

Pengaruh *Constructed Wetland* dengan Penambahan Bahan Organik (Kompos dan Tandan Kosong Kelapa Sawit) terhadap Nilai pH, Besi (Fe), dan Mangan (Mn) pada Air Asam Tambang Batubara

Salsabila Agra Siwi¹⁾, RR Dina Asrifah²⁾, Aditya Pandu Wicaksono³⁾, Ayu Utami⁴⁾, Ani Muryani⁵⁾

^{1,2,3,4,5)}Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta/Jurusan Teknik Lingkungan

^{a)}Corresponding author: dina_asrifah@upnyk.ac.id

^{b)}114220069@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Pengolahan air asam tambang dengan kandungan logam terlarut berupa besi (Fe) dan mangan (Mn) saat ini cenderung hanya dengan menambahkan bahan kimia. Namun, hal tersebut membutuhkan biaya yang besar dan harus dilakukan secara terus-menerus. Oleh sebab itu penerapan sistem lahan basah buatan (*constructed wetland*) menggunakan tanaman dan penambahan bahan organik dapat menjadi pilihan alternatif, karena tidak memerlukan biaya yang terlalu tinggi dan mekanismenya lebih sederhana. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh *constructed wetland* dengan penambahan bahan organik terhadap pH dan konsentrasi logam Fe dan Mn. Penelitian ini menggunakan 12 reaktor yang terbagi atas empat perlakuan, dengan perbedaan komposisi bahan organik. Pada setiap reaktor diisi dengan air asam tambang, tanah, bahan organik dan tanaman ekor kucing (*Typha latifolia*). Bahan organik yang digunakan berupa kompos dan tandan kosong (tankos) kelapa sawit. Masing-masing parameter (pH, Fe, dan Mn) diukur setiap lima hari selama 15 hari. Data yang dihasilkan selanjutnya dihitung menggunakan rumus efektivitas dan dianalisis menggunakan uji *two way*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *constructed wetland* dengan penambahan bahan organik mampu meningkatkan pH dari 3,8 menjadi 7,39 serta menurunkan konsentrasi Fe dari 3,2 mg/l menjadi 0,11 mg/l dengan efektivitas 96,46% dan Mn dari 6,5 mg/l menjadi 0,03 mg/l dengan efektivitas 99,49%.

Kata Kunci: Air Asam Tambang; Bahan Organik; Kompos; Lahan Basah Buatan; Tankos Sawit; *Typha latifolia*

ABSTRACT

The treatment of acid mine drainage containing dissolved metals such as iron (Fe) and manganese (Mn) currently tends to rely solely on the addition of chemicals. However, this approach entails significant costs and requires continuous implementation. Therefore, the application of constructed wetland systems using plants and the addition of organic matter can be an alternative option, as it does not require excessively high costs and involves a simpler mechanism. The aim of this study is to investigate the influence of constructed wetlands with the addition of organic matter on pH and the concentrations of Fe and Mn metals. The study involved 12 reactors divided into four treatments, each with a different composition of organic matter. Each reactor was filled with acid mine drainage, soil, organic matter, and cat's tail plants (Typha latifolia). The organic matter used included compost and empty palm oil fruit bunches. Each parameter (pH, Fe, and Mn) was measured every five days for 15 days. The resulting data were then calculated using effectiveness formulas and analyzed using a two-way anova test. The research findings indicate that constructed wetlands with the addition of organic matter can increase the pH from 3.8 to 7.39, reduce the Fe concentration from 3.2 mg/l to 0.11 mg/l with an effectiveness of 96.46%, and decrease Mn from 6.5 mg/l to 0.03 mg/l with an effectiveness of 99.49%.

Keywords: Acid Mine Drainage; Constructed Wetland; Organic Matter; Empty Palm Oil Fruit Bunch; Compost; *Typha latifolia*

PENDAHULUAN

Industri pertambangan batubara merupakan salah satu komoditas penting pada sektor ekspor negara. Namun aktivitas penambangan batubara berdampak terhadap air, tanah, morfologi dan topografi lahan jika tidak dikelola sesuai aturan yang berlaku. Air asam tambang dengan kandungan logam terlarut merupakan salah satu contoh dampak kegiatan pertambangan. Kandungan logam terlarut pada umumnya ialah Al, Fe, Mn, Cu, Ca, Mg, Na serta beberapa unsur minor lainnya. Air asam tambang terjadi karena adanya resapan atau rembesan air permukaan ke batuan yang mengandung sulfida, serta oksidasi dari bebatuan pada lereng tambang (Panca *et al.*, 2018).

