

## Peran Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) sebagai Penyerap dan Penetral Fe di Lahan Rawa Pasang Surut

*Potency of Purun Tikus (Eleocharis dulcis) as Fe Accumulator in Tidal Swamp Lands*

Khairatun Napisah\*<sup>1)</sup> dan Wahida Annisa<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Selatan

<sup>2)</sup>Balai Penelitian Pertanaman Lahan Rawa

\*E-mail: khairatun.napisah@yahoo.co.id

Diterima 27 Agustus 2019, Direview 24 September 2019, Disetujui dimuat 25 Desember 2019, Direview oleh Sukarman dan Mohammad Noor

**Abstrak.** Lahan rawa pasang surut merupakan salah satu agroekosistem potensial untuk pengembangan pertanian, khususnya tanaman pangan. Kendala yang dihadapi antara lain yaitu: kemasaman tanah yang tinggi, ketersediaan unsur hara dalam tanah yang relatif rendah serta kandungan unsur beracun seperti Al, Fe dan H<sub>2</sub>S. Purun tikus (*Eleocharis dulcis*) merupakan tanaman hiperakumulator lahan rawa pasang surut yang memiliki kemampuan dalam menyerap atau menetralkan unsur-unsur meracun. Purun tikus memang memiliki kemampuan menyerap logam berat sebanyak 1% dari bobot keringnya atau setara dengan 1,560 mg kg<sup>-1</sup> Fe. Secara umum tanaman hiperakumulator mampu mengakumulasi logam mencapai 11 % dari berat kering. Pada kondisi tergenang logam Fe dapat hilang dari larutan tanah melalui beberapa cara antara lain dengan pengendapan, terjerap pada permukaan liat atau Fe<sup>3+</sup> oksida, teroksidasi menjadi Fe<sup>3+</sup> dan terbawa bersama air drainase.

*Kata Kunci:* Lahan rawa pasang surut / logam Fe / purun tikus / tanaman hiperakumulator

**Abstract.** Tidal swamp land is one of the potential agroecosystem for agricultural development, especially food plants. The found obstacles here are: high acidity of soil, the availability of nutrients in the soil is relatively low and the content of toxic elements such as Al, Fe and H<sub>2</sub>S. Purun tikus (*Eleocharis dulcis*) is a tidal swamp hyperaccumulator plant that has the ability to absorb or neutralize poisonous elements. Purun Tikus has the ability to absorb heavy metals as much as 1% of the dry weight or equivalent to 1.560 mg kg<sup>-1</sup> Fe. In general, hyperaccumulator plants are able to accumulate metals reached 11% of dry weight. In the inundated conditions, Fe metal can be lost from the soil solution in several ways, among others by precipitation, absorbed on the clay surface or Fe<sup>3+</sup> oxide, oxidized to Fe<sup>3+</sup> and carried along with drainage water.

*Keywords:* Tidal swamp land / Fe metal / *Eleocharis dulcis* / hyperaccumulator plant

### PENDAHULUAN

Lahan Pasang Surut merupakan salah satu agroekosistem potensial untuk pengembangan pertanian, khususnya tanaman pangan (Annisa dan Nursyamsi, 2016). Pengembangan lahan pasang surut ke depan menjadi semakin penting, dengan semakin menyusutnya luas lahan pertanian di Indonesia. Subagyo (2006) melaporkan bahwa ada dua jenis tanah di lahan pasang surut yaitu: tanah mineral (*mineral soils*) jenuh air dan tanah gambut (*peat soils*). Umumnya tanah mineral di lahan pasang surut mengandung bahan sulfidik (pirit). Keberadaan pirit menjadi kendala dalam pemanfaatan lahan pasang surut untuk areal pertanian karena oksidasi pirit akan menghasilkan asam sulfat dan oksida besi yang

mengakibatkan pH tanah menjadi luar biasa masam, sehingga tanaman budidaya tidak dapat tumbuh.

