuk menurunkan asam-asam organik yang meracun dalam tanah gambut harus dirancang agar tidak sampai menghilangkan fungsinya sebagai media tumbuh tanaman dan fungsinya sebagai pusat pertukaran kimia (koloid). Sebagaimana pada penelitian ini dan peneliti sebelumnya (Saragih, 1996; Prasetyo, 1998) dimana pemberian Fe^{3+} sebanyak 2.5% erapan maksimum Fe^{3+} telah mampu mengatasi masalah kestabilan asam-asam fenolat pada dalam tanah gambut Sumatera. Berdasarkan dari hasil penelitian Salampak (1999) pada tanah gambut Kalimantan Tengah jumlah Fe^{3+} yang dibutuhkan untuk menekan konsentrasi asam fenolat lebih besar bila dibandingkan dengan tanah gambut Sumatera yaitu 5% erapan maksimum Fe^{3+} . Hal ini disebabkan kandungan asam-asam fenolat pada gambut Kalimantan Tengah jumlahnya lebih tinggi, dengan demikian dibutuhkan Fe^{3+} yang lebih banyak untuk menurunkan konsentrasi asam-asam fenolat sehingga tidak meracuni tanaman.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pemberian Fe^{3+} sebanyak 2,5% erapan maksimum Fe^{3+} dan zeolit 3% dari BKM tanah gambut dapat menurunkan konsentrasi asam-asam fenolat dalam tanah gambut sekitar 49%.
- Pemberian Fe^{3+} dapat menekan konsentrasi asam-asam fenolat lebih besar dibanding dengan pemberian zeolit masing-masing untuk Fe^{3+} sekitar 39% dan zeolit 30%.

DAFTAR PUSTAKA

Dariah, A., Wahyunto, J. Pitono. 2010. Stock karbon pada demplot sawit rakyat di Kabupaten Bengkalis, Riau. Laporan Konsorsium Sait, Pusat Penelitian Perkebunan. Bogor.

Wahyunto, Ika 2011. Tinjauan Kuat Lentur dan Porositas Beton Dengan Zeolit Sebagai Bahan Tambah Dibanding Zeolit Sebagai Penganti Semen Pada Campuran Beton. Surakarta : Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.

Salantik, W., I.G. Subiksa dan A. Dariah. 2012. Sifat kimia dan fisika lahan gambut. Dalam: Nuridget (eds. Nuruda, Mulyani dan Agus). Balai Penelitian Tanah. Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan. Balai



Besar Litbang Sumberdaya Lahan pertanian Kementerian Pertanian. Halaman 45-56.

Mulyani, A. dan M. Noor. 2011. Evaluasi kesesuaian lahan untuk pengembangan pertanian di lahan gambut. Balai Penelitian Tanah, Bogor. Hal: 27 – 44.

Murnita. 2001. Peranan bahan amelioran besi (Fe^{3+}) dan zeolit terhadap perilaku kalium dan produksi padi pada tanah gambut pantai dan peralihan Jambi. Disertasi. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Soerjadi, M.R., Zacoeb, A., dan Syamsudin, R., 2014, Pengaruh Penggunaan Mineral Lokal Zeolite Alam terhadap Karakteristik Self- Compacting Concrete (SCC), Jurnal Teknik Sipil.

Putrini, Sri. 2012. *Characteristics and Management of Peatland for Agricultural Development*. Jurnal Lahan Suboptimal. ISSN: 2252-6188 Vol. 1, No.2: 197-206.

Sabiham S. 1999. Peningkatan produktivitas tanah gambut melalui pengendalian reaktivitas asam-asam organik meracun : persyaratan dasar pengembangan lahan gambut. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi T.A. 1998/ 1999. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Sabitu, Y. Aplikasi zeolit meningkatkan hasil tanaman pada tanah ultisol. Jurnal Biowallacea, Vpl. 3 (2). Hal: 396 – 407, Oktober 2016.

Salimpak. 1999. Peningkatan produktivitas tanah gambut yang disawahkan dengan pemberian bahan amelioran tanah mineral berkadar besi tinggi. Disertasi. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Saraih EP. 1996. Pengendalian asam-asam fenolat meracun dengan penamabahan $Fe-II$ pada tanah gambut dari Jambi, Sumatera. Tesis. Bogor. Institut Pertanian Bogor.

Tyson, F. J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction. John Wiley & Sons Inc, New York.

Utikisa, I. G. M., W. Hartatik dan F. Agus. 2011. Pengelolaan Lahan Gambut Secara Berkelanjutan. Bogor, Balai Penelitian Tanah. Halaman 73 – 88.

Wendo, S. Sabiham, Sumardjo, dan B. Paramudya. 2011. Efek pembukaan lahan terhadap karakteristik biofisik gambut pada perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Bengkalis. Jurnal Natur Indonesia. 14 (2): 143 - 149.

Ward K. H. 1994. Environmental Soil Science. Marcel Dekker Inc., New York. 304 halaman.

Wardhead, D. C., H. Dibbs and D. Hartley. 1981. Extraction pH and the release of phenolic compounds from soils, plant roots and leaf litter. Soil Biol. Biochem, 13: 343 – 348 pp.

