

Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) dan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) pada Sistem LBB di PT. JBG Kalimantan Selatan

Phytoremediation of Fe and Mn Acid of Coal Mine with Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) and LBB System at PT. JBG South Kalimantan

Rahmat Yunus¹⁾, Nopi Stiyati Prihatini²⁾

¹⁾ Program Studi Kimia, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru

²⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru

Received 17th January 2018 / Accepted 27th February 2018

ABSTRAK

Air asam tambang (AAT) adalah air limbah yang terbentuk dari serangkaian reaksi kimia dan aktivitas biologis pada saat dan setelah eksploitasi batu bara dengan sistem terbuka. Batubara yang mengandung sulfida dengan adanya oksigen dan air mengalami oksidasi membentuk asam sulfat sehingga memiliki $pH < 4$. Kondisi ini mempermudah kelarutan Fe dan Mn. Akibatnya, AAT menjadi potensi besar sebagai pencemar lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyisihan Fe dan Mn pada AAT. Metode yang digunakan adalah fitoremediasi dengan memanfaatkan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan purun tikus (*Eleocharis dulcis*) pada sistem lahan basah buatan (LBB). Perlakuan dilakukan selama 25 hari dengan debit aliran $5 \text{ m}^3/\text{hari}$. Pengukuran dan pengambilan sampel dilakukan per 5 hari. Pengukuran konsentrasi Fe dan Mn menggunakan ICP-OES. Hasil analisis diperoleh bahwa LBB hanya mampu menaikkan pH dari 3,20 menjadi 5,31. Eceng gondok dan purung tikus mampu mengakumulasi Fe dan Mn dengan Faktor Biokonsentrasi (FBK) tertinggi untuk Fe yaitu berturut-turut sebesar 1701,12 dan 1010,86 dan untuk Mn berturut-turut sebesar 1,12 dan 1,45, Indeks Fitoremediasi (IFR) atau efisiensi kinerja LBB dalam menyisihkan Fe dan Mn yaitu berturut-turut antara (87,11- 95,28)% dan (70,08 - 79,84)%. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua tumbuhan ini dapat dipertimbangkan untuk dimanfaatkan dalam pengolahan AAT dengan waktu yang lebih panjang dalam LBB yang lebih luas.

Kata kunci: Fitoremediasi, Fe dan Mn, AAT, Eceng gondok, Purun tikus, LBB.

*Korespondensi:

email: rhmtyunus@gmail.com

ABSTRACT

*Acidic acid water (AAT) is a waste water formed from a series of chemical reactions and biological activity during and after exploitation of open-air coal. Coal containing sulphide in the presence of oxygen and water is oxidized to form sulfuric acid to have a pH <4. This condition facilitates the solubility of Fe and Mn. As a result, AAT becomes a great potential as environmental polluters. This study aims to determine the efficiency of Fe and Mn removal at AAT. The method used is phytoremediation by using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and purun tikus (*Eleocharis dulcis*) on artificial wetland system (LBB). The treatment was carried out for 25 days with a flow rate of 5 m³ / day. Measurements and sampling are done every 5 days. Measurements of Fe and Mn concentrations using ICP-OES. The results of the analysis show that LBB is only able to increase the pH from 3.20 to 5.31. Water hyacinth and purple mice were able to accumulate Fe and Mn with the highest Bioconcentrate (FBK) factor for Fe, respectively of 1701,12 and 1010,86 and for Mn respectively of 1,12 and 1,45, Phytoremediation Index (IFR) or LBB performance efficiency in excluding Fe and Mn respectively between (87,11-95,28)% and (70,08 - 79,84)%. These results indicate that both of these plants can be considered for use in longer-term AAT processing in larger LBBs.*

Keywords: Phytoremediation, Fe and Mn, AAT, Water hyacinth, Purun rat, LBB..

PENDAHULUAN

Air Asam Tambang (AAT) adalah air limbah yang terbentuk melalui serangkaian reaksi kimia dan aktivitas biologis. Batuan yang mengandung sulfida dengan adanya oksigen dan air mengalami oksidasi membentuk asam sulfat, sehingga memiliki pH <4. Pada pH yang rendah menyebabkan peningkatan kelarutan logam berat di dalam air. Akibatnya AAT dengan keasaman tinggi dan kaya akan logam berat berpotensi besar menjadi sumber pencemaran lingkungan. Beberapa peneliti telah menemukan bahwa AAT memiliki pH yang rendah, sulfat yang tinggi, dan mengandung logam berat dan bersifat toksik seperti Fe, Mn, Pb, Cd, Hg, As, Al, Cr, Ni, Zn, Co, Cu (Yunus, 2014; Prihatini, 2014; Elisa *et al.*, 2006; Blodau, 2006; Dowling *et al.*, 2004; Achterberg *et al.*, 2003).

