



Analisis Penggunaan Media Tandan Sawit dan Kompos dengan Sistem *Aerobic Wetland* dalam Mengolah Air Asam Tambang

*Firman Aziz Nugraha*¹, *Hifzil Kirmi*², *Bambang Haryanto*³, *Meirta Afiffa*⁴

¹ Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Email: firman.azizn@gmail.com

^{2,3,4} Departemen Environment, PT Berau Coal, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Email: meirta.afiffa@beraucoal.co.id

Abstract

Acid mine water is a major problem in open pit mining with very low pH values and high heavy metal content. Therefore it is necessary to treat acid mine drainage before being discharged into the environment, one of the ways is to use passive treatment with an aerobic wetland system. The system is made using plants as a phytoremediator and organic material as a planting media. Around the mining location of PT Berau Coal, Berau Regency, East Kalimantan there are several types of organic waste, one of which is oil palm empty fruit bunches. The availability and abundance of oil palm bunches are considered to be used as acid mine drainage materials. This study aims to determine the ability of oil palm bunches and compost to minimize heavy metals and increase the pH of mine acidic water from WMP 36 site sambarata PT Berau Coal. This research method uses the aerobic wetland system using *Typha latifolia* plants with variation media of empty fruit bunches and compost (25:75; 50:50; 75:25; 100; 0). The results showed that variations in compost and oil palm bunches were able to increase the pH value at a residence time of 1 day with a range of 5.53 to 6.11, the dynamics of the increase in TSS, Fe and Mn values related to components in the system such as characteristics of compost and oil palm bunches, microorganisms, plants and physical factors such as sedimentation and filtration.

Keywords: acid mine drainage, compost, empty fruit bunches, wetland

Abstrak

*Air asam tambang merupakan masalah utama dalam penambangan terbuka dengan nilai pH yang sangat rendah dan kandungan logam berat yang tinggi. Oleh karena itu diperlukan pengolahan air asam tambang sebelum dibuang ke lingkungan, salah satu cara, yakni menggunakan passive treatment dengan sistem aerobic wetland. Sistem yang dibuat menggunakan tanaman sebagai fitoremediator dan bahan organik sebagai media penanaman. Di sekitar lokasi penambangan PT Berau Coal, Kab berau, Kalimantan timur terdapat beberapa jenis limbah organik, salah satunya, yakni tandan kosong sawit. Ketersediaan dan keberlimpahan tandan sawit menjadi pertimbangan untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengolahan air asam tambang. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kemampuan tandan sawit dan kompos untuk meminimalisasi logam berat dan menaikkan pH air asam tambang yang berasal dari WMP 36 site sambarata PT Berau Coal. Metode penelitian ini menggunakan sistem aerobic wetland menggunakan tanaman *Typha latifolia* dengan media variasi tandan sawit dan kompos (25:75; 50:50; 75:25; 100;0). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kompos dan tandan sawit mampu meningkatkan nilai pH pada waktu tinggal 1 hari dengan rentang 5.53 hingga 6.11, dinamika kenaikan nilai TSS, Fe dan Mn berkaitan dengan komponen yang ada dalam sistem seperti karakteristik kompos dan tandan sawit, mikroorganisme, tanaman serta faktor fisik seperti sedimentasi dan filtrasi.*

Kata Kunci: air asam tambang, kompos, tandan sawit kosong, wetland

1. Pendahuluan

Dampak lingkungan yang terjadi pada industri pertambangan batu bara, antara lain ialah kandungan logam terlarut dalam air tambang dan masalah air asam tambang. Timbulnya air asam tambang disebabkan oleh pencemaran logam terlarut akibat adanya resapan atau rembesan air permukaan ke batuan yang mengandung sulfida, serta oksidasi dari bebatuan pada lereng tambang. Kandungan logam terlarut pada umumnya ialah Al, Fe, Cu, Ca, Mg, Na serta beberapa unsur minor lainnya (Bargawa, 2017). Hal tersebut menjadi permasalahan serius yang dapat berdampak lingkungan, yakni menyebabkan pencemaran air dan tanah. Mineral sulfida dalam tambang yang terpapar oleh oksigen dan adanya air sebagai media pengurai logam terlarut, menyebabkan terjadinya oksidasi sehingga menghasilkan air asam mengandung sulfur dan melepaskan logam terlarut (Coulton, 2011).