Tingginya kemasaman pada tanah akibat teroksidasinya pirit akan mengimbas terhadap peningkatan kelarutan unsur-unsur meracun seperti: Fe dan Al yang diiringi dengan penurunan P tersedia dan kejenuhan basa yang rendah serta kekahatan hara-hara lainnya. Pemanfaatan lahan sulfat masam untuk padi sawah dengan pengusikan minimum memperlambat proses oksidasi pirit. Oksidasi pirit dapat ditekan dengan mempertahankan lingkungan tanah dalam kondisi reduktif. Penggenangan secara terus menerus pada tanah di lahan pasang surut mengakibatkan terjadinya: (1) peningkatan konsentrasi besi ferro (Fe<sup>2+</sup>), (2) penurunan nilai potensial redoks tanah (Eh) karena tereduksinya NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan Fe<sup>3+</sup> yang mengakibatkan

terakumulasinya  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{Fe}^{2+}$ , sehingga kondisi tanah menjadi sangat reduktif dan (3) peningkatan pH tanah akibat pembebasan  $\text{OH}^-$  dan konsumsi  $\text{H}^+$  yang diikuti dengan penurunan aktivitas dari  $\text{H}^+$ .

Pertanian ramah lingkungan merupakan alternatif yang paling sesuai untuk mendukung keberlanjutan sistem pertanian di lahan rawa. Sistem pertanian ini bertujuan untuk memperoleh produksi optimal tanpa merusak lingkungan, baik secara fisik, kimia, biologi maupun ekologi (Annisa dan Nursyamsi, 2016). Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasnya dalam kadar yang luar biasa tinggi. Kebanyakan tumbuhan umumnya mengakumulasi logam, misalnya nikel sebesar 10 mg/kg berat kering (setara dengan 0,001%), tetapi tumbuhan hiperakumulator logam mampu mengakumulasi hingga 11 % berat kering. Batas kadar logam yang terdapat di dalam biomassa agar suatu tumbuhan dapat disebut hiperakumulator berbeda-beda tergantung pada jenis logamnya. Cadmium kadar setinggi 0,01% (100 mg  $\text{kg}^{-1}$  BK) dianggap sebagai hiperakumulator, sedangkan batas bagi kobalt, tembaga, dan timbal adalah 0,1% (1.000 mg  $\text{kg}^{-1}$  BK) serta untuk seng dan mangan adalah 1% (10.000 mg  $\text{kg}^{-1}$  BK) (Ye *et al.* 1997; Irhamdi *et al.* 2017).

Jenis tanaman air di Indonesia khususnya di lahan pasang surut sangat beraneka ragam dan hampir semuanya memiliki kemampuan untuk menyerap logam, misalnya: purun tikus (*Eleocharis dulcis*), bulu babi (*Eleocharis retroflaxa*), eceng gondok (*Eichornia crassipies*) dan lain-lain. Tanaman purun tikus merupakan tanaman air yang dominan di lahan pasang surut sulfat masam. Jumberi *et al.* (2004) melaporkan bahwa purun tikus secara ekologi berperan sebagai biofilter yang dapat menetralkan unsur beracun dan masam pada lahan sulfat masam dengan menyerap Fe sebesar 1.559,50 ppm dan  $\text{SO}_4$  sebesar 13,68 ppm.

Besi (Fe) dapat terbentuk sebagai oksida, sulfida, karbonat dan sulfat (Stucky 2006). Besi (Fe) pada lahan rawa pasang surut sulfat masam yang sering menimbulkan masalah dalam bentuk Ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) yang menyebabkan keracunan bagi tanaman, terutama dalam kondisi tergenang dan kisaran kadar  $\text{Fe}^{2+}$  pada tanah sulfat masam tergenang (tereduksi) cukup lebar yaitu 0,07 sampai 6.600 mg  $\text{kg}^{-1}$  Fe, yang tergantung

pH, bahan organik, kadar dan reaktivitas  $\text{Fe}^{3+}$  (Ponnamperuma 1977). Konsentrasi besi yang tinggi dalam larutan tanah akan menurunkan serapan hara lainnya seperti P dan K. Tujuan dari tulisan ini adalah menjelaskan tentang potensi dari purun tikus sebagai akumulator Fe di lahan pasang surut.