Metode kimia yang dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat yang berlebihan dari air, yaitu koagulasi, pertukaran ion, pengendapan, elektrolisis, dan sistem osmosis terbalik (Balasubramanian *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2006; Kumari *et al.*, 2006). Metode-metode tersebut, saat ini jarang digunakan karena memiliki beberapa kelemahan diantaranya diperlukan pengetahuan dan keterampilan serta biaya yang tinggi (Sharma dan Sohn, 2009). Pada industri pertambangan di Kalimantan selatan saat ini, metode yang digunakan adalah pemberian kapur hingga mencapai baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah (pH 6-9), TSS (200), Fe total (maks. 7 mg/L), Mn total (maks. 4 mg/L), dan Cd (maks. 0,05 mg/L) (Kepmen LH No: 113 tahun 2003). Metode ini juga masih dianggap mahal dan menyebabkan tingginya pengendapan lumpur anorganik (*sludge*).

Kalimantan selatan sebagian besar wilayahnya adalah rawa dengan vegetasi tumbuhan air yang sangat beragam. Vegetasi yang sangat dominan diantaranya adalah Purun tikus

Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok (Eichornia crassipes) dan Purun Tikus (Eleocharis dulcis) pada Sistem LBB di PT. JBG Kalimantan Selatan

(*Eleocharis dulcis*) dan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Kedua vegetasi tumbuhan air ini dapat tumbuh dan berkembang pada daerah rawa dan tergolong sebagai hiperakumulator logam berat. Krisdianto dkk. (2006), menemukan bahwa Purun tikus dapat berfungsi untuk menurunkan konsentrasi Fe terlarut pada petak yang ditanami padi dengan sumber AAT batubara, dengan menghasilkan serapan Fe rata-rata sebesar 1176,6 mg/kg bobot kering. Prihatini (2014), menemukan bahwa Purun tikus pada sistem Lahan basah buatan (LBB) aliran horizontal bawah permukaan yang dioperasikan dengan aliran kontinyu mempunyai efisiensi penyisihan Fe pada AAT sebesar 78,05 %.

Hal yang sama dengan Eceng gondok, tumbuhan ini mampu mengakumulasi beberapa jenis logam, seperti Al, Pb, Cu, Fe, Mn, Ni, Cd, Cr, Co, Zn, dan Hg (Skinner *et al.*, 2007). Eceng gondok mampu mengakumulasi As yang terlarut pada AAT (Michelle *et al.*, 2010). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa Eceng gondok mampu mengurangi Pb dan As secara simultan pada AAT dengan indeks fitoremediasi (IFR) masing-masing sebesar 100% dan 70,51% dari konsentrasi awal masing-masing 10,20 ppm dan 12,34 ppm serta mampu meningkatkan pH dari 4,87 menjadi 6,85 (Yunus, 2014). Data kemampuan kedua tumbuhan menjadi pertimbangan untuk digunakan sebagai akumulator logam berat dan menaikkan pH AAT pada konstruksi LBB.

Konstruksi LBB telah digunakan secara internasional dengan hasil yang baik (Farooqi *et al.*, 2008). Pada tahun 2000 saja terdapat 600 proyek aktif *constructed wetland* di Amerika Serikat (USEPA, 2000) dan lebih dari 400 proyek aktif di Eropa. Di Indonesia, LBB telah digunakan untuk memperbaiki kualitas air Sungai Citarum (Meutia dkk., 2003). Selain itu, sebuah studi yang telah dilaksanakan di Pusat Pemberdayaan Komunitas Perkotaan Surabaya pada tahun 2007 untuk melihat kemampuan LBB dalam mengolah air limbah domestik. Studi ini menunjukkan bahwa LBB yang dibangun tersebut memiliki modal dan biaya operasi yang relatif lebih rendah daripada pengolahan limbah konvensional dengan kinerja yang setara, sehingga menjadi alternatif yang menarik (Soewondo dan Akbar, 2007). Studi-studi tersebut juga mengindikasikan bahwa LBB dapat diaplikasikan pada industri pertambangan dalam pengolahan limbah jenis lainnya termasuk AAT batubara.

METODE

Bahan-bahan yang digunakan diperoleh dari sekitar lokasi tambang batubara. Eceng gondok (Eg) yang digunakan adalah yang memiliki tinggi sekitar 20-25 cm dengan kondisi sempurna, Purun tikus (Pt) anakan yang memiliki tinggi sekitar 15-20 cm, dan pupuk kandang.