Pengelolaan air asam tambang saat ini lebih fokus menggunakan teknologi aktif, yakni dengan menambahkan kapur. Namun, hal tersebut membutuhkan biaya yang besar dan harus dilakukan secara terus-menerus. Oleh sebab itu penerapan teknologi pasif dapat menjadi pilihan alternatif, karena tidak memerlukan biaya yang terlalu tinggi dan mekanismenya lebih sederhana. Salah satu contoh dari pengolahan air asam tambang dengan teknologi pasif adalah sistem lahan basah buatan. Pengolahan air pada lahan basah buatan adalah suatu proses ilmiah yang melibatkan tumbuhan air, sedimen, dan mikroorganisme, dengan sinar matahari sebagai sumber energinya (Vymazal, 2010 dalam Ramadhani et al., 2019). Teknologi lahan basah buatan (*constructed wetland*) pada umumnya digunakan sebagai *secondary treatment* dikarenakan adanya batasan kekuatan tertentu bagi tanaman untuk menyerap pencemar. Namun, saat ini mulai diaplikasikan sebagai pengolahan primer karena beberapa tanaman terbukti mampu mereduksi dan resisten terhadap pencemar (Nivala et al., 2018).

Fungsi lahan basah dapat dipengaruhi oleh pemilihan tanaman sebagai fitoremediator air yang tercemar. Tanaman tersebut perlu memiliki kemampuan adaptasi terhadap kondisi tergenang, toleransi terhadap pH yang rendah, dan kapasitas untuk mengatasi toksisitas logam berat. (Tuheteru, 2015 dalam Sekarjannah, 2019). Tanaman *Typha latifolia* memiliki kemampuan yang cukup baik untuk dapat hidup di berbagai kondisi lingkungan seperti rawa, danau, dan air asam tambang. Berdasarkan penelitian sebelumnya, tanaman *Typha latifolia* hanya membutuhkan waktu kontak satu hari untuk menyisihkan logam dan kandungan lainnya dalam air (Nirtha et al., 2021).

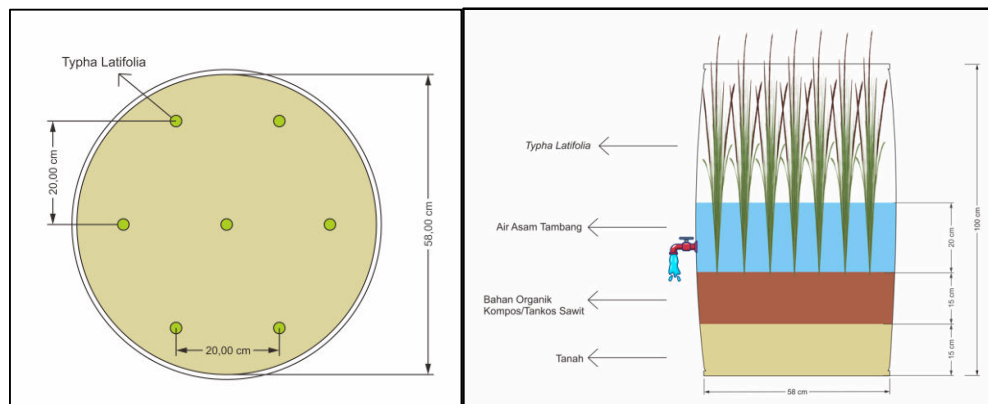
Dalam merancang *constructed wetland* dapat ditambahkan bahan organik (*organic matter*) untuk membantu meningkatkan pH air dan menurunkan kadar logam terlarut Fe dan Mn. Peningkatan pH air dikarenakan banyaknya kandungan gugus fungsi negatif pada limbah organik yang mengikat ion H^+ penyebab air asam (Prasetyono et al., 2015 dalam Mardhiati et al., 2021). Kompos dan tandan kosong sawit merupakan bahan organik yang tersedia cukup banyak di sekitar area pertambangan batubara. Ketersediaan dan kelimpahannya menjadi pertimbangan untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengolahan air asam tambang. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Khosravihaftkhany et al. (2013) dalam Nugraha et al., (2020) tandan kosong sawit dan kompos terbukti memiliki kemampuan untuk meningkatkan pH dan mengurangi kandungan logam dalam air, terutama Fe dan Mn. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan tandan kosong sawit dan kompos sebagai upaya penanganan air asam tambang. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh sistem lahan basah buatan dengan penambahan bahan organik terhadap pH dan konsentrasi logam Fe dan Mn dalam air asam tambang.