Salah satu upaya penanganan air asam tambang dilakukan dengan *aerobic wetland*. Sistem *wetland* merupakan sebuah kompleks rancangan yang terdiri dari substrat, tanaman, hewan, dan air yang meniru rawa alami untuk kegunaan dan kepentingan manusia (Hammer, 1968 dalam Puspita dkk 2005). Pengelolaan pencemaran air memakai teknologi *passive treatment* banyak dikembangkan lebih lanjut dalam mengelola pH air yang ekstrem, di mana teknologi konstruksi *wetland* bisa memisahkan logam terlarut seperti mineral Fe, Co, Ni, Mn. Salah satu komponen utama yang digunakan dalam perlakuan pasif pengendalian air asam tambang adalah limbah organik atau bahan organik (*organic matter*). Keuntungan penggunaan bahan organik dalam pengendalian air asam tambang adalah memacu pertumbuhan mikroba dan menghasilkan lingkungan yang anaerob melalui reduksi sulfat (Skousen & Jage, 1998). Penggunaannya yang lain bahan organik dapat menurunkan keasaman 20% (1500 ke 1160 mg/L setara CaCO_3), dan menurunkan Fe, Mn, dan Al. Selain itu limbah organik juga dapat digunakan untuk menaikkan pH air (Prasetyono, 2013). Kenaikan pH air dikarenakan banyaknya kandungan gugus fungsi negatif pada limbah organik yang mengikat ion H^+ penyebab air asam.

Di sekitar lokasi penambangan PT Berau Coal, Kab Berau, Kalimantan timur terdapat beberapa jenis limbah organik, salah satunya, yakni tandan kosong sawit. Ketersediaan dan keberlimpahan tandan sawit menjadi pertimbangan untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengolahan air asam tambang. Kualitas bahan organik harus menjadi pertimbangan sebelum digunakan dalam pengolahan air asam tambang. Menurut Rankine dan Fairhurst (1998), tandan kosong sawit dalam keadaan kering mengandung 42,8% C organik dan 0,8% nitrogen total. Sehingga memiliki nilai C/N yang tinggi. Selain itu, menurut studi yang dilakukan menunjukkan bahwa tandan sawit memiliki kemampuan untuk mengurangi kekeruhan dan kandungan logam dalam air terutama Fe dan Mn (Nassar dkk., 2004 dan Khosravihaftkhany dkk., 2013). Kandungan gugus fungsi oksigen seperti hidroksil dan asam karboksilat diklaim sebagai alasan terjadinya proses adsorpsi zat warna dan ion logam (Khosravihaftkhany dkk., 2013). Ion logam, seperti besi (Fe), mangan (Mn) dan timbal (Pb) mengalami adsorpsi homogen (Khosravihaftkhany dkk., 2013; Nassar dkk., 2004). Melihat besarnya potensi pemanfaatan tandan sawit sebagai media remediasi air asam tambang dan belum banyaknya kajian yang dilakukan. Oleh karena itu, perlunya dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan tandan sawit dan kompos sebagai media remediasi air asam tambang.

2. Metode

Pada penelitian ini akan digunakan 4 buah reaktor dengan sistem *aerobic wetland* dengan media untuk penanaman tanaman *Typha Latifolia* berupa variasi campuran tandan sawit dan kompos. Reaktor berukuran 120 cm x 30 cm x 50 cm terbuat dari kayu dan dilapisi dengan terpal pada sisi dalamnya. Dimensi dipilih berdasarkan penelitian yang dilakukan Fibrian., dkk (2014) dengan sedikit penambahan pada tinggi reaktor. Sedangkan aliran yang digunakan adalah aliran kontinu. Di mana air pada saluran outlet akan dialirkan ke bak penampung dan kembali masuk kedalam reaktor. Analisis

data pH, TSS, logam Fe, dan Mn pada *effluent* reaktor, disajikan dalam tabulasi data berupa tabel dan grafik serta analisis deskriptif, yaitu dengan membandingkan data hasil analisis pada air asam tambang batubara sebelum perlakuan dengan setelah perlakuan pada reaktor.

2.1. Persiapan Awal

Tanaman *Typha Latifolia* diambil di kawasan PT Berau Coal site SMO, kemudian dipotong hingga setinggi 30 cm, kemudian dilakukan aklimatisasi selama 5 hari dengan tujuan untuk menstabilkan kondisi tanaman dan tandan sawit diperoleh dari perkebunan disekitar area tambang.

2.2. Bak Reaktor

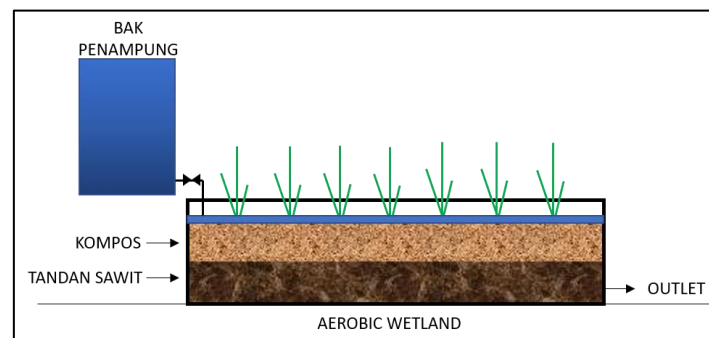
Penelitian ini dilakukan pada skala labolatorium di mana bak reaktor didesain dengan ukuran 120 cm x 30 cm x 50 cm terbuat dari kayu dan dilapisi dengan terpal pada sisi dalamnya. Untuk saluran outlet menggunakan paralon 0,5 inci. Pada tiap reaktor diberi perlakuan berbeda, di mana variasi tiap reaktor adalah sebagai berikut:

Tabel 1: Variasi kompos dan tandan sawit pada tiap reaktor

| Reaktor | Sawit (ketinggian 30 cm) | Kompos (ketinggian 30 cm) |
|---------|--------------------------|---------------------------|
| A | 25% | 75% |
| B | 50% | 50% |
| C | 75% | 25% |
| D | 100% | 0% |

Sumber: Hasil Percobaan

Setelah dilakukan penyusunan pada tiap reaktor kemudian ditanami dengan tanaman *Typha Latifolia* yang sebelumnya sudah diaklimatisasi dengan jarak tanam sebesar 15 cm. Pada pengoperasiannya, masing-masing reaktor diberi air asam tambang sebanyak 75 liter dan pemberian aliran air melalui bak penampung sebesar 18 L/hari.



Gambar 1: Skema Metode *Passive Treatment*

Sumber: Rencana Penelitian

2.3. Pengambilan Sampel

Selama penelitian dilakukan pengukuran parameter kimia dan fisika berupa pengukuran pH dan TSS dilakukan pada sampel awal dan hari penelitian setiap hari selama tujuh hari. Pengukuran kandungan Fe dan Mn dilakukan pada sampel awal dan dilakukan pengambilan sampel pada hari ke 1,3,5,7. Pengambilan sampel air sebanyak 500 ml melalui kran bak reaktor.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini sampel air limbah yang digunakan adalah air limbah pertambangan batu bara yang berasal dari WMP 36 site sambarata di PT. Berau Coal dan belum memasuki tahap-tahap pengolahan dalam *settling pond*. Aliran air tersebut mengandung logam-logam berat dengan pH yang rendah yang kemudian dikatakan sebagai air asam tambang. Sebelum melakukan proses pada sistem lahan basah

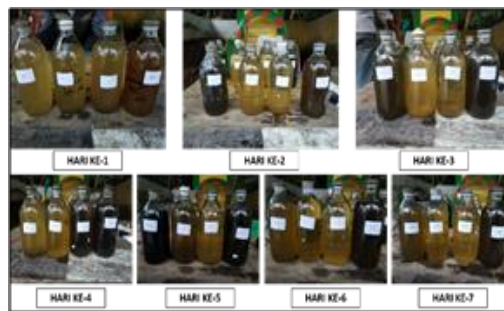
buatan, maka terlebih dahulu dilakukan uji karakteristik awal sampel air asam tambang, yaitu dengan parameter pH, TSS, besi (Fe), dan mangan (Mn). Dari data hasil laboratorium, didapat karakteristik sampel air asam seperti tertera di Tabel 2.

Tabel 2: Uji karakteristik awal air asam tambang

| Parameter | Baku Mutu (Perda Kaltim No 2/ 2011) | Hasil |
|-----------|--|-------|
| pH | 6-9 | 4.32 |
| TSS (mg/) | 300 | 29 |
| Fe (mg/) | 7 | 1.85 |
| Mn (mg/) | 4 | 0.52 |

Sumber: Hasil Pengujian

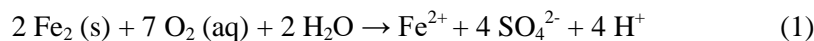
Berdasarkan nilai kategori yang dikemukakan oleh Skousen dan Ziemkiewicz (1996), air tambang tersebut masuk dalam kategori 1 di mana air tambang yang tidak atau sedikit mengandung alkalinitas ($\text{pH} < 4,5$) dan mengandung Fe, Al, Mn, dan logam lainnya, asam (H^+) dan oksigen dengan konsentrasi yang tinggi. Air asam tambang atau AAT adalah aliran yang telah dipengaruhi oleh oksidasi alamiah mineral sulfida yang terkandung dalam batuan yang terpapar selama penambangan. AAT terjadi akibat adanya reaksi antara air permukaan, baik air limpasan hujan maupun genangan air, dengan lapisan batuan yang mengandung mineral belerang. Mineral belerang yang paling umum ditemukan adalah pirit (FeS_2).



Gambar 2: Sampel Uji Hari ke-1 sampai Hari ke-7

Sumber: Hasil Pengujian

Menurut Costelo (2003), terjadinya air asam tambang diawali dari oksidasi pirit seperti digambarkan pada reaksi berikut ini:



Selanjutnya ion ferro sangat mudah teroksidasi menjadi ferri yang memberi warna merah pada air, reaksinya digambarkan sebagai berikut:



Dari reaksi tersebut, terlihat bahwa logam (Fe) akan terakumulasi baik pada tanah maupun air. Akibat air asam tambang inilah yang mengakibatkan lahan bekas tambang batu bara memerlukan penanganan yang serius terutama untuk memperbaiki tingkat keasaman dan menurunkan akumulasi logam-logam.