## SEBARAN DAN POTENSI LAHAN RAWA PASANG SURUT

Lahan pasang surut memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian dengan berbagai kendala pada tanahnya. Berdasarkan hasil hitungan secara spasial menggunakan peta tanah tinjau (skala 1:250.000) luas lahan rawa Indonesia adalah 34,12 juta ha atau 17,92% dari luas total daratan Indonesia (191,09 juta ha), tersebar paling luas di Sumatera 2,93 juta ha, Kalimantan 10,02 juta ha, Papua 9,87 juta ha, dan Sulawesi 1,05 juta ha. Maluku dan Jawa, masing-masing 0,16 juta ha dan 0,09 juta ha (Tabel 1).

Berdasarkan tipologinya, lahan rawa terdiri atas lahan rawa pasang surut  $\pm 8,92$  juta ha, dan lahan rawa lebak  $\pm 25,21$  juta ha. Dari total luasan lahan rawa tersebut sekitar 19,19 juta ha atau 56,04% merupakan lahan potensial untuk dijadikan lahan pertanian, baik padi sawah, tanaman hortikultura, maupun tanaman tahunan. Sisanya sekitar 14,93 juta ha tidak potensial untuk tanaman pertanian (Ritung *et al.* 2015).

Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa pengembangan padi di lahan rawa pasang surut terkendala oleh sifat-sifat inheren lahan terkait dengan sifat kimia, fisika, biologi tanah, dan sosial ekonomi. Lahan rawa pasang surut dilaporkan mempunyai tingkat kesuburan yang rendah, dicirikan oleh pH rendah, ketersediaan N, P, K, Ca, dan Mg yang rendah (Masganti *et al.* 2016).

Tanah yang mengandung mineral pirit ( $\text{FeS}_2$ ) banyak dijumpai pada rawa pasang surut dan disebut sebagai tanah sulfat masam. Untuk pengembangan lahan pasang surut sulfat masam memiliki beberapa kendala diantaranya kemasaman tanah yang tinggi, ketersediaan unsur hara dalam tanah relatif rendah, kandungan unsur beracun seperti Al, Fe dan  $\text{H}_2\text{S}$ . Sumber kemasaman tanah sulfat masam berasal dari senyawa pirit ( $\text{FeS}_2$ ) yang teroksidasi melepaskan ion hidrogen dan sulfat yang diikuti oleh penurunan pH menjadi sekitar 3. Pirit terakumulasi pada tanah tergenang yang kaya kandungan bahan organik dan

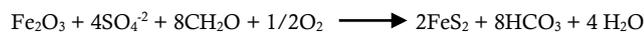
Tabel 1. Luas lahan rawa pasang surut dan lebak di Indonesia

Table 1. The area of tidal and inland swamps in Indonesia

Pulau	Rawa Pasang Surut		Rawa Lebak		Total (ha)
	Mineral (ha)	Gambut (ha)	Mineral (ha)	Gambut (ha)	
Sumatera	2.501.888	517.466	3.988.301	5.919.180	12.926.835
Jawa	94.756	-	-	-	94.756
Kalimantan	2.301.410	685.028	2.944.085	4.092.977	10.023.500
Sulawesi	318.030	-	706.220	23.844	1.048.094
Maluku	74.395	-	88.159	-	162.554
Papua	2.262.402	163.974	3.916.123	3.526.947	9.869.446
<b>Indonesia</b>	<b>7.552.881</b>	<b>1.366.468</b>	<b>11.642.888</b>	<b>13.562.948</b>	<b>34.125.185</b>

Sumber: Ritung *et al.* (2015)

mendapat tambahan sulfur yang umumnya dari air laut (Dent 1986). Reaksi oksidasi pirit menurut Dent (1986) adalah sebagai berikut:



Penanganan permasalahan tanah sulfat masam dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain olah tanah konservasi, pemberian kapur dan pupuk, teknologi amelioran, penggunaan varietas yang adaptif, pengelolaan surjan, serta pengelolaan tanah dan air. Pengelolaan kualitas air di lahan sulfat masam dapat juga dilakukan dengan pemanfaatan tanaman hiperakumulator berupa purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dan bulu babi (*Eleocharis retroflaxa*) yang dapat menyerap atau menetralkan unsur beracun tersebut.