METODE

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan 12 bak reaktor yang terbuat dari drum dan pada masing-masing reaktor diisi dengan air asam tambang, tanah, bahan organik dan tanaman ekor kucing (*Typha latifolia*). Bahan organik yang digunakan berupa kompos dan tandan kosong kelapa sawit. Kemudian tanaman *Typha latifolia* yang digunakan pada reaktor percobaan sudah melalui proses aklimatisasi selama 10 hari. Tanaman tersebut ditanam dengan jarak 20 cm. Air asam tambang yang digunakan bersumber dari salah satu pond di PT X yang memiliki nilai pH 3,8, Fe 3,2, dan Mn 6,5. Komposisi media *wetland* pada reaktor dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Gambar 1**.

Tabel 1. Komposisi Media *Wetland*

No	Media <i>Wetland</i>	Tinggi Media	Komposisi Media
1	Tanah	15 cm	30 kg
2	Bahan Organik	15	10 kg
3	Air Asam Tambang	20cm	70 Liter



Gambar 1. Rancangan Instalasi Lahan Basah Buatan

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen (percobaan). Pendekatan eksperimen menggunakan sistem lahan basah buatan tipe *surface wetland* atau lahan basah buatan aliran permukaan (LBB-AP). Berdasarkan penelitian sebelumnya efektivitas penurunan Mn pada AAT jauh lebih besar terjadi pada lahan basah buatan aliran permukaan (LBB-AP) dibanding lahan basah buatan aliran bawah permukaan (LBB-ABP) dengan persentase sebesar 73,90% pada LBB-AP dan 65,42% pada LBB-ABP (Hakim, 2022). Percobaan dilakukan dengan beberapa perbedaan perlakuan kombinasi bahan organik yakni:

- A = Air asam tambang + tanah sebagai media tanam + tanaman *Typha latifolia* (kontrol)
- B = Air asam tambang + tanah + tanaman *Typha latifolia* + bahan organik (100% tankos sawit)
- C = Air asam tambang + tanah + tanaman *Typha latifolia* + bahan organik 100% kompos)
- D = Air asam tambang + tanah + tanaman *Typha latifolia* + bahan organik (50 % tankos sawit + 50% kompos)

Tabel 2. Rancangan Percobaan

No	Perlakuan	Waktu	Pengulangan		
			1	2	3
1	A	0 Hari	A0.1	A0.2	A0.3
2		5 Hari	A5.1	A5.2	A5.3
3		10 Hari	A10.1	A10.2	A10.3
4		15 Hari	A15.1	A15.2	A15.3
5	B	0 Hari	B0.1	B0.2	B0.3
6		5 Hari	B5.1	B5.2	B5.3
7		10 Hari	B10.1	B10.2	B10.3
8		15 Hari	B15.1	B15.2	B15.3
9	C	0 Hari	C0.1	C0.2	C0.3
10		5 Hari	C5.1	C5.2	C5.3
11		10 Hari	C10.1	C10.2	C10.3
12		15 Hari	C15.1	C15.2	C15.3
13	D	0 Hari	D0.1	D0.2	D0.3
14		5 Hari	D5.1	D5.2	D5.3
15		10 Hari	D10.1	D10.2	D10.3
16		15 Hari	D15.1	D15.2	D15.3

Metode perolehan data dilakukan dengan uji laboratorium. Masing-masing parameter (pH, Fe, dan Mn) diukur setiap 5 hari selama 15 hari untuk mengetahui waktu tinggal optimal pada sistem lahan basah buatan. Kemudian metode analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah metode analisis

deskriptif, statistik dan matematis. Analisis statistik menggunakan uji *two way* anova untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan (Ismail, 2018 dalam Rahmawati dan Erina, 2020). Selanjutnya analisis matematis digunakan untuk menghitung efektivitas kenaikan pH dan penurunan kadar besi, dan mangan dengan rumus berikut (Ramadhani *et al.*, 2019):

$$\text{Efektivitas} = \frac{\text{Kandungan Awal} - \text{Kandungan Akhir}}{\text{Kandungan awal}} \times 100\% \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Pengaruh Penambahan Bahan Organik pada Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) Skala Laboratorium Terhadap pH