LBB aliran kontinyu dibuat ukuran 2 x 30 m atau dengan luas sekitar 60 m² (Gambar 1a). LBB diisi dengan campuran tanah dan 10% bokasi (Gambar 2a). LBB ini dibuat menjadi 2 bagian, dimana separuh bagian di tanami pt dan separuh bagian lainnya ditanami Eg. Kedua tumbuhan tersebut yang ditanam memiliki jumlah batang tiap rumpun relatif sama dengan jarak sekitar 15 cm (Gambar 2b). Melakukan aklimatisasi tanaman dengan cara memberikan air bersih selama 2 minggu atau hinggautupan vegetasi >70% dengan tingkat kematian <10%. Mengoperasikan LBB kontinyu

Yunus (2018)

selama 25 hari dengan debit aliran 5 m³/hari (Gambar 4). AAT yang akan diolah yaitu bersumber dari Void M2W PT. Jorong Barutama Greston (JBG).



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel



Gambar 2. Eceng gondok dan Purun Tikus



Gambar 3. Pemberian bokasi pada LBB

*Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok
(Eichornia crassipes) dan Purun Tikus (Eleocharis dulcis) pada Sistem LBB di PT. JBG
Kalimantan Selatan*



Gambar 4. LBB dengan tanaman Pt dan Eg

Pengambilan sampel untuk pengukuran Fe dan Mn yang terkandung dalam (air, eceng gondok, dan purun tikus) dilakukan setiap 5 hari dari hari ke 0-25. Contoh air diambil di 2 titik yaitu inlet dan outlet masing-masing sebanyak 100 mL dengan 3 kali ulangan. Sampel dari kedua tumbuhan juga diambil di 2 titik yaitu dekat inlet dan dekat outlet. Setiap pengambilan sampel didahului dengan pengukuran pH dan suhu air.

Analisis sampel (air, Eg, dan Pt) terhadap kandungan Fe dan Mn dilakukan sesuai dengan standar SNI, yaitu untuk SNI 6989.4.2009 dan untuk Mn SNI 6989.5.2009. Pengukuran konsentrasi Fe dan Mn menggunakan *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer* (ICP-OES) ACTIVA S.

Analisis Data

Hasil pengukuran konsentrasi Fe dan Mn yang terakumulasi pada Eg dan Pt dikonversi menjadi nilai Faktor Biokonsentrasi (FBK). FBK adalah parameter untuk menentukan potensi tumbuhan sebagai akumulator Fe dan Mn dalam kondisi bobot kering tumbuhan. FBK dihitung dengan rumus (Zayed et al., 1998):

$$FBK = \frac{\text{Konsentrasi logam dalam tumbuhan}}{\text{Konsentrasi logam dalam AAT}} \dots\dots\dots (1)$$

Hasil pengukuran konsentrasi Fe dan Mn yang terkandung pada AAT dikonversi menjadi nilai Indeks Fitoremediasi (IFR). IFR adalah prosentase penurunan konsentrasi parameter awal dibandingkan dengan parameter pada effluen. IFR dihitung dengan rumus berikut:

$$IFR = \frac{[awal]-[ahir]}{[awal]} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas AAT

LBB yang telah di rancang diisi AAT yang bersumber dari void M2W PT JBG. Kualitas AAT tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas AAT

Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Kadar Maksimum
			Kepmen LH No 113/2003
Konsentrasi Fe	ppm	23,12	7
Konsentrasi Mn	ppm	25,50	4
pH	-	3,20	6-9
TSS	ppm	37,05	400

Tabel 1 menunjukkan bahwa berdasarkan Kepmen LH No 113/2003 dan Pergub Kalsel No 36/2008 tentang syarat baku mutu air limbah tambang batubara, terdapat 3 parameter yang tidak memenuhi syarat, yaitu konsentrasi Fe, Mn, dan pH. Konsentrasi Fe dan Mn yang sangat tinggi dengan pH yang sangat rendah menunjukkan AAT tersebut harus diolah sebelum dilepas ke lingkungan. Parameter TSS sudah sangat memenuhi syarat baku mutu sehingga selanjutnya tidak lagi dianalisis.

Bioakumulasi Eceng Gondok dan Purun Tikus

Pengolahan AAT dengan metode Fitoremediasi, dengan tumbuhan Eg dan Pt pada sistim LBB Hasil pengukuran beberapa parameter kualitas air dari kedua tumbuhan tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Konsentrasi Fe dan Mn yang Terakumulasi pada Eceng Gondok dan Purun Tikus (mg/kg berat kering)