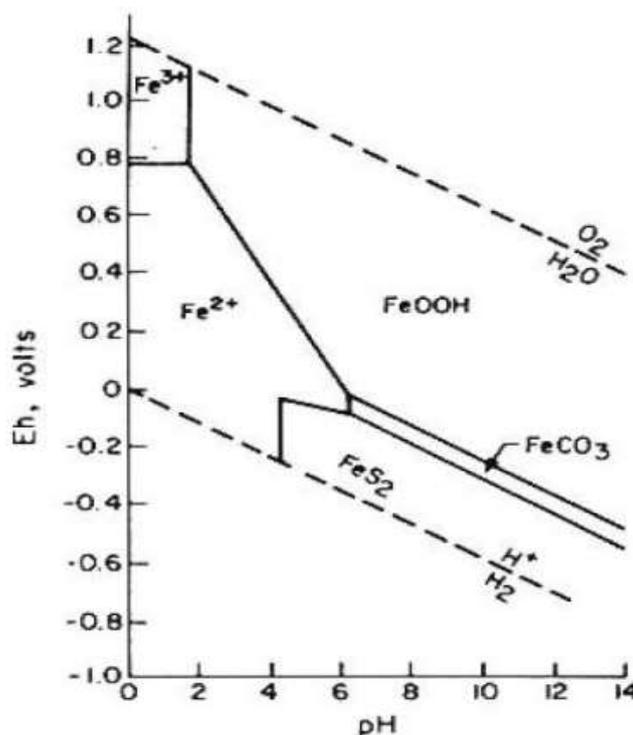
### MOBILITAS LOGAM FE DI LAHAN PASANG SURUT

Lahan pasang surut sulfat masam merupakan jenis tanah yang mengandung pirit ( $\text{FeS}_2$ ) yang tinggi. Pirit ( $\text{FeS}_2$ ) terbentuk dari oksidasi parsial sulfida menjadi polisulfida atau unsur S yang diikuti dengan pembentukan FeS dari sulfida terlarut atau besi oksida ( $\text{FeOOH}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), atau mineral silikat mengandung unsur Fe. Bentuk besi yang dominan pada kondisi tergenang dalam bentuk oksida besi yaitu: goetit ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), ferrihidrit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), lepidokrosit ( $\gamma\text{-FeOOH}$ ) (Cornell dan Schwertmann 2004). Besi oksida merupakan metal oksida yang banyak melimpah di dalam tanah yang dibentuk oleh protonasi dan pelepasan Fe yang keluar dari mineral primer atau sekunder karena proses oksidasi (Annisa dan Hanudin 2013). Hasil reaksi oksidasi pirit adalah dihasilkannya besi-III koloidal ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Sebagian besar dari besi-III koloidal yang terbentuk, pada

akhirnya mengkristal menjadi oksida besi (geotit) yang berwarna coklat kemerahan, berupa karatan, selaput atau nodul-nodul dalam tanah dan dinding saluran drainase (Dent 1986; Breemen and Buurman 2002; Subagyo 2006). Pada kondisi oksidasi yang sangat kuat karena terangkatnya bahan endapan marin ke permukaan akan menghasilkan mineral jarosit, yang nampak sebagai karatan-karatan berwarna kuning jerami, yang juga sangat masam. Jarosit stabil dalam kondisi teroksidasi (potensial redoks >400-500 mV) pada lingkungan masam (pH 2-4).