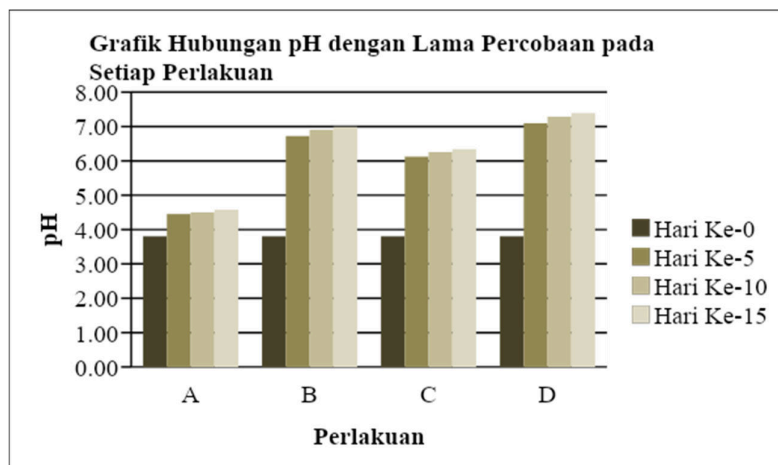
Penambahan bahan organik yang berbeda pada setiap reaktor percobaan akan mempengaruhi nilai pH. Hasil percobaan yang dilakukan selama 15 hari dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Gambar 2**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada reaktor percobaan B, C, dan D sudah memenuhi baku mutu yakni pH lebih besar dari 6 dan lebih kecil dari 9 sejak hari ke-5. Namun pada perlakuan A belum memenuhi baku mutu hingga akhir percobaan. Perlakuan A merupakan perlakuan kontrol (tanpa penambahan bahan organik). Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sekarjannah (2019) yang menjelaskan bahwa tidak adanya bahan organik akan mengurangi efektivitas peningkatan pH. Hal tersebut membuktikan bahwa penambahan bahan organik mempengaruhi kenaikan pH.

Tabel 3. Perubahan Nilai pH Air Selama Percobaan

No	Perlakuan	Waktu	Pengulangan			Rata-Rata
			1	2	3	
1	A	0 Hari	3.8	3.8	3.8	3.80
2		5 Hari	4.5	4.3	4.56	4.45
3		10 Hari	4.54	4.35	4.62	4.50
4		15 Hari	4.62	4.43	4.67	4.57
5	B	0 Hari	3.8	3.8	3.8	3.80
6		5 Hari	6.52	6.82	6.82	6.72
7		10 Hari	6.79	6.93	6.99	6.90
8	C	15 Hari	6.83	7.05	7.09	6.99
9		0 Hari	3.8	3.8	3.8	3.80
10		5 Hari	6.41	5.97	6	6.13
11	D	10 Hari	6.51	6.02	6.24	6.26
12		15 Hari	6.51	6.19	6.32	6.34
13		0 Hari	3.8	3.8	3.8	3.80
14	D	5 Hari	7.16	7.13	7.01	7.10
15		10 Hari	7.36	7.27	7.23	7.29
16		15 Hari	7.46	7.39	7.32	7.39

Keterangan:

- : Melebihi Baku mutu
- A : Tanpa penambahan bahan organik
- B : Penambahan bahan organik tankos sawit
- C : Penambahan bahan organik kompos
- D : Penambahan bahan organik 50% tankos sawit dan 50% kompos



Gambar 2. Grafik Hubungan pH dengan Lama Percobaan pada Setiap Perlakuan

Hasil uji anova **Gambar 3** dengan dua variabel yakni perbedaan perlakuan dan lamanya waktu remediasi menunjukkan bahwa masing-masing variabel memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan pH ($\text{sig} < 0,05$). Lalu kedua variabel secara signifikan saling berinteraksi memberikan pengaruh terhadap perubahan pH ($\text{sig} < 0,05$). Hal tersebut membuktikan bahwa adanya penambahan bahan organik dan semakin lama waktu remediasi semakin meningkatkan nilai pH. Hasil uji *two way* anova menunjukkan R^2 sebesar 0,994 yang berarti percobaan lahan basah buatan dengan tanaman *Typha latifolia* dan penambahan bahan organik dapat mempengaruhi 99,4% terhadap perubahan pH.