3.1. Peningkatan pH

Parameter lingkungan yang diukur pada penelitian ini adalah derajat keasaman (pH). Data hasil pengukuran parameter lingkungan pH pada sampel air sebelum dan setelah pengoperasian reaktor, dengan variasi waktu tinggal dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Rata-rata nilai pH air pada awal dan akhir pengukuran

| Reaktor | Hasil | Persentase Perubahan |
|---------|---------------------------------|----------------------|
| A | pH awal: 4.32 pH akhir: 5.51 | 27.55% |
| B | pH awal: 4.32 pH akhir: 5.81 | 34.49% |
| C | pH awal: 4.32 pH akhir: 5.87 | 35.88% |
| D | pH awal: 4.32 pH akhir: 5.47 | 26.62% |

Sumber: Hasil Pengujian

Keterangan:

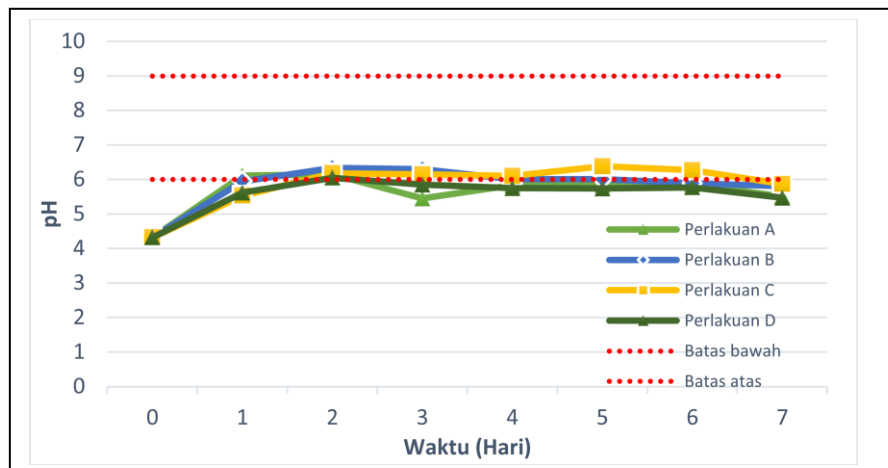
Perlakuan A (Perbandingan sawit dan kompos 25:75);

Perlakuan B (Perbandingan sawit dan kompos 50:50);

Perlakuan C (Perbandingan sawit dan kompos 75:25);

Perlakuan D (Perbandingan sawit dan kompos 100:0).

Hasil pengukuran awal pH pada air asam tambang sebesar 4.32 dan setelah melalui proses *treatment* dalam lahan basah buatan dengan tanaman *Typha* dan media tandan sawit serta kompos kemudian dilakukan pengukuran berdasarkan waktu tinggal yang telah ditentukan, nilai pH berkisar antara 5.51 sampai 5.47. Jika dilihat pada Tabel 3, perlakuan C menghasilkan pH yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, yakni sebesar 6.07 dengan persentase kenaikan pH pada awal dan akhir perlakuan sebesar 35.88 %. Namun pada semua perlakuan, kandungan pH belum memenuhi baku lingkungan, hal tersebut berkaitan dengan kandungan yang terdapat pada kompos dan tandan sawit.



Gambar 3: Grafik Hasil Pengujian pH pada Reaktor Aerobic Wetland Menggunakan Tandan Sawit dan Kompos selama 7 hari

Sumber: Hasil Pengujian

Keterangan:

Perlakuan A (Perbandingan sawit dan kompos 25:75);

Perlakuan B (Perbandingan sawit dan kompos 50:50);

Perlakuan C (Perbandingan sawit dan kompos 75:25);

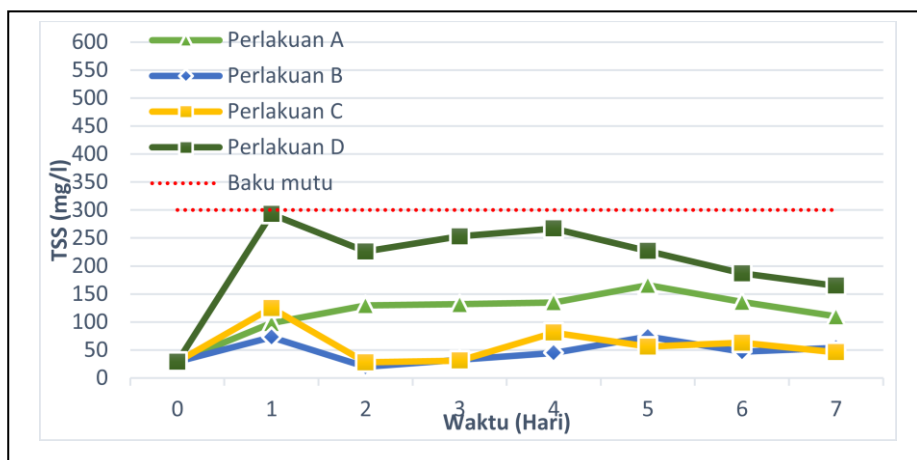
Perlakuan D (Perbandingan sawit dan kompos 100:0).