Sifat permukaan dari besi oksida meliputi luas permukaan, porositas permukaan, muatan permukaan dan permukaan geometri. Permukaan besi oksida hampir selalu diselubungi senyawa organik dalam bentuk kompleks, hal ini dapat berpengaruh pada reaktivitas dan daya retensinya terhadap ion-ion terlarut dalam tanah (Fahmi 2011). Pada kondisi tergenang pH tanah meningkat menyebabkan terjadinya reduksi  $\text{Fe}^{3+}$  menjadi  $\text{Fe}^{2+}$ , sehingga konsentrasi  $\text{Fe}^{2+}$  meningkat dalam larutan tanah yang dapat meracuni tanaman padi (Widjaja-Adhi, 1995). Perubahan potensial redoks dan pH tanah mempengaruhi terhadap bentuk Fe yang aktif di larutan tanah. Menurut Brown (1971) dalam Stahl *et al.* (1993) bahwa pada pH rendah dan oksidasi moderat dengan aktivitas  $\text{SO}_4$  yang tinggi akan menghasilkan endapan jarosit. Hal ini dapat diprediksi dengan menggunakan Diagram Stabilitas Fe akibat pengaruh Eh dan pH seperti ditunjukkan oleh Bohn *et al.* (2003) pada Gambar 1.

Hasil penelitian Parfitt *et al.* (1975) dan Annisa dan Putranto (2010) menunjukkan bahwa dengan semakin banyaknya oksida besi maka akan semakin banyak pula P yang diadsorpsi. Prinsip dari adsorpsi ion oleh oksida besi adalah melalui ikatan binuklear yang



Sumber: Bohn *et al.* (2003)

Gambar 1. Diagram stabilitas bentuk Fe pada beberapa nilai Eh dan pH

Figure 1. Diagram of stability of Fe form at several Eh and pH values

kuat oleh ion Fe di permukaan. Pada tanah tergenang Fe<sup>2+</sup> yang terlarut dapat mendesak basa tukar lainnya sehingga menjenuhi permukaan kompleks, selain itu Fe<sup>2+</sup> dapat hilang dari larutan tanah melalui beberapa cara antara lain dengan pengendapan, terjerap pada permukaan clay atau Fe<sup>3+</sup> oksida, teroksidasi menjadi Fe<sup>3+</sup> dan terbawa bersama air drainase (Breemen and Burman 2002; Susilawati dan Fahmi 2013).

### POTENSI PURUN TIKUS (*ELEOCHARIS DULCIS*) SEBAGAI TANAMAN HIPERAKUMULATOR

Tanaman hiperakumulator merupakan tanaman yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam dalam jumlah tinggi dan dikonsentrasikan pada akar, daun dan tajuk tanaman. Suatu tanaman dapat disebut hiperakumulator apabila memiliki karakter-karakter sebagai berikut: tanaman memiliki tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang lebih tinggi dibandingkan tanaman lainnya, dapat mentoleransi unsur dalam tingkat yang tinggi pada jaringan akar dan tajuknya dan memiliki laju translokasi logam berat dari akar ke tajuk yang tinggi

sehingga akumulasinya pada tajuk lebih tinggi dari pada akar. Yuliana *et al.* (2017) melaporkan bahwa tanaman eceng gondok mampu menyerap <sup>134</sup>Cs pada batang dan daun dengan faktor transfer dari air ke tanaman sebesar 108,53 ml g<sup>-1</sup> pada pengamatan hari ke 15. Daya serap eceng gondok terhadap COD, Cu, dan Cr berturut-turut 0,1232; 0,0016; dan 0,0051 ml g<sup>-1</sup> eceng gondok.