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Nilai pH					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	92.905 ^a	15	6.194	358.878	.000
Intercept	1513.467	1	1513.467	87694.859	.000
Perlakuan	29.888	3	9.963	577.258	.000
Waktu	53.024	3	17.675	1024.130	.000
Perlakuan * Waktu	9.993	9	1.110	64.334	.000
Error	.552	32	.017		
Total	1606.924	48			
Corrected Total	93.457	47			

a. R Squared = ,994 (Adjusted R Squared = ,991)

Gambar 3. Hasil Uji *Two Way* Anova Parameter pH

Berdasarkan perhitungan efektivitas, semua perlakuan menunjukkan hasil yang negatif, yang berarti bahwa terjadi peningkatan pH pada setiap reaktor percobaan. Peningkatan nilai pH terbaik diberikan oleh perlakuan D dengan efektivitas mencapai 94,47%. Peningkatan pH dapat terjadi karena adanya proses reduksi. Ion Fe^{3+} akan direduksi menjadi Fe^{2+} yang melepaskan ion OH^- dan akan mengikat ion H^+ sehingga ion kemasaman berkurang dan pH meningkat. Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan pH secara signifikan terjadi pada reaktor yang ditambahkan bahan organik. Bahan organik yang digunakan berupa kompos dan tankos sawit. Bahan organik tersebut mengandung banyak asam organik. Asam organik inilah yang digunakan oleh bakteri pereduksi sulfat sebagai donor elektron, sehingga proses reduksi sulfat dapat terjadi lebih cepat dan pH dapat naik dengan lebih baik (Zipper dan Skousen, 2010 dalam Riani, 2020). Kemudian pada reaktor dengan penambahan bahan organik berupa tankos sawit terjadi peningkatan pH yang sangat cepat, hal tersebut karena tankos sawit merupakan bahan alkali yang memiliki nilai pH relatif tinggi yakni sebesar 8,52.

1.2 Pengaruh Penambahan Bahan Organik pada Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) Skala Laboratorium Terhadap Konsentrasi Besi (Fe)

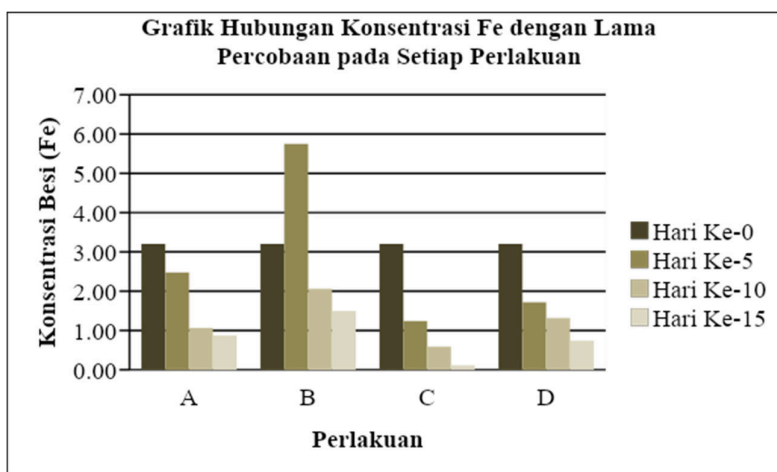
Penambahan bahan organik yang berbeda pada setiap reaktor percobaan akan mempengaruhi konsentrasi logam besi (Fe). Hasil percobaan yang dilakukan selama 15 hari dapat dilihat pada **Tabel 4** dan grafik pada **Gambar 4**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa reaktor percobaan dengan perlakuan A, C, dan D mengalami penurunan konsentrasi logam Fe secara signifikan hingga mencapai kadar yang relatif rendah dan tidak melebihi standar baku mutu (< 7 mg/l). Namun pada perlakuan B terjadi peningkatan konsentrasi Fe pada hari ke-5, dari 3,2 mg/l menjadi 5,75 mg/l.