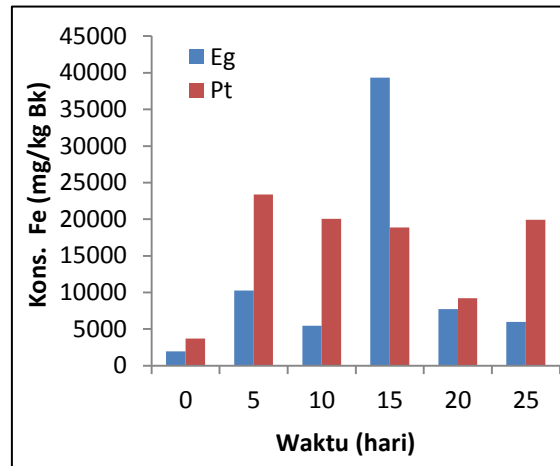
Parameter	Waktu Perlakuan (Hari)					
	0	5	10	15	20	25
Suhu (°C)	37,2	37,3	37,5	37,2	37,1	37,7
pH air outlet	3,20	3,97	4,64	4,70	4,96	5,31
Kons. Fe pada Eg	1946,79	10263,00	5468,77	39329,83	7734,46	5986,11
Kons. Fe pada Pt	3709,87	23371,00	20071,08	18858,59	9229,45	19935,26
Kons. Mn pada Eg	4,03	10,28	7,95	23,89	26,93	28,56
Kons. Mn pada Pt	5,88	27,43	7,93	3,18	36,86	29,06

Tabel 2 menunjukkan bahwa Eg dan Pt mampu mengadsorpsi dan mengakumulasi Fe dan Mn dari AAT pada suhu yang berfluktuasi sangat rendah. Akumulasi dari kedua tumbuhan tersebut juga tampak tidak seiring dengan peningkatan pH. Perubahan pH dari 3,20 menjadi 5,31 atau naik sebesar 2,1 pada rentang waktu 25 hari dalam sistem LBB aliran kontinu menunjukkan bahwa pH AAT belum memenuhi baku mutu air limbah batu bara yang di ditetapkan oleh Kepmen LH No 113/2003 yaitu 6-9. Adanya peningkatan pH tersebut telah membuktikan bahwa pengolahan AAT dengan LBB yang memanfaatkan Eg dan Pt dapat meningkatkan pH AAT. Peningkatan pH ini dapat disebabkan oleh interaksi proses pengendapan, sedimentasi, adsorpsi, ko-presipitasi, pertukaran kation, fotodegradasi, fitoakumulasi, biodegradasi, aktivitas mikrobial, dan serapan tanaman (Sheoran and Sheoran, 2006).

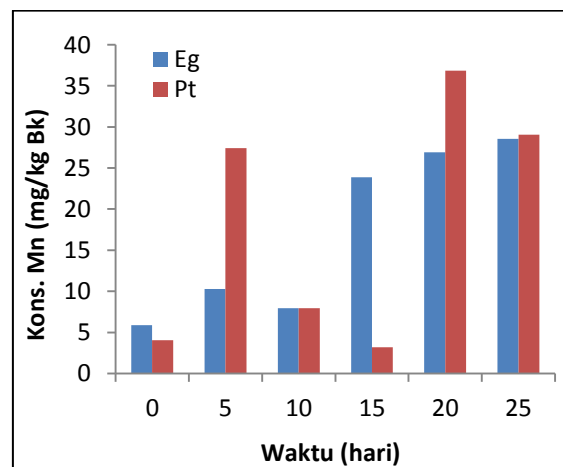
Akumulasi Fe dan Mn dari Eg dan Pt tersebut pada sistem LBB menunjukkan peningkatan yang tidak konstan. Eceng gondok mampu mengakumulasi Fe dan Mn

*Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok
(Eichornia crassipes) dan Purun Tikus (Eleocharis dulcis) pada Sistem LBB di PT. JBG
Kalimantan Selatan*

tertinggi masing-masing sebesar 39329,83 mg/kg bobot kering pada hari ke-15 dan 28,56 mg/kg bobot kering pada hari ke-25. Purun tikus mampu mengakumulasi Fe dan Mn tertinggi masing-masing sebesar 23371,00 mg/kg bobot kering pada hari ke-5 dan 36,86 mg/kg bobot kering pada hari ke 20. Kecenderungan perubahan tingkat akumulasi Fe dan Mn dari kedua tumbuhan tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 5. Bioakumulasi Fe pada Eceng gondok dan Purun tikus



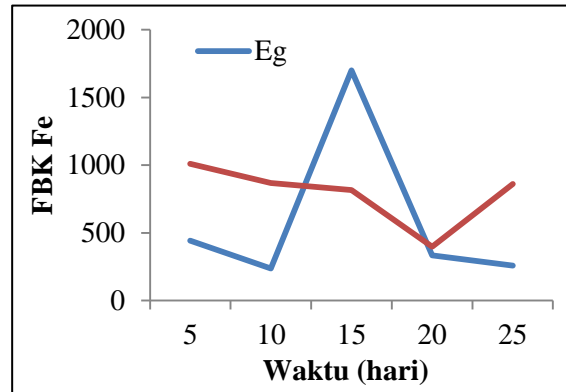
Gambar 6. Bioakumulasi Mn pada Eceng gondok dan Purun tikus

Hasil perhitungan FBK yang menunjukkan potensi kedua tumbuhan tersebut dalam mengakumulasi Fe dan Mn disajikan pada Gambar 3 dan 4. Gambar 3 menunjukkan bahwa Eg memiliki FBK Fe (1701,12) lebih tinggi dari pada Pt (1010,86), namun dari hasil rata-rata terjadi sebaliknya dimana Pt (791,22) lebih tinggi daripada Eg (595,00). FBK Fe tertinggi tersebut masing-masing terjadi pada hari 15 untuk Eg dan hari ke-5 untuk Pt. Tingginya nilai FBK Fe menunjukkan bahwa eg dan Pt layak disebut sebagai tumbuhan hiperakumulator Fe.