Purun tikus (*Eleocharis dulcis*) merupakan salah satu tanaman yang dapat dijadikan tanaman hiperakumulator yang banyak terdapat di lahan pasang surut. Tanaman ini termasuk dalam famili *Cyperaceae* atau golongan teki. Batangnya silindris dan berdiameter 2-3 mm, tinggi dapat mencapai 150 cm, tidak bercabang, tidak berdaun dan berwarna hijau sehingga fotosintesa dilakukan melalui batang. Bunga terletak pada bagian ujung batang (Indrayati, 2011). Purun tikus memiliki kemampuan menyerap logam berat sebanyak 1% dari bobot keringnya. Dengan kemampuan itu purun tikus digolongkan sebagai tanaman hiperakumulator. Purun tikus tetap tumbuh normal tanpa gejala keracunan atau pertumbuhan mandeg (Annisa *et al.* 2017). Berdasarkan hasil penelitian Anwar (2006), terlihat bahwa purun tikus mengandung

Fe dan S masing-masing 1560 dan 420 mg kg<sup>-1</sup>, sedangkan bulu babi mengandung Fe dan S masing-masing 884 dan 340 mg kg<sup>-1</sup> (Tabel 2).

Tabel 2. Kandungan Fe dan S gulma rawa yang tumbuh pada saluran tersier (kondisi tergenang, drainase lancar)

Table 2. Content of Fe and S swamp weeds that grow in tertiary channels (inundated conditions, smooth drainage)

Nama lokal gulma/ kelompok umur	Fe	S
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----	
Purun tikus/ muda	1.560	420
Purun tikus/ dewasa	518	430
Purun tikus/ tua	165	397
Bulu babi/ muda	884	340
Bulu babi/ dewasa	877	393
Bulu babi/ tua	873	437
Rumput air/ muda	912	173
Rumput air/ dewasa	1.783	177
Rumput air/ tua	606	227
Ganggang/ dewasa	886	357
Teratai/ dewasa	978	183
Teratai/ tua	924	527

Sumber: Anwar (2006)



Sumber: Anwar (2006)

Gambar 2. Persentase serapan Fe oleh media biofilter

Figure 2. Percentage of Fe uptake by biofilter media

Purun tikus (*Eleocharis dulcis*) tanaman yang dominan di lingkungan tanah sulfat masam dan dapat menjadi agen penyerap Fe melalui mekanisme tertentu yang diduga ada simbiosis antara tumbuhan dengan

mikroorganisme. Hal ini sesuai dengan penelitian Jumberi *et al.* (2004), purun tikus secara ekologi berperan sebagai biofilter yang dapat menetralkan unsur beracun dan kemasaman pada lahan sulfat masam dengan menyerap Fe. Anwar (2006) melaporkan bahwa serapan Fe dengan media biofilter purun tikus berkisar antar 26% sampai 57,2%. Serapan tertinggi ditunjukkan oleh media purun tikus yakni sebesar 57,2% atau setara dengan 6,36 mg kg<sup>-1</sup>. Sedangkan serapan Fe dengan media biofilter bulu babi berkisar antara 44,3% sampai 75,3%. Serapan tertinggi 75,3% setara 7,71 mg kg<sup>-1</sup>, sedangkan yang terendah sebesar 44,3% setara 5,48 mg kg<sup>-1</sup> (Gambar 2).

### Mekanisme Tanaman Hiperakumulator Dalam Menyerap Fe

Purun tikus (*Eleocharis dulcis*) merupakan tanaman air yang tumbuh dominan di lingkungan tanah sulfat masam dan dapat menjadi agen penyerap besi melalui mekanisme tertentu yang diduga ada simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganisme. Purun tikus mengandung banyak senyawa fenolat pada dinding sel akar dan daunnya yang menjadikan tanaman ini memiliki toleransi yang tinggi terhadap besi. Berdasarkan hasil penelitian Sulthoni *et al.* (2014) pada Gambar 3 menunjukkan bahwa tanaman purun tikus menyimpan kelebihan Fe di dalam tubuhnya pada akar kemudian bagian daun. Konsentrasi Fe pada akar ekor kucing sebesar 259,9% setara 45.433 mg kg<sup>-1</sup> dan pada daun ekor kucing sebesar 450,5% setara 10.143 mg kg<sup>-1</sup>, sedangkan pada akar purun tikus sebesar 36,8% setara 92.300 mg kg<sup>-1</sup> dan pada daun purun tikus sebesar 991,9% setara 44.766 mg kg<sup>-1</sup>.