Pada dasarnya, kandungan ammonia dan senyawa basa lainnya dalam kompos akan menyebabkan kenaikan pH (Faidah dkk, 2014). Bahan organik mampu menetralkan air asam tambang dengan

tersedianya beberapa basa (Na, K, Ca, Mg) dan bahan organik yang relatif tinggi jumlahnya sehingga ion H sebagai sumber keasaman air asam tambang diikat oleh beberapa basa dan bahan organik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Riwardi (2007), tandan sawit memiliki nilai unsur basa yang cukup tinggi, yakni sebesar s.

3.2. Perubahan Nilai TSS

Zat padat tersuspensi merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi. Pada Gambar 4, dapat ditunjukkan grafik hasil pengujian kadar *Total Suspended Solid* (TSS). Konsentrasi TSS awal yang terdapat pada sampel air limbah menunjukkan nilai sebesar 29 mg/L. Dapat dilihat pada Gambar 4, terjadi kenaikan konsentrasi TSS yang signifikan pada perlakuan hari pertama. Hal tersebut dapat dikarenakan zat organik pada kompos dan tandan sawit yang larut bersama air, seperti asam humus, asam sulfat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Di samping itu, padatan tersuspensi ini juga dapat berasal dari mikroorganisme, misalnya plankton, bakteri, alga, virus, dan lain-lainnya. Semua elemen-elemen tersebut umumnya menyebabkan kekeruhan atau warna dalam air.



Gambar 4: Grafik Hasil Pengujian TSS pada Reaktor *Aerobic Wetland* Menggunakan Tandan Sawit dan Kompos selama 7 hari

Sumber: Hasil Pengujian

Keterangan:

Perlakuan A (Perbandingan sawit dan kompos 25:75);

Perlakuan B (Perbandingan sawit dan kompos 50:50);

Perlakuan C (Perbandingan sawit dan kompos 75:25);

Perlakuan D (Perbandingan sawit dan kompos 100:0).

Namun pada hasil tersebut, dapat dilihat terjadi tren penurunan nilai TSS pada semua reaktor pada hari ke 2 hingga ke 7. Kenaikan TSS pada hari pertama dapat disebabkan oleh larutnya material organik maupun non organik yang terdapat pada media, pada hari ke 2 hingga ke 7 nilai TSS relatif turun disebabkan terjadinya proses filtrasi maupun sedimentasi. Menurut Supradata (2005), perbedaan laju penurunan TSS pada tiap-tiap reaktor bisa saja terjadi, akibat perbedaan porositas media yang dibentuk oleh sistem perakaran tanaman dalam reaktor. Sistem perakaran tanaman yang terbentuk dalam reaktor tidak tumbuh secara merata pada masing-masing reaktor, sehingga pola aliran limbah tidak membentuk aliran sumbat yang sama untuk masing-masing reaktor. Selain itu, penurunan kandungan TSS terjadi melalui proses fisik, seperti sedimentasi dan filtrasi. Proses filtrasi terjadi dikarenakan air limbah harus melewati jaringan akar tanaman yang cukup panjang sehingga partikel-partikel yang melewati media dan zona akar rapat. Bentuk tandan sawit yang berbentuk serat-serat memungkinkan untuk menangkap partikel-partikel kecil, namun penggunaan tandan sawit yang berlebih juga dapat berdampak negatif dengan peningkatan TSS.

Pada Perlakuan D dengan menggunakan 100% tandan sawit menunjukkan hasil TSS yang lebih tinggi. Hal tersebut berkaitan dengan kandungan lignin pada tandan sawit yang akan terkondensasi dengan suasana asam pada air, di mana gugus asetil keluar dari permukaan sawit dan menyebabkan warna air kehitaman (Sari dkk., 2019). Padatan total di dalam lindi hitam menunjukkan banyaknya kandungan senyawa organik dan senyawa anorganik yang terlarut di dalam lindi hitam (Damat, 1989). Semakin tinggi kadar padatan total suatu lindi hitam maka semakin tinggi pula zat organik dan anorganik yang terkandung di dalam lindi hitam tersebut.