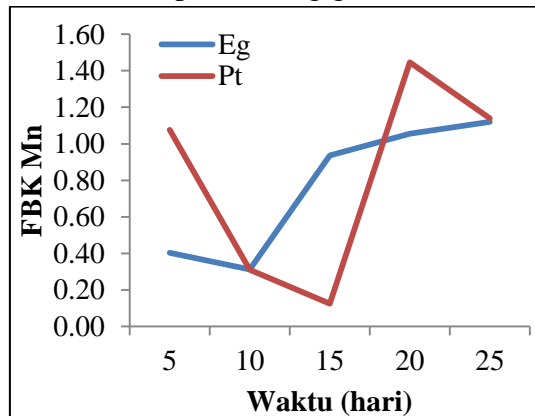
Hasil ini menjelaskan bahwa Pt memiliki waktu adaptasi terhadap kondisi lingkungan (pH) lebih singkat daripada eceng gondok dalam mengadsorpsi Fe dari AAT tetapi tidak pada proses transportasi dan translokasi. Hal ini tampak setelah terjadi FBK

tertinggi, Pt membutuhkan waktu lebih lama untuk dapat meningkatkan kembali kemampuan adsopsinya.

Berdasarkan Gambar 4, bahwa FBK Mn dari kedua tumbuhan tersebut jauh lebih rendah daripada FBK Fe. FBK Mn tertinggi dari Eg (1,12) dan Pt (1,45) masing-masing terjadi pada hari ke-25 dan ke-20. Hasil rata-rata FBK dari kedua tumbuhan ini menunjukkan bahwa Eg lebih rendah daripada Pt, yaitu masing-masing 0,77 dan 0,82. Hasil ini menjelaskan bahwa kedua tumbuhan tersebut tidak mampu mengakumulasi Fe dan Mn secara bersamaan dengan konsentrasi yang tinggi.



Gambar 7. FBK Fe pada Eceng gondok dan Purun tikus



Gambar 8. FBK Mn pada Eceng gondok dan Purun tikus

Kecenderungan yang terjadi pada Gambar 3 dan 4 dapat dijelaskan bahwa Pt merupakan tanaman yang dapat tumbuh dengan baik $pH < 4$, sedangkan eceng gondok akan mengalami hambatan pertumbuhan pada $pH < 4$. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya bahwa eceng gondok tidak dapat mentolerir terhadap media pH rendah dan pertumbuhan terbaik pada kisaran pH 5,5-7,0 (Ratnaningsih, dkk., 2010; Lu, 2009). Hal ini menyebabkan Eg membutuhkan waktu dan kondisi pH lebih tinggi untuk dapat melakukan adsorpsi yang lebih tinggi. Penyebab lainnya adalah pada $pH < 4$ kation-kation yang terlarut sangat terbatas untuk mendekati jaringan tanaman. Menurut Lopez *et al.* (2002), pengikatan logam ke jaringan tanaman meningkat dengan meningkatnya pH . Hal ini diperkuat oleh Kaur *et al.* (2012), bahwa pada pH rendah kation logam terhambat oleh adanya gaya tolak dari ion H^+ dari situs adsorben. Hasil penelitian terhadap logam yang berbeda menemukan bahwa akumulasi Zn, Pb, As, Fe dan Cd oleh

Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok (Eichornia crassipes) dan Purun Tikus (Eleocharis dulcis) pada Sistem LBB di PT. JBG Kalimantan Selatan

eceng gondok dan purun tikus meningkat seiring naiknya pH (Yunus, 2014; Prihatini, 2014, dan Aisen *et al.*, 2010).

Kecenderungan lainnya adalah tingginya FBK Fe daripada Mn. Hal ini terjadi dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya keelektronegatifan dan indeks kovalen kedua logam yang berbeda. Huheey *et al.* (1993), telah menuliskan elektronegativitas berdasarkan skala Pauling, dimana Fe adalah 1,8 dan Mn 1,5 dengan Jari-jari ion Fe 0,79 Å dan Mn 0,75 Å. Pada tumbuhan gugus-gugus yang ada adalah karboksilat dan hidroksi. Elektronegatifitas kedua gugus ini masing-masing 3,04 dan 2,82. Menurut Jasmadi dkk. (2002), bahwa ion yang berukuran lebih kecil akan berinteraksi lebih kuat dengan ligan karena mempunyai kemampuan polarisasi yang tinggi. Chojnacka (2013), bahwa parameter penting dalam biosorpsi kation yang maksimum tergantung pada indeks kovalen. Indeks kovalen yang lebih tinggi, berpotensi untuk membentuk ikatan kovalen dengan ligan biologis (tiol, amino, karboksil, dan hidroksil). Hasil ini menunjukkan bahwa tingginya FBK Fe daripada Mn tidak dapat dijelaskan berdasarkan pembentukan kompleks.