Sumber: Sulthoni (2014)

Gambar 3. Konsentrasi Fe pada tanaman berdasarkan waktu tinggal

Figure 3. Fe concentration in plants is based on accumulated time

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman hiperakumulator secara umum ada 3 proses. *Pertama*, logam berat yang tergabung dengan senyawa larut dalam air diserap akar bersama dengan penyerapan air. Sementara logam berat yang berada dalam senyawa tak larut air, diserap melalui mekanisme kontak dengan permukaan. *Kedua*, logam berat ditranslokasikan ke bagian tanaman lain melalui jaringan pengangkut xylem dan floem mengikuti aliran transpirasi tanaman ke bagian atas tanaman lainnya seperti tajuk; dan *ketiga*, logam yang diserap dilokalisasi pada sel dan jaringan tertentu agar metabolisme tanaman tidak terhambat dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar. Tumbuhan hiperakumulator yang memiliki kemampuan tersebut dapat digunakan dalam proses fitoremediasi (Annisa *et al.* 2017). Tanaman hiperakumulator mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi lebih dari 100 kali melebihi tanaman normal, dimana tanaman normal mengalami keracunan logam dan penurunan produksi (Hidayati 2013).

## KESIMPULAN

Purun tikus merupakan salah satu tanaman yang dapat dijadikan sebagai hiperakumulator logam Fe di lahan rawa pasang surut. Kemampuan dari purun tikus dalam menyerap logam Fe adalah sebanyak 1.560 mg kg<sup>-1</sup> Fe atau setara dengan 1% bobot keringnya atau setara dengan 1,560 mg kg<sup>-1</sup> Fe. Secara umum tanaman hiperakumulator mampu mengakumulasi logam mencapai 11 % dari berat kering. Pada kondisi tergenang logam Fe dapat hilang dari larutan tanah melalui beberapa cara antara lain dengan pengendapan, terjerap pada permukaan liat atau Fe<sup>3+</sup> oksida, teroksidasi menjadi Fe<sup>3+</sup> dan terbawa bersama air drainase.

## DAFTAR PUSTAKA

- Annisa W, Putranto BH. 2010. Retensi P oleh oksida besi di tanah sulfat masam setelah reklamasi lahan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. Vol. 4(2)/2010: 47-56.
- Annisa W, Hanudin E. 2013. Peran ligan organik terhadap pembentukan oksida besi di tanah sulfat masam. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 7(1)/2013: 37-46.
- Annisa W, Nursyamsi D. 2016. Pengaruh amelioran, pupuk dan sistem pengelolaan tanah sulfat masam terhadap hasil padi dan emisi metana. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 40(2)/2016: 135-145.
- Annisa W, Lestari Y, Widada J, Nursyamsi D. 2017. Remediasi air buangan di lahan rawa melalui pemanfaatan gulma lokal. *Prosiding Seminar Nasional PERAGI*. Bogor. 2017.
- Anwar K. 2006. Peningkatan Kualitas Tanah Sawah dan Air Buangan di Saluran Drainase pada Tanah Sulfat Masam. *Disertasi*. Institut Pertanian Bogor.
- Bohn HL, McNeal BL, and O'Connor GA. 2003. *Soil Chemistry*. 3<sup>rd</sup> Edition. John Wiley and Sons. New York, USA.
- Breemen NV, Buurman P. 2002. *Soil Formation*. Second Edition. Kluwer Academic Publishers. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.
- Cornell RM, Schwertmann U. 2004. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses*, Second Edition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KgaA. Weinheim and New York.
- Dent D. 1986. *Acid Sulphate Soils: A baseline for research and development*. IILRI Publ. no. 39. IILRI, Wageningen, the Netherlands
- Fahmi A. 2011. Dinamika jerapan permukaan kompleks fe oksida-senyawa humat. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. Vol 5(2)/2011: 75-82.
- Hidayati N. 2013. Mekanisme fisiologis tumbuhan hiperakumulator logam berat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 14(2) : 75-82.
- Indrayati, L. 2011. Purun tikus berpotensi perbaiki kualitas air di rawa pasang surut. *Dalam Inovasi Sumberdaya Lahan Dukung Swasembada Pangan*. Sinar Tani No. 3400 Tahun XXL, Edisi 6-12 April 2011.
- Irhamdi S, Pandia, Purba E, Hasan W. 2017. Kajian akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoemediasi. *Jurnal Serambi Engineering*. 2(1) : 75-84.
- Jumberi A, Sarwani M, Koesrini. 2004. *Komponen Teknologi Pengelolaan Lahan Dan Tanaman Untuk Meningkatkan Produktifitas dan Efisiensi Produksi Di Lahan Sulfat Masam*. Dalam T. Alimansyah dan N. Izzuddin. *Laporan Tahunan 2003*. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru. Hal. 9 – 14.
- Masganti, Nurhayati, Nurmili. 2016. Peningkatan produktivitas padi di lahan pasang surut dengan pupuk P dan kompos jerami. *Jurnal Tanah dan Iklim* 40(1):17-24.

