

Penerapan Metode *Constructed Wetland* dalam Upaya Pengelolaan Limbah Air Asam Tambang pada Penambangan Batubara , Berdasarkan *Literatur Review*

Andrawina¹, Rika Ernawati², Tedy Agung Cahyadi³, Waterman SB⁴, Nur Ali Amri⁵

¹⁻⁵ Magister Teknik Pertambangan Universitas Pembangunan “Veteran” Yogyakarta

Korespondensi : andrawina17@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan penting yang sering terjadi akibat kegiatan *open pit mining* dari penambangan batubara adalah permasalahan air asam tambang. Air asam tambang terbentuk akibat adanya oksidasi dari mineral sulfida yang terekspos ke luar kemudian bercampur dengan air sehingga mengakibatkan air yang bersifat asam dan juga air asam tambang ini seringkali mengandung zat padat tersuspensi yang memiliki konsentrasi tinggi. Limbah pertambangan yang bersifat asam ini dapat menyebabkan korosi dan melarutkan logam-logam sehingga air yang dicemari bersifat racun dan dapat memusnahkan kehidupan akuatik. Penanganan air asam tambang secara *passive treatment* dengan metode *constructed wetland* atau lahan basah buatan sering diterapkan untuk pengolahan air asam tambang di beberapa perusahaan penambangan batubara. Dengan penerapan metode *constructed wetland* atau lahan basah dalam penanganan air asam tambang efektif dalam meningkatkan nilai pH dan menurunkan kadar logam berat terlarut. Penelitian ini untuk mencari metode pengelolaan pada air asam tambang dengan menggunakan metode *constructed wetland*, maka dilakukan di-*review* kembali guna membantu proses pengelolaan pada air asam tambang dengan secara *passive treatment* dengan metode *constructed wetland*. *Review* dilakukan untuk membandingkan metode pengelolaan pada air asam tambang dengan metode *constructed wetland* serta mengetahui kelebihan dan kekurangan dari tanaman rawa yang digunakan dalam metode lahan basah buatan.

Kata kunci: Air Asam Tambang , *Passive Treatment*, Lahan Basah Buatan

ABSTRACT

An important problem that often occurs due to open pit mining activities from coal mining is the problem of acid mine drainage. Acid mine drainage is formed due to the oxidation of sulfide minerals that are exposed to the outside and then mixes with water, resulting in acidic water and also acid mining water often contains suspended solids that have high concentrations. This acidic mining waste can cause corrosion and dissolve metals so that contaminated water is toxic and can destroy aquatic life. Handling of acid mine drainage as passive treatment with constructed wetland methods is often applied to acid mine drainage treatment in several coal mining companies. By applying the method of constructed wetlands in the handling of acid mine drainage, it is effective in increasing the pH value and reducing the dissolved heavy metal content. This research is to find a management method for acid mine drainage using the constructed wetland method, so it is reviewed again to assist the management process of acid mine drainage by passive treatment with the constructed wetland method. The review was conducted to compare the management method of acid mine drainage with the constructed wetland method and to find out the advantages and disadvantages of swamp plants used in the artificial wetland method.

Keywords: Acid Mine Drainage, Passive Treatment, Constructed Wetland

1. PENDAHULUAN

Salah satu potensi masalah dari kegiatan pertambangan adalah risiko terbentuknya air asam tambang yaitu air yang terbentuk akibat dari adanya oksidasi batuan sulfida tertentu yang berada di dalam lapisan batubara, sehingga mengakibatkan air ini bersifat asam dan biasanya air asam ini mengandung logam berat seperti besi dan mangan, dan seringkali mengandung zat padat tersuspensi yang memiliki konsentrasi tinggi.

Dampak air asam tambang bukan hanya di dalam lokasi pertambangan saja namun yang lebih dikhawatirkan adalah tercemarnya sumber air yang terdapat di luar kawasan tambang dan sangat membahayakan lingkungan khususnya bagi makhluk hidup. Pengelolaan air asam tambang seharusnya dilakukan pada setiap perusahaan pertambangan sesuai dengan kewajiban berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No.7 Tahun 2014 tentang Pelaksanaan Reklamasi dan Pascatambang pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara. Umumnya penanganan air asam tambang yang dilakukan di banyak perusahaan tambang adalah dengan menggunakan teknologi aktif dan pasif. Kedua pendekatan tersebut memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing dalam segi efektivitas [3].