Tabel 4: Rata-rata nilai TSS air pada awal dan akhir pengukuran

| Reaktor | Hasil | Persentase Perubahan |
|---------|--------------------------------|----------------------|
| A | TSS awal: 29 TSS akhir: 110 | 279.31% |
| B | TSS awal: 29 TSS akhir: 54 | 86.21% |
| C | TSS awal: 29 TSS akhir: 46 | 58.62% |
| D | TSS awal: 29 TSS akhir: 165 | 468.97% |

Sumber: Hasil Pengujian

Keterangan:

Perlakuan A (Perbandingan sawit dan kompos 25:75);

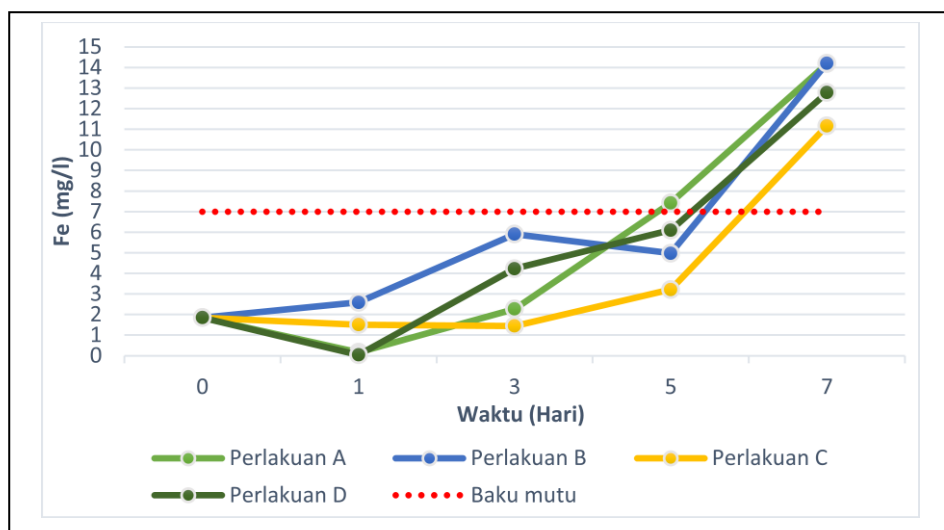
Perlakuan B (Perbandingan sawit dan kompos 50:50);

Perlakuan C (Perbandingan sawit dan kompos 75:25);

Perlakuan D (Perbandingan sawit dan kompos 100:0).

3.3. Penurunan Fe dan Mn

Pada penelitian ini media yang digunakan untuk tanaman *Typha* adalah campuran kompos dan tandan sawit, di mana pada Perlakuan D media tanam yang digunakan hanya tandan sawit saja. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan selama 7 hari, diperoleh grafik konsentrasi Fe dan Mn pada masing-masing perlakuan. Berdasarkan grafik yg dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6, terlihat bahwa seluruh sistem mengalami kenaikan logam besi (Fe) dan mangan (Mn).



Gambar 5: Grafik Hasil Pengujian Fe pada Reaktor *Aerobic Wetland* Menggunakan Tandan Sawit dan Kompos selama 7 Hari

Sumber: Hasil Pengujian

Keterangan:

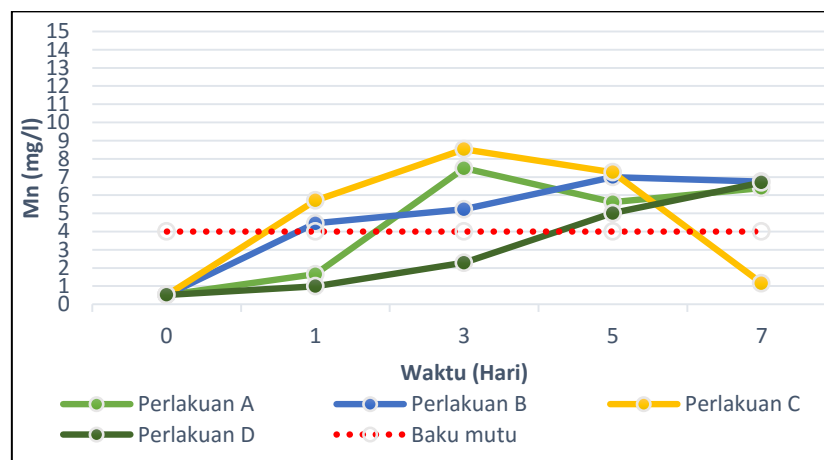
Perlakuan A (Perbandingan sawit dan kompos 25:75);

Perlakuan B (Perbandingan sawit dan kompos 50:50);

Perlakuan C (Perbandingan sawit dan kompos 75:25);

Perlakuan D (Perbandingan sawit dan kompos 100:0).