Teori lain yang umum digunakan untuk menjelaskan fenomena di atas, adalah berdasarkan sifat keasaman kedua logam tersebut. Pearson (1963) dalam Huheey *et al.* (1993), mengemukakan prinsip HSAB (*Hard dan Soft Acid Bases*) dengan mengklasifikasikan asam basa Lewis menurut sifat kuat dan lemahnya kation. Kation yang bersifat asam kuat akan berinteraksi kuat dengan ligan yang bersifat basa kuat. Sebaliknya kation yang bersifat asam lemah akan berinteraksi kuat dengan ligan yang bersifat basa lemah. Teori ini juga ternyata tidak dapat menjelaskan dengan pasti karena dalam pengelompokan kation menurut prinsip HSAB, ion Fe dan Mn berada dalam kelompok yang sama. Dengan demikian hasil ini kemungkinan terjadi karena adanya beberapa logam yang terdapat pada AAT yang memiliki reaktivitas lebih tinggi daripada Mn dan yang mampu ditoleransi oleh kedua tumbuhan tersebut.

Efisiensi Kinerja LBB

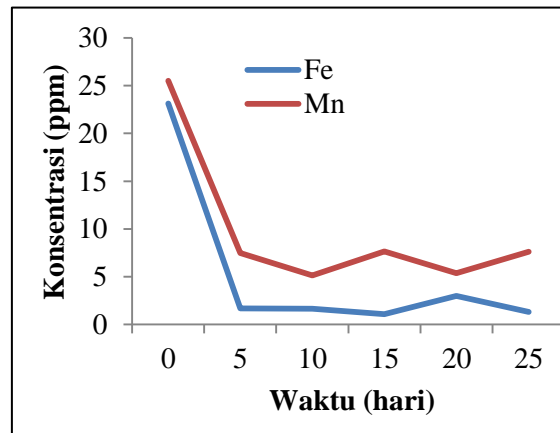
Hasil pengukuran kualitas produk air olahan yang diambil dari outlet LBB disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kualitas Produk Air Olahan pada LBB

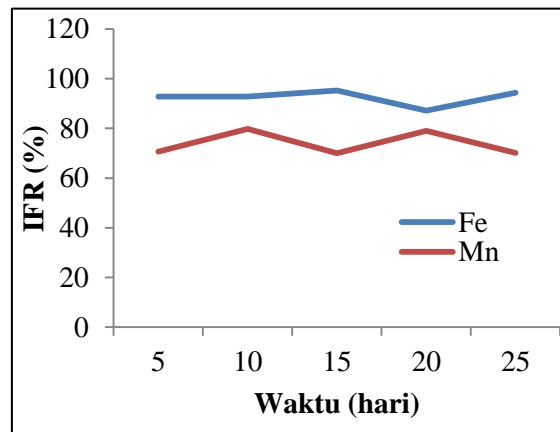
Paramete	Waktu Perlakuan (hari)						Rerat a
	0	5	10	15	20	25	
pH	3,20	3,97	4,64	4,70	4,96	5,31	4,72
Konsentrasi. Fe (ppm)	23,12	1,67	1,66	1,09	2,98	1,31	4,15
Konsentrasi. Mn (ppm)	25,50	7,48	5,14	7,66	5,36	7,63	6,65
IFR Fe (%)		92,78	92,82	95,29	87,11	94,33	92,47
IFR Mn (%)		70,67	79,84	69,96	78,98	70,08	73,91

Tabel 3 menunjukkan bahwa kualitas air yang diperoleh dari hasil pengolahan AAT dengan metode fitoremediasi pada LBB dalam rentang waktu 25 hari, terdapat parameter yang belum memenuhi syarat yang ditetapkan oleh Kepmen LH No 113/2003 dan Pergub Kalsel No 36/2008, yaitu pH (< 6) dan konsentrasi Mn (> 4 ppm) dan

hanya konsentrasi Fe sudah memenuhi syarat tersebut (< 7 ppm). Hasil ini juga sesuai dengan nilai FBK Fe yang tinggi dan FBK Mn yang masih sangat rendah.