Seiring dengan perkembangan teknologi, pengelolaan air asam tambang dengan teknologi aktif mulai menuai permasalahan terutama biaya yang dikeluarkan, oleh sebab itu penerapan teknologi pasif mulai diminati karena dianggap lebih efektif [3]. Metode pasif juga telah menjadi pilihan dan sering diterapkan dalam penanganan air asam

tambang karena memerlukan biaya rendah dan mekanismenya sederhana, salah satunya yaitu dengan metode *constructed wetland*. Metode *constructed wetland* dalam penanganan air asam akibat limbah penambangan batubara dapat menerapkan beberapa jenis perlakuan aktif ataupun pasif dengan penggunaan jenis tanaman rawa yang berfungsi dalam mereduksi logam berat yang terkandung pada air limbah penambangan [17].

Pada penelitian ini dimaksudkan untuk mencari metode pengelolaan AAT dengan metode *wetland*, maka dilakukan *review* kembali dari beberapa *paper* guna membantu proses pengelolaan AAT dengan metode pasif dengan lahan basah buatan. *Review* dilakukan untuk membandingkan metode pengelolaan AAT dengan sistem *wetland* serta mengetahui kelebihan dan kekurangan dari tanaman rawa yang digunakan dalam metode *wetland*.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam penelitian dimulai dengan *literature review*. *Literature review* adalah proses kritisi mendalam dan evaluasi terhadap penelitian sejenis sebelumnya. Paper yang akan di-*review* adalah *paper* mengenai Fitoremediasi Fe dan Mn Air Asam Tambang Batubara dengan Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) pada Sistem Lahan Basah Buatan di PT. JBG Kalimantan Selatan, Kajian Pengelolaan Air Asam Tambang dengan menggunakan Metode *Aerobic Wetland* dan Pengaruhnya terhadap Baku Mutu Air pada Site Lati PT. Berau Coal, Potensi Pemanfaatan Tanaman *Thypha sp* dan *Cyperus sp* dalam Proses Remediasi Air Asam Tambang dengan Sistem Rawa Buatan, *Aquatic Plants for Acid Mine Drainage Remediation in Simulated Wetland System, Metal Uptake and Transport ny Typha Angusta L. Grown on Metal Contaminated Waste Amended Soil : An Implication of Phytoremediation dan Decreasing Level of Heavy Metals Fe and Mn use the Wetland Method at Coal Open Mining PT Bukit Asam South Sumatera Province*.

Terbentuknya AAT ditandai oleh pH yang rendah (1,5 – 4) dan konsentrasi logam terlarut yang tinggi dari conto air asam tambang. Conto air asam tambang pada kolam – kolam pengendapan diambil kemudian digunakan untuk mengetahui keberhasilan dalam penanganan air asam tambang dengan menggunakan metode *constructed wetland* serta perlu adanya pengujian lebih lanjut melalui pengujian di laboratorium untuk mengetahui keterdapatan dan besarnya beban pencemaran, antara lain uji pH, uji TSS, uji kadar Fe dan uji kadar Mn. Parameter pH, TSS, Fe dan Mn akan dibandingkan dengan baku mutu air untuk mengetahui keberhasilan pengelolaan air asam tambang [2].