Tabel 4. Perubahan Nilai Fe dalam Air Selama Percobaan

No	Perlakuan	Waktu	Pengulangan			Rata-Rata
			1	2	3	
1	A	0 Hari	3.2	3.2	3.2	3.20
2		5 Hari	2.18	2.25	3	2.48
3		10 Hari	1.08	0.97	1.14	1.06
4		15 Hari	0.91	0.74	0.97	0.87
5	B	0 Hari	3.2	3.2	3.2	3.20
6		5 Hari	5.4	5.8	6.04	5.75
7		10 Hari	1.74	2.1	2.34	2.06
8		15 Hari	1.31	1.27	1.91	1.50
9	C	0 Hari	3.2	3.2	3.2	3.20
10		5 Hari	1.36	1.68	0.68	1.24
11		10 Hari	0.63	0.94	0.19	0.59
12		15 Hari	0.11	0.17	0.06	0.11
13	D	0 Hari	3.2	3.2	3.2	3.20
14		5 Hari	1.75	1.32	2.09	1.72
15		10 Hari	1.3	1.14	1.51	1.32
16		15 Hari	1.09	0.35	0.78	0.74

Keterangan:

- A : Tanpa penambahan bahan organik
- B : Penambahan bahan organik tankos sawit
- C : Penambahan bahan organik kompos
- D : Penambahan bahan organik 50% tankos sawit dan 50% kompos



Gambar 4. Grafik Hubungan Konsentrasi Fe dengan Lama Percobaan pada Setiap Perlakuan

Selanjutnya dilakukan uji *two way* anova **Gambar 5** dengan variabel perbedaan perlakuan dan lamanya waktu remediasi. Berdasarkan uji tersebut diketahui bahwa masing-masing variabel memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan Fe ($\text{sig} < 0,05$). Lalu kedua variabel secara signifikan saling berinteraksi memberikan pengaruh terhadap perubahan Fe ($\text{sig} < 0,05$). Hal tersebut berarti bahwa adanya penambahan bahan organik dan semakin lama waktu remediasi memberikan pengaruh terhadap perubahan konsentrasi Fe. Hasil uji *two way* anova menunjukkan R^2 sebesar 0,973 yang berarti percobaan lahan basah buatan dengan tanaman *Typha latifolia* dan penambahan bahan organik dapat mempengaruhi 97,3% terhadap perubahan konsentrasi Fe.

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Konsentrasi Fe					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	92.078 ^a	15	6.139	76.739	.000
Intercept	194.810	1	194.810	2435.381	.000
Perlakuan	22.232	3	7.411	92.643	.000
Waktu	48.613	3	16.204	202.575	.000
Perlakuan * Waktu	21.233	9	2.359	29.493	.000
Error	2.560	32	.080		
Total	289.448	48			
Corrected Total	94.637	47			

a. R Squared = ,973 (Adjusted R Squared = ,960)

Gambar 5. Hasil Uji *Two Way* Anova Parameter Fe

Penurunan konsentrasi logam Fe pada umumnya berbanding terbalik dengan nilai pH yakni jika pH semakin tinggi maka konsentrasi Fe semakin rendah. Namun pada penelitian ini menunjukkan hasil yang berbeda untuk perlakuan B, yakni penambahan bahan organik berupa tankos sawit. Perlakuan B dapat menaikkan nilai pH secara signifikan sejak hari ke-5 namun terjadi peningkatan konsentrasi Fe pada hari ke-5 hingga efektivitas perlakuan menunjukkan nilai -79,58%. Tankos sawit dapat menaikkan pH secara signifikan karena merupakan bahan alkali namun mengandung nilai Fe yang tinggi sehingga kelarutan Fe dalam air bertambah. Namun pada hari selanjutnya konsentrasi Fe menurun kembali hingga memenuhi baku mutu. Kondisi itu membuktikan bahwa tanaman *Typha latifolia* dapat menyerap kandungan besi dalam air dengan cepat. Hal tersebut juga didukung oleh hasil percobaan perlakuan A yang merupakan reaktor kontrol, yakni tanpa adanya penambahan bahan organik. Tanaman *Typha latifolia* dapat menyerap kandungan logam secara signifikan dengan efektivitas mencapai 72,71%.

Penurunan konsentrasi logam besi (Fe) terbaik diberikan oleh perlakuan C. Perlakuan C dapat menurunkan konsentrasi Fe secara signifikan dengan efektivitas mencapai 96,46% karena adanya penambahan kompos. Prasetyono (2015) dalam Sekarjannah (2019) menjelaskan bahwa kompos merupakan bahan organik matang yang dapat mengurangi logam berat karena memiliki kandungan humus.. Pola penghilangan logam berat oleh humus yaitu dengan mengadsorpsi ion logam dan juga membentuk senyawa kompleks sehingga logam tersebut sulit untuk bebas (Mardhiati *et al.*, 2021).