Pada Gambar 5 menunjukkan peningkatan yang bervariasi pada tiap perlakuannya. Peningkatan konsentrasi Fe terjadi pada hari ke 3 hingga hari ke 7 dengan konsentrasi akhir di tiap perlakuannya, yakni berkisar 11.17 mg/L hingga 14.21 mg/L dengan nilai tertinggi terjadi pada perlakuan B. Sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada Perlakuan D pada hari ke 1 dengan nilai 0.04 mg/L. Sementara itu pada Gambar 6 menunjukkan kenaikan kandungan Mn pada semua perlakuan. Peningkatan terjadi dimulai pada hari pertama hingga hari ke tujuh dengan rentang konsentrasi akhir berkisar antara 1.16 mg/L hingga 6.75 mg/L. Dengan kenaikan tertinggi terjadi pada Perlakuan C pada hari ke 3 dengan nilai 8.53 mg/L dan nilai terendah pada Perlakuan D pada hari pertama dengan nilai 0.99 mg/L.



Gambar 6: Grafik Hasil Pengujian Mn pada Reaktor *Aerobic Wetland* Menggunakan Tandan Sawit dan Kompos selama 7 Hari

Sumber: Hasil Pengujian

Keterangan:

Perlakuan A (Perbandingan sawit dan kompos 25:75);

Perlakuan B (Perbandingan sawit dan kompos 50:50);

Perlakuan C (Perbandingan sawit dan kompos 75:25);

Perlakuan D (Perbandingan sawit dan kompos 100:0);

Penurunan kandungan logam pada air disebabkan oleh proses yang dilakukan oleh media bersama dengan tanaman dalam melakukan fitoremediasi. disebabkan oleh keberadaan tanaman *Typha*. Adanya tanaman air pada sistem memungkinkan mikroorganisme untuk hidup. Adanya pasokan oksigen dari akar tanaman, maka akan terjadi proses oksidasi karena adanya peran mikroorganisme, yang mana sangat efektif dalam menurunkan kandungan logam pada air asam tambang batu bara. Pada sistem perakaran *Typha* juga membentuk biofilter yang dapat menahan dan menyerap logam yang terdapat pada air limbah. Selain itu berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Nassar dkk (2004) menyatakan bahwa tandan sawit memiliki kemampuan adsorpsi kandungan logam besi (Fe) dan mangan (Mn). Kandungan gugus fungsi oksigen yang terkandung dalam permukaan tandan sawit seperti hidroksil dan Asam alkanolat diklaim sebagai alasan terjadinya proses adsorpsi kandungan logam (Khosravihaftkhany dkk., 2013). Kemampuan penyerapan logam yang dapat dilakukan oleh tanaman dan tandan sawit sangat terbatas. Dinamika kenaikan kandungan logam besi dan mangan disebabkan kandungan logam yang tidak terserap oleh tandan sawit maupun *Typha* akan tetap berada di media air, yang kemudian akan mengendap di dasar permukaan sehingga meningkatkan kandungan logam di *effluent*.