Menurut penelitian dari Sandrawati, dkk (2018) metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis laboratorium dilakukan pada setiap contoh yang diambil, metode pengukuran contoh diuraikan dalam Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Metode Pengukuran Contoh Tanaman [16]

Parameter Analisis	Metode Pengukuran
Produktivitas	Berat biomassa ubinan
Total Sulfur	Turbidimetri, pengabuan basah
Fe dan Mn	Spektrofotometri, pengabuan kering

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Pengaruh Tanaman Air Terhadap Nilai pH

Tumbuhan air dapat meningkatkan nilai pH dari rendah ke tinggi, hal ini disebabkan oleh [1] :

1. Kandungan alkalinitas kompos digunakan sebagai matriks lahan basah , karena kompos dapat meningkatkan pertumbuhan baketri pereduksi sulfat yang dapat meningkatkan alkalinitas kemudian dapat meningkatkan pH.
2. Interaksi tumbuhan air dengan lingkungan sekitarnya, keberadaan tumbuhan air yang terapung di kolam yang menyebabkan lingkungan anaerobik di bawah kolam, kemudian tumbuhan air melakukan fotosintesis dengan mengambil CO₂, akibat pengambilan CO₂ oleh tumbuhan sehingga nilai pH air meningkat.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Aryanto (2015) menjelaskan bahwa dengan menerapkan metode *aerobic wetland* pada penanganan air asam tambang memiliki spesifikasi fungsi kolam *wetland* sebagai berikut.

Tabel 2. Spesifikasi Fungsi Kolam *Aerobic Wetland* [2]

Kolam	Media	Fungsi
<i>Aerobic Wetland</i>	Bahan organik dan tanaman <i>Typha Angustifolia</i>	1. Menambahkan alkalinitas dan mengendapkan logam 2. Menyerap logam Fe dan Mn

Dari penelitian tersebut, sampel diambil setiap hari dari *inlet* dan *outlet* air asam tambang yang masuk pada sistem *wetland*, sehingga didapatkan hasil parameter yang ditinjau sebelum dan setelah penanganan air asam tambang

yang menggunakan *Typha Angustifolia* sebagai tanaman air pada *wetland* yang dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Parameter Setelah Pengelolaan Air Asam Tambang [2]

Parameter	Sebelum	Sesudah	Kepmen LH No 113 Tahun 20013
pH	3,13	6,63	6 - 9
Fe Total (mg/l)	1,65	0,15	7
Mn Total (mg/l)	4,2	1,9	4

3.2 Pengaruh Tanaman Air Terhadap Kadar Fe dan Mn

Salah satu komponen penting dalam proses remediasi di lingkungan lahan basah adalah tanaman. Fungsi dari tanaman pada lahan basah yaitu untuk mengeluarkan oksigen dari akarnya, sebagai penyedia tapak yang berfungsi agar mikroba dapat menempel, serta sebagai penyedia sumber bahan organik untuk mikroba heterotrof [18]. Pada bagian akar tanaman terjadi pada proses reduksi dan oksidasi besi dan mangan yang lebih banyak dikarenakan pada bagian akar tanaman ini terdapat kelimpahan mikroorganisme termasuk bakteri pereduksi yang tinggi. Proses penyerapan bahan-bahan pencemar dipengaruhi oleh jenis tanaman air [21].

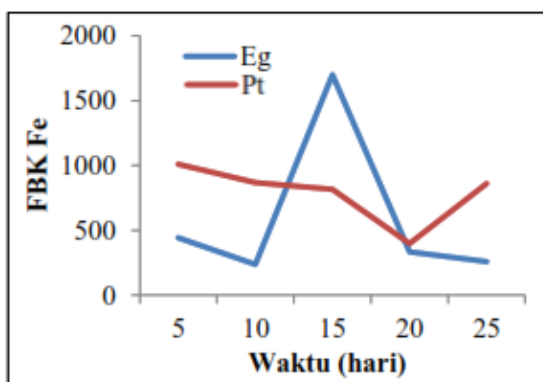
Hasil pengukuran konsentrasi Fe dan Mn yang terakumulasi pada tanaman Eceng dan purun tikus dikonversi menjadi nilai Faktor Biokonsentrasi (FBK) [23]. FBK adalah parameter untuk menentukan potensi tumbuhan sebagai akumulator Fe dan Mn dalam kondisi bobot kering tumbuhan. FBK dihitung dengan rumus [23]:

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

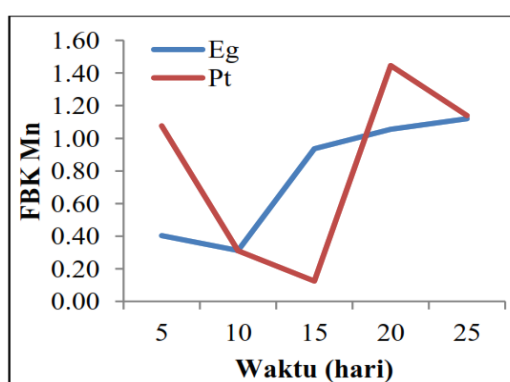
Berdasarkan hasil penelitian Yunus, dkk (2018) didapat hasil pengukuran konsentrasi Fe dan Mn yang terakumulasi pada eceng gondok dan purun tikus yang dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Pengukuran Konsentrasi Fe dan Mn yang Terakumulasi pada Eceng gondok dan Purun Tikus (mg/kg berat kering) [23]

Parameter	Waktu Perlakuan (Hari)					
	0	5	10	15	20	25
Suhu (0C)	37,2	37,3	37,5	37,3	37,1	37,7
pH air outlet	3,20	3,97	4,64	4,70	4,96	5,31
Kons. Fe pada Eceng Gondok	1.946,79	10.263,00	5.468,77	39.329,83	7.734,46	5.986,11
Kons. Fe pada Purun Tikus	3.709,87	23.371,00	20.071,08	18.858,59	9.229,45	19.935,26
Kons. Mn pada Eceng Gondok	4,03	10,28	7,95	23,89	26,93	28,56
Kons. Mn pada Purun Tikus	5,88	27,43	7,93	3,18	36,86	29,06



(a)



(b)

Gambar 1. (a) FBK Fe pada Eceng Gondok dan Purun Tikus, (b) FBK Mn pada Eceng gondok dan Purun Tikus [23]

Dari penelitian yang dilakukan oleh Yunus, dkk (2018) menjelaskan bahwa purun tikus merupakan tanaman yang dapat tumbuh dengan baik pada 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 [12]. Hal ini menyebabkan eceng gondok membutuhkan waktu dan kondisi pH lebih tinggi untuk dapat melakukan adsorpsi yang lebih tinggi. Penyebab

lainnya adalah pada $\text{pH} < 4$ kation- kation yang terlarut sangat terbatas untuk mendekati jaringan tanaman. Pengikatan logam ke jaringan tanaman meningkat dengan meningkatnya pH [5]. Pada pH rendah kation logam terhambat oleh adanya gaya tolak dari ion H^+ dari situs adsorben [4]. Hasil penelitian terhadap logam yang berbeda menemukan bahwa akumulasi Zn, Pb, As, Fe dan Cd oleh eceng gondok dan purun tikus meningkat seiring naiknya pH [22].

Sedangkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sandrawati, dkk (2018) pada Tabel 5 menunjukkan konsentrasi Fe dan Mn pada tanaman yang diukur pada bagian akar dan daun sebelum dan sesudah perlakuan.

Tabel 5. Kandungan Konsentrasi Fe dan Mn yang terdapat pada Bagian Akar dan Daun dari Tanaman Sampel [16]

Contoh Tanaman	Fe (%)		Mn (%)	
	Akar	Daun	Akar	Daun
<i>Typha sp</i>				
- Sebelum	1,20	0,19	0,02	0,02
- Sesudah	1,41	0,21	0,04	0,03
<i>Cyperus sp</i>				
- Sebelum	2,41	0,57	0,02	0,01
- Sesudah	2,01	0,67	0,03	0,02
<i>Eichornia Crassipes</i>				
- Sebelum	1,91	0,53	0,24	0,03
- Sesudah	1,91	0,34	0,17	0,01

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sandrawati, dkk (2018) yang tertera pada Tabel 5 di atas kadar Fe dan Mn lebih tinggi pada bagian akar tanaman dibandingkan dengan bagian daun. Pada bagian akar tanaman berfungsi sebagai permukaan jerapan untuk logam Fe dan Mn. Konsentrasi unsur-unsur Fe dan Mn akan terakumulasi lebih tinggi pada bagian permukaan akar daripada bagian daun [8].

Kadar Fe pada akar tanaman *cyperus sp.* lebih tinggi jika dibandingkan dengan akar tanaman *typha sp.* Hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh tipe akar yang berbeda. *cyperus sp.* mempunyai tipe akar serabut sedangkan *typha sp.* mempunyai tipe akar rimpang. Tipe akar serabut dengan ukuran akar yang halus akan mengakumulasi unsur hara lebih banyak dibandingkan dengan tanaman yang mempunyai tipe akar rhizome atau rimpang [16].

Logam Fe, Mn dan sulfat akan terakumulasi pada bagian permukaan akar dan jaringan tanaman pada bagian atas yaitu bagian batang dan daun tanaman. Substrat padat akan mempengaruhi tingginya konsentrasi unsur Fe dan Mn yang terdapat pada jaringan tanaman. Untuk biomassa pada tanaman tidak dapat langsung digunakan sebagai bahan organik tetapi harus diproses terlebih dahulu. Dalam hal penurunan konsentrasi unsur Fe dan Mn dapat dilakukan dengan cara menambahkan bahan alkalin pada saat dilakukan pengomposan [10]. Dari hasil pengujian laboratorium juga telah dibuktikan bahwa tanaman air dapat menyerap logam dalam jumlah tertentu pada Tabel 6 berikut merupakan hasil dari pengujian yang telah dilakukan oleh Heri Prabowo pada tahun 2019.

Tabel 6. Akumulasi Serapan Unsur Fe dan Mn oleh Tumbuhan [10]

Jenis Tanaman	Logam Berat	Akumulasi (pp/gram berat kering)	
		Akar	Batang
Kiambang (<i>Salvania Natans</i>)	Mn	7.682	516
	Fe	13.231	2.842
Akar Wangi	Mn	486	119
	Fe	3.964	448
Eceng Gondok (<i>Eichornia crassipe</i>)	Mn	1.120	1.366
	Fe	5.350	394
<i>Typha</i>	Mn	936	1.484
	Fe	15.116	1.432
Pakis	Mn	1.700	1.432
	Fe	13.923	1.432
Mandoan	Mn	526	269
	Fe	62.686	7.642

Dari tabel tersebut terlihat bahwa serapan kandungan Fe dan Mn paling banyak terserap di perakaran tanaman air. Logam Fe diserap dan diendapkan oleh tanaman, hal ini terlihat dari penyebaran dan komposisi logam Fe yang banyak terakumulasi pada dasar kolam, sedangkan untuk logam Mn penyebaran dan komposisi di dalam kolam menunjukkan kondisi yang sama sehingga logam Mn tidak mudah mengendap [6].

3.3 Pengaruh Tanaman Air dan Debit Air Terhadap Kadar *Total Suspended Solid* (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) atau padatan tersuspensi merupakan partikel yang tidak larut dalam air dan memiliki ukuran serta berat yang lebih kecil daripada sedimen [14]. Dalam penurunan kadar TSS di dalam kolam memiliki hubungannya dengan akar tanaman. Pada rambut akar tanaman memiliki muatan positif yang dapat berfungsi dalam menarik partikel koloid yang memiliki muatan berlawanan seperti padatan tersuspensi, hal ini dapat menyebabkan partikel tersebut dapat menempel pada akar tanaman dan lama-kelamaan partikel tersebut akan terserap dan terasimilasi oleh tumbuhan dan mikroorganismenya. Sehingga jika tanaman memiliki akar yang panjang maka kadar TSS akan semakin berkurang [1].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Prabowo, dkk (2019), hubungan antara debit air dengan penurunan kadar TSS dapat dilihat pada Tabel 7. Aliran air dapat mempengaruhi proses kontak antara limbah dan mikroorganismenya, pada metode pembangunan lahan basah digunakan aliran permukaan dengan debit air yang masuk tidak terlalu besar, karena debit air dapat mempengaruhi proses penyerapan tumbuhan dalam menyerap logam. Dari penelitian tersebut maka dapat disimpulkan bahwa semakin lambat debit air pada *wetland* maka semakin tinggi penurunan kadar TSS yang terjadi. Sebaliknya, semakin cepat debit air pada *wetland* maka semakin kecil penurunan kadar TSS [10].

Tabel 7. Hubungan Debit Air dengan Penurunan Kadar TSS [10]

Perbandingan	Hasil Penelitian		
	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3
TSS pada <i>inlet</i> (mg/l)	405	443	621
TSS pada <i>outlet</i> (mg/l)	6	3	2
Debit (m ³ /s)	0,21	0,14	0,08

3.4 Produktivitas Tumbuhan pada *Wetland*

Besarnya konsentrasi Fe dan Mn yang terdapat pada jaringan tumbuhan dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi Fe dan Mn dalam air asam tambang yang menjadi air genangannya. Tingginya kadar Fe dan Mn menjadi pertimbangan dalam penilaian produktivitas tanaman tersebut [17]. Besi berperan dalam proses dasar biologi tanaman seperti fotosintesis, pembentukan klorofil, dan respirasi. Namun akumulasi Fe yang tinggi dapat menyebabkan defisiensi unsur hara yang lain seperti Mn, P, K, Ca, dan Mg [16].

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Sandrawati, dkk (2018) produktivitas tumbuhan dinilai dari berat biomassa dan jumlah anakan tanaman. Berat biomassa (basah) dihitung berdasarkan hasil panen dalam bentuk ubinan yang kemudian dikonversikan menjadi satuan hektar. Hasil pengukuran produktivitas tumbuhan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Produktivitas Tanaman (Angka Rata-rata dari Hasil Ubinan) [16]

Jenis Tumbuhan	Jumlah Anakan	Berat Biomassa (kg)	Produktivitas (ton/ha)
<i>Typha sp</i>	6	3,84	17,11
<i>Cyperus sp</i>	2	0,58	16,67
<i>Eichornia Crassipes</i>	7	3,14	31,38

Berdasarkan data dari tabel di atas, terlihat bahwa untuk tumbuhan *eichornia crassipes* memiliki produktivitas yang paling tinggi yaitu sebesar 31,38 ton/ha, namun ukuran tanaman ini makin lama makin kecil. Hal ini diduga karena eceng gondok (*eichornia crassipes*) mengalami kekurangan nutrisi, mengingat di kolam terakhir kelarutan unsur-unsur terutama Fe, Mn, dan SO₄ sangat kecil. Hal ini disebabkan karena tumbuhan *eichornia crassipes* tidak dapat bertahan lama dari pengaruh air asam tambang sehingga dapat mengalami keracunan unsur hara. Jadi dapat disimpulkan bahwa tumbuhan eceng gondok (*eichornia crassipes*) ini tidak direkomendasikan ditanam pada lahan basah buatan yang digunakan untuk penanganan air asam tambang [16].

Biomassa yang dihasilkan oleh tumbuhan *typha sp.* memang lebih kecil daripada *eichornia crassipes*, namun, tanaman ini memperlihatkan kondisi yang lebih baik selama pertumbuhannya. Tanaman *cyperus sp.* dapat menghasilkan biomassa dengan jumlah yang tidak jauh berbeda dengan tanaman *typha sp.* Pertimbangan pemakaian kedua tanaman ini harus memperhatikan syarat tumbuhnya, dimana *cyperus sp* tidak tahan dengan genangan air yang tinggi sedangkan *typha sp.* lebih tahan terhadap genangan air yang tinggi. Dengan demikian untuk memperoleh biomassa yang tinggi dan kualitas tanaman yang baik, maka tumbuhan *typha sp* lebih direkomendasikan untuk digunakan sebagai tanaman pada lahan basah buatan jika dibandingkan tumbuhan *Cyperus sp* dan *eichornia crassipes* [16].

Berdasarkan hasil *review paper* terhadap sejumlah penelitian di atas maka dapat diketahui beberapa kelebihan dan kekurangan dari masing-masing tanaman air yang digunakan dalam penelitian pada proses penanganan air asam tambang dengan metode *wetland* yang terlihat di Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Kelebihan dan Kekurangan dari Beberapa Tanaman Air yang dipakai oleh Peneliti Sebelumnya pada Proses Pengolahan Air Asam Tambang dengan Metode *Constructed Wetland*

Jenis Tanaman Air	Kelebihan	Kekurangan
<i>Typha Angustifolia</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Lebih tahan terhadap genangan air yang tinggi [16] - Memiliki daya tahan yang tinggi terhadap perubahan cuaca dan kondisi lingkungan [16] - Memiliki produktivitas tinggi dan dapat direkomendasikan sebagai penghasil biomassa pada rawa buatan [16] 	<ul style="list-style-type: none"> - Mempunyai tipe akar rimpang [16] - <i>Typha</i> hanya mampu mengakumulasi logam dalam jumlah kecil [20]
Eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Mampu mengakumulasi beberapa jenis logam, seperti Al, Pb, Cu, Fe, Mn, Ni, Cd, Cr, Co, Zn, dan Hg [23] - Mampu mengakumulasi As yang terlarut pada AAT [23] - Mampu mengurangi Pb dan As secara simultan pada AAT [23] 	<ul style="list-style-type: none"> - Mengalami hambatan pertumbuhan pada pH < 4 [23] - Membutuhkan waktu dan kondisi pH lebih tinggi untuk dapat melakukan adsorpsi yang lebih tinggi [12] - Tidak mampu mengakumulasi Fe dan Mn secara bersamaan dengan konsentrasi yang tinggi
Purun Tikus (<i>Eleocharis dulcis</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat tumbuh dengan baik pada pH < 4 [23] - Mampu menurunkan konsentrasi Fe terlarut pada air asam tambang [23] - Memiliki waktu adaptasi terhadap kondisi lingkungan (pH) lebih singkat dalam mengadsorpsi Fe dari AAT [23] 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan waktu yang lebih lama untuk dapat meningkatkan kembali kemampuan adsorpsinya (pada proses transportasi dan translokasi) [23] - Tidak mampu mengakumulasi Fe dan Mn secara bersamaan dengan konsentrasi yang tinggi [23]
<i>Cyperus sp</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki tipe akar serabut sehingga akan mengakumulasi unsur hara lebih banyak [16] 	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak tahan dengan genangan air yang tinggi [16]

4. KESIMPULAN

Dari proses *resume* beberapa *literature review*, untuk penanganan air asam tambang dengan menggunakan metode *constructed wetland* secara efektif dan efisien dapat meningkatkan nilai pH air serta efektif dalam penurunan kandungan logam Fe dan Mn, padatan tersuspensi, dan penurunan kandungan sulfat pada air limbah hasil penambangan batubara. Berdasarkan produktifitasnya, tanaman *Typha sp* dapat di rekomendasikan sebagai tanaman yang digunakan pada lahan basah buatan karena tanaman ini memiliki produktivitas tinggi dan lebih tahan terhadap genangan air yang tinggi, dengan demikian akan memperoleh biomassa yang tinggi dan kualitas tanaman yang baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak khususnya Kepada Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta. Serta penulis menyampaikan terimakasih kepada LPPM UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah mendanai sepenuhnya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arroyo P, Ansola G and de Luis E. 2010. Effectiveness of a full-scale constructed wetland for the removal of metals from domestic wastewater Water, Air, & Soil Pollution 210(1-4) 473-481.
- [2] Aryanto, R. (2015). Kajian Pengelolaan Air Asam Tambang dengan menggunakan Metode Aerobic Wetland dan Pengaruhnya terhadap Baku Mutu Air pada Site Lati PT. Berau Coal (Doctoral dissertation, UPN "Veteran" Yogyakarta).
- [3] Hengen, T. J., Squillace, M. K., O'Sullivan, A. D., & Stone, J. J. (2014). Life cycle assessment analysis of active and passive acid mine drainage treatment technologies. Resources, Conservation and Recycling, 86, 160-167.
- [4] 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.
- [5] Lo'pez, A., Lazaro N., Morales S., Marques A.M. 2002. Nickel Biosorption by Free dan Immobilized Cells of Pseudomonas fluorescens: A Comparative Study. Water, Air, Soil pollution. 135(1-4): 157-172.