1.3 Pengaruh Penambahan Bahan Organik pada Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) Skala Laboratorium Terhadap Konsentrasi Mangan (Mn)

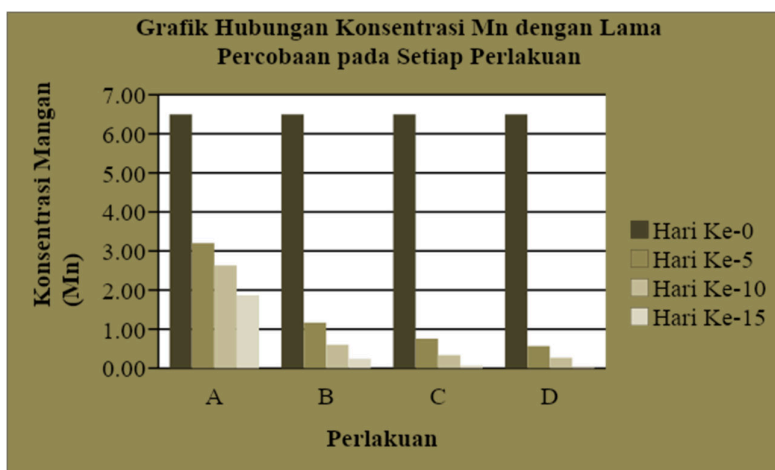
Penambahan bahan organik yang berbeda pada setiap reaktor percobaan akan mempengaruhi konsentrasi mangan (Mn). Hasil percobaan yang dilakukan selama 15 hari dapat dilihat pada **Tabel 5** dan grafik pada **Gambar 6**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semua perlakuan mengalami penurunan konsentrasi logam Mn secara signifikan. Konsentrasi Mn pada awalnya 6,5 mg/l yang melebihi baku mutu ($< 4\text{mg/l}$) dapat turun hingga kadar yang sangat rendah.

Tabel 5. Perubahan Nilai Mn dalam Air Selama Percobaan

No	Perlakuan	Waktu	Pengulangan			Rata-Rata
			1	2	3	
1	A	0 Hari	6.5	6.5	6.5	6.50
2		5 Hari	3.8	3	2.8	3.20
3		10 Hari	2.5	2.7	2.7	2.63
4		15 Hari	1.9	1.8	1.9	1.87
5	B	0 Hari	6.5	6.5	6.5	6.50
6		5 Hari	1.2	1	1.3	1.17
7		10 Hari	0.7	0.5	0.6	0.60
8		15 Hari	0.29	0.18	0.25	0.24
9	C	0 Hari	6.5	6.5	6.5	6.50
10		5 Hari	1	1.02	0.25	0.76
11		10 Hari	0.3	0.5	0.2	0.33
12		15 Hari	0	0.2	0	0.07
13	D	0 Hari	6.5	6.5	6.5	6.50
14		5 Hari	0.9	0.5	0.3	0.57
15		10 Hari	0.5	0.2	0.1	0.27
16		15 Hari	0.1	0	0	0.03

Keterangan:

- : Melebihi Baku mutu
 A : Tanpa penambahan bahan organik
 B : Penambahan bahan organik tankos sawit
 C : Penambahan bahan organik kompos
 D : Penambahan bahan organik 50% tankos sawit dan 50% kompos



Gambar 6. Grafik Hubungan Konsentrasi Mn dengan Lama Percobaan di Setiap Perlakuan

Hasil uji anova (**Gambar 7**) dengan dua variabel yakni perbedaan perlakuan dan lamanya waktu remediasi menunjukkan bahwa masing-masing variabel memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi Mn ($\text{sig} < 0,05$). Lalu kedua variabel secara signifikan saling berinteraksi memberikan pengaruh terhadap perubahan konsentrasi Mn ($\text{sig} < 0,05$). Hal tersebut membuktikan bahwa adanya penambahan bahan organik dan semakin lama waktu remediasi memberikan pengaruh terhadap perubahan konsentrasi Mn. Hasil uji two way anova menunjukkan R^2 sebesar 0,995 yang berarti

percobaan lahan basah buatan dengan tanaman *Typha latifolia* dan penambahan bahan organik dapat mempengaruhi 99,5% terhadap perubahan konsentrasi Mn.