Gambar 9. Konsentrasi Fe dan Mn pada air produk olahan LBB



Gambar 10. Indeks Fitoremediasi Fe dan Mn pada LBB

Kecenderungan penurunan konsentrasi Fe dan Mn sebelum dan setelah melalui LBB ditunjukkan pada Gambar 5. Penurunan konsentrasi Fe dan Mn tampak tidak konstan. Konsentrasi Mn pada hari ke-15 dan 25 tampak mengalami kenaikan. Hal yang sama pada konsentrasi Fe pada hari ke-20 menunjukkan adanya kenaikan. Adanya peningkatan konsentrasi kedua logam ini dapat disebabkan oleh akumulasi kedua tumbuhan pada hari yang sama mengalami penurunan. Penyebab lainnya menurut Tarutis *et al.* (1999) bahwa LBB pada waktu tertentu dapat bertindak sebagai sumber logam bukan sebagai penyerap. Fenomena ini juga dapat disebabkan oleh AAT pada pH rendah menghasilkan peningkatan desorpsi logam dan kelarutan mineral yang mengakibatkan meningkatnya konsentrasi logam berat toksik. Selain itu, pada pH 2,3 - 3,5 Fe(III) tidak stabil di larutan dan Fe(III) oksihidroksida tak larut serta Fe(III) oksihidroksi sulfat mengendap (Woulds and Ngwenya, 2004).

Nilai IFR juga merupakan ukuran efisiensi dari kinerja LBB. Berdasarkan hasil perhitungan IFR menunjukkan penurunan konsentrasi Fe dan Mn masing-masing antara 87,11- 95,28)% dan 70,08 - 79,84% atau penurunan rata-rata masing-masing sebesar

Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok (Eichornia crassipes) dan Purun Tikus (Eleocharis dulcis) pada Sistem LBB di PT. JBG Kalimantan Selatan

92,47% dan 72,91%. Perubahan IFR Fe dan Mn juga tidak konstan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Hal ini dapat disebabkan oleh kemampuan Eg dan Pt dalam mengadsorpsi dan mengakumulasi Fe dan Mn. Faktor lainnya adalah tergantung pada konsentrasi dan dinamika logam dalam air limbah dan beban hidrolik yang masuk ke LBB (Vymazal, 2003).

KESIMPULAN

1. Eceng gondok dan Purun tikus mampu mengakumulasi Fe dengan FBK masing-masing sebesar 1701,12 dan 1010,86.
2. Eceng gondok dan Purun tikus mampu mengakumulasi Mn dengan FBK masing-masing sebesar 1,12 dan 1,45.
3. Efisiensi kinerja LBB dalam menurunkan konsentrasi Fe dan Mn masing-masing antara (87,11- 95,28)% dan (70,08 - 79,84)%
4. Kualitas air yang dihasilkan dengan sistem LBB dengan menggunakan eceng gondok dan Purun tikus dalam waktu 25 hari belum memenuhi syarat mutu air limbah batubara berdasarkan Kepmen LH No 113/2003.
5. Eceng gondok dan purun tikus adalah tumbuhan hiperakumulator Fe, sehingga layak direkomendasikan untuk digunakan dalam pengolahan AAT batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- Achterberg, E.P., Herzl, V.M.C., Braungardt, C.B., Millward, G.E. 2003. *Metal behaviour in an estuary polluted by acid mine drainage: the role of particulate matter*. Environ. Poll. 121: 283–292.
- Aisen, FA, Oluwole F, dan T.T. Aisen. 2010. *Phytoremediation of Heavy Metals in Aqueous Solutions*. Leonardo J. of Sciences. 37-46.
- Balasubramanian, N., Kojima, T., Ahmed Basha, C. dan Srinivasakannan, C. 2009. *Removal of Arsenic from Aqueous Solution using Electrocoagulation*. J. of Hazardous Materials. 167: 966-969.
- Blodau, C. 2006. *A review of acidity generation and consumption in acidic coal mine lakes and their watersheds*. Science of the Total Environment 369:307–332
- Chojnacka, K. 2013. *Biosorption dan Bioaccumulation in Practice*. Nova Science Publishers. Inc.
- Dowling Jeremy, Steve Atkin, Geoff Beale, dan Glenn Alexdaner. 2004. *Development of the Sleeper Pit Lake*. Mine Water dan the Environment 23: 2–11.
- Elisa, M., P. Gomes, and J.C. Favas, 2006. *Mineralogical controls on mine drainage of the abandoned Ervedosa tin mine in north-eastern Portugal*. Applied Geochemistry. 21:1322–1334
- Farooqi, I. H., F. Basheer dan R. J. Chaudhari. 2008. *Constructed Wetland System (CWS) for Wastewater Treatment*. dalam The 12th World Lake Conference.1004-1009