Ketersediaan logam-logam tanah untuk tanaman berkaitan dengan pH tanah itu sendiri. Dalam penelitian Nirtha (2018) mengatakan bahwa peningkatan pH larutan tanah bersifat menstabilkan reduksi Fe^{3+} , sehingga dihasilkan ion Fe^{2+} dalam konsentrasi tinggi. Meningkatnya nilai pH tanah dimulai dengan reduksi nitrat (NO_3^-) menjadi ion amonium (NH_4^+). Setelah semua nitrat lenyap, sebarang oksida-mangan (MnO_2) yang ada akan direduksi menjadi ion Mn^{2+} . Kemudian reduksi Fe^{3+} (ferri-oksida) mulai terjadi, yang menghasilkan Fe^{2+} (ferro) yang melimpah, dan peningkatan pH. Oleh karena itu, dihasilkan senyawa hidrokarbonat dalam larutan tanah. Gambar 3 menunjukkan pH pada air bergerak naik pada hari pertama dengan rentang 5.53-6.11. Namun jika dilihat pergerakan pH pada semua reaktor di hari-hari selanjutnya cenderung stagnan. Kondisi ini mengindikasikan penambahan waktu *treatment* dengan waktu tinggal 7 hari tidak berdampak besar dalam perubahan kenaikan pH air.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Berdasarkan data yang diperoleh diketahui variasi kompos dan tandan sawit mampu meningkatkan nilai pH pada waktu tinggal 1 hari dengan rentang 5.53 hingga 6.11. Perlakuan C menghasilkan pH yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya dengan kenaikan rata-rata sebesar 6.07. Nilai TSS akhir percobaan pada reaktor A, B, C, dan D secara terurut, yakni 110 mg/L, 54 mg/L, 46 mg/L, 165 mg/L. Nilai Fe akhir percobaan pada reaktor A, B, C, dan D secara terurut, yakni 14,19 mg/L, 14,21 mg/L, 11,17 mg/L, dan 12,78 mg/L. Kadar akhir nilai Mn pada akhir percobaan di reaktor A, B, C, dan D secara terurut, yakni 6,4 mg/L, 6,75 mg/L, 1,16 mg/L, dan 6,7 mg/L.
2. Dinamika nilai TSS serta kandungan logam Besi dan Mangan di sistem *Anaerobic Wetland* aliran bawah permukaan berfluktuasi terhadap hari dalam kenaikan konsentrasi Fe, dan peningkatan nilai pH. Hal tersebut berkaitan dengan komponen yang ada dalam sistem, seperti karakteristik kompos dan tandan sawit, mikroorganisme, tumbuhan serta faktor fisik, seperti sedimentasi dan filtrasi. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui korelasi dampak yang dihasilkan masing-masing komponen terhadap proses remediasi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pimpinan dan karyawan khususnya Departemen Environment PT. Berau Coal, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur yang telah memberikan kesempatan dan berbagai fasilitas yang diperlukan selama pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Bargawa, W.S. (2017) *Reklamasi Dan Pascatambang*. Prodi Teknik Pertambangan, Upn "Veteran".
- Costello, C. (2003) *Acid Mine Drainage: Innovative Treatment Technologies*. www.clu-in.org
- Coulton R, Bullen C, Hallet C. (2003) *The Design And Optimization Of Active Mine Water Treatment Plants*.
- Damat. (1989) *Isolasi Lignin Dari Larutan Sisa Pemasak Pabrik Pulp Dengan Menggunakan H_2SO_4 Dan HCl*. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Faridah, A., Sumiyati, S. & Handayani, D. S. (2014) 'Studi Perbandingan Pengaruh Penambahan Aktivator Agri Simba Dengan Mol Bonggol Pisang Terhadap Kandungan Unsur Hara Makro (Cnpk) Kompos Dari Blotong (Sugarcane Filter Cake) Dengan Variasi Penambahan Kulit Kopi', *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 3, No.1: 1-9.
- Fibrian, N, Sunoko H, Izzati, M. (2014) *Aplikasi Sistem Vertical Dan Horizontal Sub Surface Flow Wetland Dalam Pengolahan Kembali Effluent Ipalperusahaan Obat Dan Obat Tradisional*, Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Jalan Imam Bardjo No 5. Semarang.

- Hammer, D.A. (Ed). (1989) *Constructed Wetlands For Wastewatertreatment: Municipal, Industrial And Agricultural*. Lewis Publishers,Inc: Chelsea, Michigan.
- Khosravihaftkhany, S., Morad, N., Teng, T. T., Abdullah, A. Z., & Norli, I. (2013) 'Biosorption Of Pb(Ii) And Fe(Iii) From Aqueous Solutions Using Oil Palm Biomasses As Adsorbent', *Water, Air, And Soil Pollution*, 224(3), 1455 – 1468. *Land Contam Reclam*. Vol. 11: 273–279.
- Nassar, M. M., Ewida, K. T., Ebrahiem, E. E., Magdy, Y. H., & Mheaedi, M. H. (2004) 'Adsorption Of Iron And Manganese Using Low Cost Materials As Adsorbents', *Journal Of Environmental Science And Health. Part A, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, Vol. 39, No. 1: 421 – 434.
- Nirtha, I, Sari .D. (2018) *Analisis Nilai Ph Dan Konsentrasi Logam Besi (Fe) Pada Media Lahan Basah Buatan Aliran Horizontal Bawah Permukaan Yang Mengolah Air Saluran Reklamasi*. Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru, Kalimantan Selatan.
- Prasetyono, E. (2013) 'Efektivitas Kompos Batand Pisang (Musa Sp.) Untuk Meminimalisasi Kandungan Logam Berat Timah Hitam (Pb) Dan Menaikan Ph Rendah', *Akuatik-Jurnal Sumberdaya Perairan*, Vol. 7, No.1:1-8.
- Puspita, L.,E, Ratnawati, I N. N. Suryadiputra, A. A. Meutia. (2005) *Lahan Basah Buatan Di Indonesia*, Ditjen Phka. Bogor.
- Rankine, I. dan T. Fairhurst. (1998) *Buku Lapangan : Seri Tanaman Kelapa Sawit : Tanaman Menghasilkan*. Oxford Graphic Printers Pte. Ltd. Singapore.
- Riwandi Dan Munawar. (2007) *Uji Laboratorium Sifat-Sifat Limbah Organik Dan Mekanisme Remediasi Air Asam Tambang*. Program Ilmu Tanah Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu.
- Sari, A ., dkk. (2019) 'Integrasi Pengolahan Air Limbah Lindi Hitam Dengan Cod Dan Tss Tinggi Dari Proses Pembuatan Bioetanol', *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Program Studi Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana Undip
- 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.
- Supradata. (2005) *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus Alternifolius, L. Dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (Ssf-Wetlands)*. Thesis, Program Studi Megister Ilmu Lingkungan. Yogyakarta