- Parfitt RL, Atkinson RJ, Smart RSTC. 1975. The mechanism of fosfat fixation by iron oxides. Soil Science Society America. Proc. Vol. 39.
- Ponnamperuma. 1977. Behavior of Minor Elements in Paddy Soils. IRRI Res. Paper Series. 8 Mei 1977. 15p.
- Ritung S, Suryani E, Subardja D, Sukarman, Nugroho K, Suparto, Hikmatullah, Mulyani A, Tafakresnanto C, Sulaeman Y, Subandiono RE, Wahyunto. 2015. Sumber Daya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran, dan Potensi Ketersediaan. Husen (*Eds*). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Sulthoni M, Badruzsaufari, Fadly HY, Eny DP. 2014. Kemampuan tanaman ekor kucing (*Typha latifolia*) dan purun tikus (*Eleocharis dulcis*) dalam penurunan konsentrasi Fe dan Mn dari air limbah pit barat PT Pampersada Nusantara Kabupaten Banjar. Jurnal Enviro Scientiae. 10: 80-87.
- Stahl RS, Fanning DS, James BR. 1993. Geotit and jarosite precipitation from ferrous sulfate solution. Soil Science Society American Journal. Vol.57. January-February.
- Stucky JW. 2006. Properties and behaviour of iron in clay minerals. Pp. 423-476. *In* Bergaya *et al.* (*Eds*). Hand Book of Clay Science. Develoment in Clay Science vol 1. Elsevier.
- Subagyo H. 2006. Klasifikasi dan Penyebaran Lahan rawa. Dalam: Karakterisasi & Pengelolaan Lahan Rawa. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Hal. 1-99.
- Susilawati A, Fahmi A. 2013. Dinamika besi pada tanah sulfat masam yang ditanami padi. Jurnal Sumberdaya Lahan. Vol. 7(2)/2013: 67-75.
- Widjaja-Adhi IPG. 1995. Potensi, peluang, dan kendala perluasan areal pertanian di lahan rawa di Kalimantan dan Irian Jaya. Seminar Perluasan Areal Pertanian di KTI. PII, Serpong 7-8 November 1995 (tidak dipublikasi).
- Ye Z, Baker H, Willis W. 1997. Copper and Nickel Uptake, Accumulation and Tolerance in *Typha Latifolia* with and Without Iron Plaque on the Root Surface. Department of Biology, Hongkong Baptist University, Kowloon Tong, Hongkong.
- Yuliana HWD, Dwi AS, Iryanti ES, Wahyu DS. 2017. Firoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*eichornia crassipes*) untuk menurunkan COD dan kandungan Cu dan Cr limbah cair laboratorium analitik Universitas Udayana. Cakra Kimia. Indonesia-Journal of Applied Chemistry. 5(2): 137-144.