- [6] Mardalena M, Faizal M and Napoleon A 2018 Metal of iron (Fe) and mangan (Mn) from waste water coal mining with fitoremediation techniques with using floating fern (*Salvinia Natans*), water lettuce (*Pistia Stratiotes*) and water-hyacinth (*Eichornia Crassipes*) *BIOVALENTIA: Biological Research Journal* 4(1).
- [7] Munawar, A., Leitau, F. O., & Bustamam, H. (2011). Aquatic Plants for Acid Mine Drainage Remediation in Simulated Wetland Systems. *Jurnal Natur Indonesia*, 13(03), 244-249.
- [8] Munawar, A. .2007.Pemanfaatan sumber daya biologis lokal untuk pengendalian pasif air asam tambang: lahan basah buatan. *JITL* 7(1) hal : 31-42.
- [9] Nyquist, J., & Greger, M. (2009). A field study of constructed wetlands for preventing and treating acid mine drainage. *Ecological Engineering*, 35(5), 630-642.
- [10] Prabowo, H., Amran, A., & Arbain, A. (2019, August). Decreasing level of heavy metals Fe and Mn use the wetland method at coal open mining PT Bukit Asam South Sumatra Province. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 314, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.
- [11] Prihatini N S, Nirtha I and Iman M S. 2016. Role of Purun Tikus in vertical subsurface flow constructed wetland in treating manganese (Mn) from coal mine drainage *TROPICAL WETLAND JOURNAL* 2(1) 1-7
- [12] 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.
- [13] Risnawati, I dan T.P. Damanhuri. 2010. Penyisihan Logam pada Lindi Menggunakan Constructed Wetland (Metal Removal in Leacheate using Constructed Wetland). Environmental Engineering Department, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Institut Teknologi Bandung.
- [14] Rout, G.R and Sahoo, S. 2015. Role of Iron in Plant Growth and Metabolism. *Review in Agricultural Science* 3: 1-24.
- [15] Sandrawati, Apong. 2012. Pengelolaan Air Asam Tambang Melalui Rawa Buatan Berbasis Bahan In Situ di Pertambangan Batubara (Studi Kasus di Site Pertambangan Samarata, PT. Berau Coal, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur). Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- [16] Sandrawati, A., Darmawan, D., Suryaningtyas, D. T., & Djadjakirana, G. (2018). Potensi Pemanfaatan Tanaman *Thypha* sp dan *Cyperus* sp dalam Proses Remediasi Air Asam Tambang dengan Sistem Rawa Buatan. *soilrens*, 16(1).
- [17] Sheoran, A. S. (2005). Performance of a natural wetland treating acid mine drainage in arid conditions. *Mine Water and the Environment*, 24(3), 150-154.
- [18] Skousen J, A Rose, G Geidel, J Foreman, R Evans, and W Hellier. 1998. *Handbook of Technologies for Avoidance and Remediation of AMD*. The National Mine Land Reclamation Centre. West Virginia.
- [19] Sucahyo, A. P. A., Bargawa, W. S., Nurcholis, M., & Cahyadi, T. D. (2018). Penerapan wetland untuk pengelolaan air asam tambang. *Journal Technology of Civil, Electrical, Mechanical, Geology, Mining and Urban Design*, Kurvatek, doi, 10.
- [20] Watzlaf GR, Schroeder KT, Kleinman RLP, Kaires CL, and Nairn RW. 2004. *The Passive Treatmet of Coal Mine Drainage*. US Department of Energy, Pittsburg, USA.
- [21] Yang J, and Ye Z. 2009. Metal Accumulation and Tolerance in Wetland Plants. *Frontiers of Bilyogy in China Journal*. 4(3) : 282-288.
- [22] Yunus, R., 2014. Fitoremediasi Pb dan As pads air asam tambang batbara dengan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). [Disertasi]. Malang: Universitas Brawijaya.
- [23] Yunus, R., & Prihatini, N. S. (2018). 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. *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 7(1), 73-85
- [24] Zayed A., Gowthaman S., dan Terry N. 1998. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *J. Environmental Quality*. 27(3): 715-721.