- Huheey, J.E, Keiter, E.A, dan Alexdaner, J. 1993. *Inorganic Chemistry : Principles of Structure Dan Reactivity*, 4th edition, Harper & Row Publisher, New York.
- Jasmidi, E. Sugiharto, dan Mudjiran. 2002. *Pengaruh Lama dan Kondisi Penyimpanan Biomassa terhadap Biosorpsi Timbal (II) dan Seng (II) Biomassa Saccharomyces cerevisiae*. Indonesian J. of Chemi. 11-15
- Kaur, L., Kasturi Gadgil, Satyawati Sharma. 2012. *Role of pH in the Accumulation of Lead dan Nickel by Common Duckweed (lemna Minor)*. Int. J. of Bioassays. 191.
- KepMen LH No. 113 tahun 2003 tentang Baku mUtu Air Limbah bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batu Bara.
- Kim, D.H., Kim, K.W. and Cho, J. 2006. *Removal and transport mechanisms of arsenics in UF and NF membrane processes*. J. Water Health. 4(2): 215-223.
- Krisdianto, E. Purnomo dan E. Mikrianto. 2006. *Peran Purun Tikus dalam Menurunkan Fe di dalam Air Limbah Tambang Batubara*. [Skripsi]. Banjarbaru: FMIPA UNLAM.
- Kumari, P., Sharma, P., Srivastava, S. dan Srivastava, M.M. 2006. *Biosorption Studies on Shelled Moringa oleifera Lamarck Seed Powder: Removal dan Recovery of Arsenic from Aqueous System*. Int. J. Miner. Process. 78:131-139.
- Lo'pez, A., Lazaro N., Morales S., Marques A.M. 2002. *Nickel Biosorption by Free dan Immobilized Cells of Pseudomonas flourescens: A Comparative Study*. Water, Air, Soil pollution. 135(1-4): 157-172.
- Lu, Q. 2009. *Evaluation of aquatic plants for phytoremediation of eutrophic stormwaters*. University of Florida. Doctoral Thesis
- Meutia, A. A., T. Suryono, Awaludin, B. S., E. M. dan Sugiarti. 2003. *Lahan Basah Buatan Untuk Memperbaiki Kualitas Air Sungai Citarum*. Puslit Geoteknologi LIPI http://opac.geotek.lipi.go.id/index.php?id=1194&p=show_detail
- Michelle B. da Cruz, Rosane Aguiar, dan Jaime W. Vargas de Mello. 2010. *Phytoremediation of Acid Mine Drainage by Aquatic Floating Macrophytes*. INCT-ACQUA - Annual Report-Institute of Science dan Technology for Mineral Resource. *Water dan Biodiversity*.
- Prihatini, N.S., 2014. *Potensi Lahan Basah Buatan dengan Purun Tikus (Eleocharis dulcis(Burm.f.) Trin. ex Hensch) Untuk Mengolah Air Asam Tambang Batubara: Penyisihan Besi (Fe) dan Peningkatan pH*. [Disertasi]. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ratnaningsih RD, Indah Hartati, dan Laeli Kurniasari. 2010. *Pemanfaatan eceng gondok dalam menurunkan COD, pH, bau, dan warna limbah cair tahu*. [Skripsi]. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Sharma, V.K. dan Sohn, M. 2009. *Aquatic Arsenic: Toxicity, Speciation, Transformations, dan Remediation*. Environ Int. 35: 743-759.
- Sheoran, A. S. dan V. Sheoran. 2006. *Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: A critical review*. Minerals Engineering. 19 105–116.

Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng Gondok (Eichornia crassipes) dan Purun Tikus (Eleocharis dulcis) pada Sistem LBB di PT. JBG Kalimantan Selatan

- Skinner, K., Wright N, dan Porter-Goff E. 2007. *Mercury Uptake dan Accumulation by Four Species of Aquatic Plants*. Environmental Pollution. 145: 234-237.
- Soewondo, P. dan C. Akbar. 2007. *Studi Kemampuan Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland dalam Mengolah Limbah Cair Domestik (Studi Kasus : Pusat Pemberdayaan Komunitas Perkotaan Surabaya)*. Jurnal Teknik Lingkungan. 13(1): 36-44.
- Tarutis-Jr, W. J., L. R. Stark dan F. M. Williams. 1999. *Sizing and performance estimation of coal mine drainage wetlands*. Ecological Engineering. **12**: 353-372.
- USEPA. 2000. *Guiding Prinsiples For Constructed Treatment Wetlands: Providing for Water Quality and Wildlife Habitat*. USEPA, Washington, DC.
- Woulds, C. dan B. T. Ngwenya. 2004. *Geochemical processes governing the performance of a constructed wetland treating acid mine drainage, Central Scotland*. Applied Geochemistry. 19 1773-1783.
- Yunus, R., 2014. *Fitoremediasi Pb dan As pads air asam tambang batbara dengan Eceng Gondok (Eichornia crassipes)*. [Disertasi]. Malang: Universitas Brawijaya.
- Zayed A., Gowthaman S., dan Terry N. 1998. *Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed*. J. Environmental Quality. 27(3): 715-721.