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Konsentrasi Mn					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	310.641 ^a	15	20.709	471.740	.000
Intercept	266.916	1	266.916	6080.095	.000
Perlakuan	23.256	3	7.752	176.580	.000
Waktu	279.039	3	93.013	2118.745	.000
Perlakuan * Waktu	8.347	9	.927	21.125	.000
Error	1.405	32	.044		
Total	578.962	48			
Corrected Total	312.046	47			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

Gambar 7. Grafik Hubungan Konsentrasi Mn dengan Lama Percobaan di Setiap Perlakuan

Penurunan konsentrasi logam Mangan (Mn) terbaik diberikan oleh perlakuan D dengan efektivitas mencapai 99,49%. Perlakuan D merupakan perlakuan dengan penambahan bahan organik berupa kompos dan tankos sawit yang memiliki gugus hidroksil (-OH) dan karbonil (-C=O). Gugus fungsi ini akan berperan dalam mengikat logam berat di air serta mengikat ion H⁺ yang akan menjadikan logam berat di air menjadi semakin rendah dan pH air semakin meningkat (Hermana dan Nurhayati, 2010 dalam Sekarjannah, 2019).

KESIMPULAN

Pengaruh sistem lahan basah buatan dengan penambahan bahan organik terhadap air asam tambang pada setiap parameter menunjukkan hasil yang signifikan. Pertama, penambahan bahan organik mampu meningkatkan nilai pH air hingga sesuai baku mutu. Hasil yang terbaik diberikan oleh perlakuan dengan penambahan 50% kompos + 50% tankos sawit yang dapat meningkatkan pH 3,8 menjadi 7,39. Kedua, penambahan bahan organik mampu menurunkan konsentrasi Fe hingga sangat rendah. Hasil yang terbaik diberikan oleh perlakuan dengan penambahan kompos yang dapat menurunkan Fe dari 3,2 mg/l menjadi 0,11 mg/l dengan efektivitas 96,46%. Ketiga, Penambahan bahan organik mampu menurunkan konsentrasi Mn hingga sesuai baku mutu. Hasil yang terbaik diberikan oleh perlakuan dengan penambahan 50% kompos + 50% tankos sawit yang dapat menurunkan Mn dari 6,5 mg/l menjadi 0,03 mg/l dengan efektivitas 99,49%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan namanya karena telah memberikan izin dan bantuan selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Hakim, M., Wibowo, A., Hasyim, D., Afandi, T., Alimano, M., Suwondo, S., dan Ratnaningsih. (2009). *Penelitian Penanggulangan Air Asam Tambang di Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.
- Nugraha FA, Kirmi H, Haryanto B, Afiffa M. (2020). Analisis Penggunaan Media Tandan Sawit dan Kompos dengan Sistem Aerobic Wetland dalam Mengolah Air Asam Tambang. *SPECTA Journal of Technology*, 4(2), Pp 35 - 44.
- Mardhiati, L., Prihatini, N., dan Nilawati, I. (2021). *Variasi Bahan Organik pada Media Lahan Basah Buatan*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.
- Nirtha, I., Prihatini, N., dan Pronawati, L. (2021). Penggunaan Lahan Basah Buatan Aliran Vertikal

- Bawah Permukaan dengan Tanaman *Typha latifolia* dan *Cyperus papyrus* dalam Menyisihkan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Sumur Bor. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(1), Pp. 95–102.
- Nivala, J., Afferden, M., Hasselbach, R., Langergraber, G., Molle, P., Rustige, H., dan Nowal, J. (2018). The New German Standard on Constructed Wetland Systems for Treatment of Domestic and Municipal Wastewater. *Water Science and Technology*, 78(11), Pp. 2414–2426.
- Panca, A., Bargawa, W., Nurcholis, M., dan Cahyadi, T. (2018). Penerapan Wetland untuk Pengelolaan Air. *Kurvatek* 03(2), Pp. 41–46.
- Rahmawati, A. S. dan Erina, R. (2020). Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan Uji Anova Dua Jalur. *Optika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(1), Pp. 54–62
- Ramadhani, J., Asrifah, R. D., dan Wahyuning, I. (2019). Pengolahan Air Lindi Menggunakan Metode Constructed Wetland di TPA Sampah Tanjungrejo, Desa Tanjungrejo, Kecamatan Jekulo, Kabupaten Kudus. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 1(2), 1–8.
- Riani, S. D. (2020) *Peranan Bahan Organik pada Media Buatan untuk Pengelolaan Air Asam Tambang*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.
- Sekarjannah, F. A. (2019). *Pengelolaan Air Asam Tambang pada Sistem Lahan Basah Buatan (Constructed Wetland) dengan Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes) dan Penambahan Bahan Organik*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta